

---

## Conception d'un latte instantané sous forme de sphère contenant un superaliment

**Auteur :** Heremans, Camille

**Promoteur(s) :** Jacquet, Nicolas; Ayadi, Mohamed

**Faculté :** Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

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

**Année académique :** 2023-2024

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/21255>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

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

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

---



# Conception d'un latte instantané sous forme de sphère contenant un superaliment

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

*Clémence Dallemagne et Camille Heremans*

*Promoteur : N. Jacquet*

*Co-promoteur : M. Ayadi*

*Année académique 2023 - 2024*





# Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Leur soutien, leurs conseils et leur encouragement ont été inestimables tout au long de ce parcours.

Tout d'abord, nous souhaitons remercier notre promoteur et notre co-promoteur de mémoire, Monsieur Nicolas Jacquet et Monsieur Mohamed Ali Ayadi, pour leur expertise, leur patience et leurs conseils avisés. Leurs retours constructifs et leur soutien ont été essentiels pour mener à bien ce travail. Nos remerciements vont aussi à notre parrain industriel, Monsieur Bruno Stengel, Advisor chez Cargill, pour sa participation au projet.

Nous remercions également les membres de l'équipe pédagogique de Gembloux Agro-Bio Tech pour leur enseignement de qualité et leur soutien académique. Leur disponibilité et leur engagement ont grandement facilité notre parcours universitaire.

Un remerciement tout particulier va aux techniciens du *Terra Teaching and Research Centre* de Gembloux. Leur accueil chaleureux, leur disponibilité et leur expertise ont été d'une aide précieuse. Leur passion et leur dévouement pour leur travail ont été une véritable source d'inspiration. Nous tenons à remercier spécifiquement Marjorie Servais, Sandrino Filicco et Lynn Doran pour leur aide et leur soutien tout au long de cette période. Leur contribution a été déterminante pour la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons également à mentionner l'une des techniciennes du laboratoire, Audrey Haenen. Sa gentillesse, son soutien et sa compagnie ont rendu cette expérience encore plus enrichissante et agréable. Sa présence à nos côtés a été un grand bonheur et nous lui en sommes profondément reconnaissantes.

Nous n'oublions pas non plus nos collègues de master et nos amis, pour leurs encouragements et leur soutien moral mais aussi leur temps pour prendre part à l'aboutissement de ce travail.

Enfin, nous souhaitons exprimer toute notre gratitude à notre famille, pour leur amour, leur patience et leur soutien indéfectible. Leur confiance en nous nous a donné la force de persévérer et de mener à bien ce projet.

À tous, merci infiniment.

Clémence Dallelman et Camille Heremans

# Résumé

Afin de contribuer à la recherche et au développement de nouveaux produits alimentaires répondant aux besoins de la société actuelle, cette étude novatrice vise à conceptualiser un latte instantané chocolaté sous forme de sphère, à base d'un superaliment : la plante de moringa. La naissance de ce projet de fin d'études repose sur deux constats majeurs : la nécessité d'une alimentation plus saine, passant par l'introduction de nouveaux superaliments et une pression constante du temps, deux éléments prévalant dans le mode de vie de la population occidentale d'aujourd'hui.

Un état de l'art a été mené afin d'orienter nos choix relatifs aux ingrédients et aux différentes techniques de confection possibles. Le développement du produit innovant dont les nombreuses formulations ont été réalisées au centre de recherche Terra avant d'obtenir la recette finale répondant au cahier des charges fonctionnel. Celle-ci se compose de trois ingrédients principaux : de la poudre de lait écrémé, du chocolat blanc belge et de la poudre de moringa. Le latte instantané, nommé **T.GREEN**, se présente sous la forme d'une élégante sphère verte. Dans un premier temps, les matières premières utilisées ont été analysées afin d'étudier leurs propriétés physico-chimiques. En effet, une analyse minutieuse des poudres utilisées constitue une étape primordiale pour l'obtention de résultats optimaux. Puis, après avoir finalisé la formulation du produit alimentaire innovant, plusieurs études ont été menées pour le caractériser pleinement.

Ainsi, la sphère obtenue démontre comme composition chimique un taux de matière sèche de  $97,9 \pm 0,1$  %, un taux de cendres de  $4,1 \pm 0,1$  %, un taux de protéines de  $16,93 \pm 0,41$  %, un taux de matières grasses de  $20,24 \pm 0,40$  % et une activité de l'eau de  $0,21 \pm 0,00$  à  $23,0$  °C. Une large diversité de composés aromatiques sont également retrouvés dans la poudre de moringa brute.

Concernant ses caractéristiques physiques, la sphère broyée montre des valeurs colorimétriques  $L^*$ ,  $a^*$  et  $b^*$  de respectivement  $59,64 \pm 0,11$ ,  $-0,99 \pm 0,01$  et  $27,39 \pm 0,05$  et la boisson reconstituée de respectivement  $51,55 \pm 1,25$ ,  $-2,44 \pm 0,35$  et  $31,43 \pm 0,52$ . La force à appliquer pour casser la coque en chocolat de la sphère, permettant d'étudier sa fragilité, est de  $89,44 \pm 16,87$  N. La viscosité de la boisson est de  $166,2$  Pa·s, plus faible que celle du lait écrémé à un même taux de cisaillement.

Les propriétés d'instantanéité de la sphère ont également été étudiées. La sphère broyée présente une mouillabilité de plus de 600 secondes, une solubilité de  $60 \pm 2,64$  % et une dispersibilité de  $0,6 \pm 0,00$  %.

De plus, l'analyse du vieillissement du produit a mis en évidence l'importance cruciale de ses conditions de stockage et l'analyse de l'évolution de l'aspect visuel révèle que la sphère emballée et conservée dans un environnement à  $15$  °C montre les meilleures caractéristiques de couleur et de brillance.

Ensuite, l'évaluation de la stabilité oxydative du beurre de cacao du chocolat blanc donne un temps d'induction, correspondant au temps nécessaire pour atteindre le point où l'oxydation accélère de manière significative, de  $29,53$  h pour un flux d'air réglé à  $10$  L/h et une température portée à  $110$  °C. Enfin, l'analyse microbiologique confirme que le produit alimentaire est sans danger pour la santé du consommateur dans les délais précisés.

Néanmoins, de nombreux paramètres doivent être optimisés dans les différentes études afin d'augmenter la fiabilité des résultats.

En parallèle du processus de production et des nombreuses analyses réalisées, une analyse HACCP détaillée, une étude marketing incluant une étude de marché et de prix, le développement du packaging, une analyse de cycle de vie et une chaîne de production ont été soigneusement pensés dans le but d'offrir un produit cohérent et complet. Chaque étape de ce projet a été conçue pour garantir la qualité, la sécurité et l'attrait du produit final, répondant ainsi aux attentes des consommateurs et aux exigences du marché.

**Mots-clés** : Sphère, Moringa, Boisson lactée, Instantané, Superaliment

# Abstract

To contribute to the research and development of new food products that meet the needs of today's society, this innovative study aims to conceptualize an instant chocolate latte in the form of a sphere, made from a superfood: the moringa plant. This final project is based on two major observations: the need for healthier food, which involves introducing new superfoods, and the constant pressure of time, both of which are prevalent in the lifestyle of today's Western population.

A state-of-the-art review was conducted to guide our choices regarding the ingredients and various possible manufacturing techniques. The development of the innovative product, with numerous formulations carried out at the Terra research center, led to a final recipe that meets the functional requirements. This recipe consists of three main ingredients: skimmed milk powder, Belgian white chocolate, and moringa powder. The instant latte, named **T.GREEN**, is presented as an elegant green sphere. Initially, the raw materials used were analyzed to study their physicochemical properties. Indeed, a thorough analysis of the powders used is a crucial step in achieving optimal results. Then, after finalizing the formulation of the innovative food product, several studies were conducted to fully characterize it.

The resulting sphere has a chemical composition of  $97.9 \pm 0.1\%$  dry matter,  $4.1 \pm 0.1\%$  ash content,  $16.93 \pm 0.41\%$  protein content,  $20.24 \pm 0.40\%$  fat content, and a water activity of  $0.21 \pm 0.00$  at  $23.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A wide variety of aromatic compounds are also found in the raw moringa powder.

Regarding its physical characteristics, the crushed sphere shows colorimetric values  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$  of  $59.64 \pm 0.11$ ,  $-0.99 \pm 0.01$ , and  $27.39 \pm 0.05$ , respectively, while the reconstituted beverage shows values of  $51.55 \pm 1.25$ ,  $-2.44 \pm 0.35$  and  $31.43 \pm 0.52$ . The force required to break the chocolate shell of the sphere, which allows the fragility to be studied, is  $89.44 \pm 16.87\text{ N}$ . The viscosity of the beverage is  $166.2\text{ Pa}\cdot\text{s}$ , lower than that of skimmed milk at the same shear rate.

The instant properties of the sphere were also studied. The crushed sphere has a wettability of more than 600 seconds, a solubility of  $60 \pm 2.64\%$ , and a dispersibility of  $0.6 \pm 0.00\%$ .

Furthermore, the aging analysis of the product highlighted the crucial importance of its storage conditions, and the analysis of the evolution of the visual aspect revealed that the sphere, when packaged and stored at  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , shows the best color and brightness characteristics.

Next, the evaluation of the oxidative stability of the cocoa butter in the white chocolate gives an induction time, which corresponds to the time needed to reach the point where oxidation accelerates significantly, of 29.53 hours for an airflow rate set at  $10\text{ L/h}$  and a temperature raised to  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Finally, microbiological analysis confirms that the food product is safe for the consumer within the specified timeframe.

However, many parameters need to be optimized in the various studies to increase the reliability of the results.

In parallel with the production process and the numerous analyses carried out, a HACCP analysis, a marketing study including a market and price analysis, packaging development, a life cycle analysis, and a production chain have been carefully planned to offer a coherent and complete product. Every stage of this project has been designed to ensure the quality, safety, and appeal of the final product, thus meeting consumer expectations and market requirements.

**Keywords:** Sphere, Moringa, Dairy beverage, Instant, Superfood

# Table des abréviations

HBSC	Health Behaviour in School-aged Children
SIPES	Service d'Information, Promotion, Education Santé de ULB
FAO	Food and Agriculture Organization
PAHO	Pan American Health Organization
ANSES	Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail
EFSA	Agence Européenne pour la Sécurité des Aliments
CSS	Conseil Supérieur de la Santé de Belgique
AAP	Académie Américaine de Pédiatrie
H/E	Huile dans eau
E/H	Eau dans huile
ml	Millilitre
g	Gramme
mg	Milligramme
ATP	Adénosine triphosphate
ADN	Adénosine diphosphate
°C	Degré Celsius
UHT	Ultra haute température
TCAC	Taux de croissance annuel composé
SFA	Acide gras saturé
MUFA	Acide gras monoinsaturé
PUFA	Acide gras polyinsaturé
ALA	Acide alpha-linolénique
IS	Indice de solubilité
ID	Indice de dispersabilité
IM	Indice de mouillabilité
ADPI	American Dairy Products Institute
WPNI	Whey Protein Nitrogen Index

A <sub>w</sub>	Activité de l'eau
kg	Kilogramme
CdCF	Cahier des Charges Fonctionnel
PET	Polyéthylène téréphtalate
UFC	Unité formant des colonies
GES	Gaz à effet de serre
INCO	Information aux consommateurs
QUID	Quantitative ingrédients déclaration
T°	Température
DDM	Date de durabilité minimale
DLC	Date limite de consommation
USD	United States Dollar
ISIC	Institut d'information scientifique sur le café
BMC	Business Model Canvas
SWOT	Strengths Weaknesses Opportunities Threats
PL	Phospholipides
PC	Phosphatidylcholine
ADQ	Analyse descriptive quantitative
GC-MS	Chromatographie en phase gazeuse couplé par spectrométrie de masse
SPME	Solid Phase Microextraction
PrPO	Point de requis opérationnel
CCP	Point de Contrôle Critique
UVC	Unité de vente consommateur
FU	Unité fonctionnelle
FSC	Forest Stewardship Council

# Table des matières

1.	Introduction.....	21
1.1	Contexte et problématique .....	21
1.2	Objectif du mémoire .....	21
1.3	Description du produit .....	22
2.	État de l'art.....	23
2.1	Boissons alternatives au café.....	23
2.1.1	État des lieux des boissons alternatives au café .....	23
2.1.2	Place des alternatives au café dans l'alimentation d'un adulte .....	25
2.1.3	Composition nutritionnelle des alternatives au café .....	26
2.1.4	Comparaison des substances énergisantes .....	27
2.1.4.1	Caféine et théine.....	27
2.1.4.2	Taurine et glucuronolactone.....	27
2.2	Café instantané .....	28
2.2.1	Les différents types de cafés solubles .....	28
2.2.2	Comparaison des compositions nutritionnelles des cafés solubles.....	28
2.2.3	Procédé et diagramme de fabrication du café soluble .....	29
2.3	Matières premières.....	30
2.3.1	Lait.....	30
2.3.1.1	Généralités .....	30
2.3.1.2	Composition nutritionnelle du lait de vache .....	30
2.3.1.3	Procédé et diagramme de fabrication du lait de vache .....	34
2.3.1.4	Effets des traitements appliqués sur le lait de vache .....	35
2.3.2	Moringa.....	36
2.3.2.1	Généralités .....	36
2.3.2.2	Composition nutritionnelle du moringa.....	36
2.3.2.3	Superaliments.....	41
2.3.2.4	Bienfaits du moringa .....	43
2.3.2.5	Procédé de fabrication de la poudre de feuilles de moringa .....	45
2.3.2.6	Effets des traitements de séchage sur les propriétés du moringa .....	45
2.3.3	Chocolat.....	47
2.3.3.1	Types de chocolats et composants principaux .....	47
2.3.3.2	Culture et fabrication du chocolat .....	48
2.3.3.3	Composition et aspect santé du chocolat.....	48
2.3.3.4	Tempérage du chocolat.....	49
2.3.3.5	Conservation du chocolat blanc .....	50

2.4	Caractérisation des poudres.....	51
2.4.1	Caractéristiques générales des poudres.....	52
2.4.2	Mesure des propriétés d'hydratation des poudres .....	53
2.5	Techniques utilisées .....	54
2.5.1	Tamisage .....	54
2.5.2	Lyophilisation.....	55
2.5.3	Compaction.....	57
2.5.4	Enrobage.....	58
2.5.4.1	Emballages / enrobages alimentaires comestibles.....	60
2.5.4.2	Les films à base de polysaccharides.....	60
2.5.4.3	Les films à base de protéines .....	61
3	Cahier des charges .....	62
3.1	Critères des 5S.....	62
3.1.1	Sécurité .....	64
3.1.1.1	Législation .....	64
3.1.1.2	Activité de l'eau.....	64
3.1.1.3	Trois types de dangers .....	65
3.1.2	Société .....	67
3.1.2.1	Provenance des matières premières.....	67
3.1.2.2	Étiquetage .....	68
3.1.3	Santé .....	70
3.1.3.1	Objectifs nutritionnels.....	70
3.1.3.2	Additifs.....	70
3.1.3.3	Allergènes .....	71
3.1.3.4	Allégations.....	71
3.1.3.5	Nutri-Score .....	72
3.1.4	Service .....	72
3.1.4.1	Emballage .....	72
3.1.4.2	Portion et assortiment.....	73
3.1.4.3	Conservation et DDM .....	73
3.1.5	Satisfaction.....	74
3.1.5.1	Texture de la sphère et de la boisson chaude .....	74
3.1.5.2	Activité de l'eau et teneur en eau de la sphère.....	75
3.1.5.3	Le goût du latte instantané.....	76
3.1.5.4	La couleur de la sphère et de la boisson .....	76
3.1.5.5	Mesure et analyse de la réponse sensorielle .....	77
3.1.5.6	Analyse hédonique et sensorielle .....	77

3.1.5.7	Conclusion du point satisfaction .....	79
3.2	Fiche produit .....	80
4	Matériels et méthodes .....	82
4.1	Matières premières.....	82
4.1.1	Poudre de moringa.....	82
4.1.1.1	Valeurs nutritionnelles.....	82
4.1.2	Poudre de lait écrémé.....	83
4.1.2.1	Valeurs nutritionnelles.....	83
4.1.3	Chocolat blanc belge .....	84
4.1.3.1	Caractéristiques chimiques et physiques .....	84
4.1.3.2	Valeurs nutritionnelles.....	84
4.1.4	Mycryo.....	85
4.1.4.1	Valeurs nutritionnelles.....	85
4.2	Équipements.....	85
4.3	Méthodes de caractérisation des matières premières et du produit fini .....	87
4.3.1	Analyse chimique .....	87
4.3.1.1	Matière sèche .....	87
4.3.1.2	Cendres.....	87
4.3.1.3	Protéines .....	87
4.3.1.4	Matières grasses.....	88
4.3.1.5	Composés aromatiques.....	88
4.3.1.6	Activité de l'eau.....	89
4.3.2	Granulométrie .....	90
4.3.3	Microscopie optique .....	90
4.3.4	Densité apparente et tassée .....	90
4.3.5	Colorimétrie .....	90
4.3.6	Texturométrie .....	91
4.3.7	Rhéologie.....	91
4.3.8	Analyse physique .....	92
4.3.8.1	Mouillabilité .....	92
4.3.8.2	Solubilité.....	92
4.3.8.3	Dispersibilité.....	92
4.3.8.4	Coulabilité .....	93
4.3.8.5	Analyse de la dissolution de la sphère.....	93
4.3.9	Analyse de l'évolution de l'aspect visuel de la sphère .....	93
4.4	Conception du produit innovant .....	94
4.4.1	Formulation.....	94

4.4.2	Préparation des matières premières .....	95
4.4.2.1	Tamissage de la poudre de moringa.....	95
4.4.2.2	Mélange des poudres.....	95
4.4.2.3	Lyophilisation .....	96
4.4.3	Conception de la sphère.....	96
4.4.3.1	Tempérage du chocolat blanc.....	96
4.4.3.2	Moulage du chocolat blanc.....	98
4.4.3.3	Remplissage des demi-sphères .....	98
4.4.3.4	Fermeture des demi-sphères .....	98
4.4.3.5	Stockage, conditionnement et distribution.....	98
4.5	Diagramme de fabrication du produit innovant.....	99
5	Résultats et discussion .....	100
5.1	Caractérisation des matières premières et du produit fini .....	100
5.1.1	Analyse chimique .....	100
5.1.1.1	Matière sèche .....	100
5.1.1.2	Cendres.....	100
5.1.1.3	Protéines .....	101
5.1.1.4	Matières grasses.....	102
5.1.1.5	Composés aromatiques.....	102
5.1.1.6	Activité de l'eau.....	105
5.1.2	Granulométrie .....	106
5.1.3	Densité et coulabilité .....	106
5.1.4	Colorimétrie .....	107
5.1.5	Texturométrie .....	108
5.1.6	Rhéologie.....	110
5.1.7	Analyse physique .....	111
5.1.7.1	Mouillabilité .....	111
5.1.7.2	Solubilité.....	113
5.1.7.3	Dispersibilité.....	114
5.2	Formulation.....	115
5.2.1	Choix des additifs.....	115
5.3	Fabrication du produit innovant final .....	116
5.3.1	Tamissage de la poudre de moringa .....	116
5.3.2	Analyse de la dissolution .....	116
5.4	Changement du diagramme de fabrication de projet transversal.....	117
5.4.1	Extraction et tamissage.....	117
5.4.2	Compaction.....	118

5.4.3	Enrobage .....	123
5.4.3.1	Agents d'enrobage testés .....	123
6	Mise en pratique du point sécurité .....	126
6.1	Analyse microbiologique .....	126
6.1.1	Généralités sur le BactoBox .....	126
6.1.2	Préparation des échantillons .....	127
6.1.3	Analyse des résultats .....	128
6.1.4	Discussion des résultats .....	128
6.2	HACCP .....	129
6.2.1	Principe de la méthode HACCP .....	129
6.2.2	Description des matières premières .....	129
6.2.3	Registre IN .....	130
6.2.4	Identification des dangers .....	130
6.2.5	Évaluation des dangers .....	130
6.3	Analyse du vieillissement .....	136
6.3.1	Paramètres physiques .....	136
6.3.2	Analyse de l'évolution de l'aspect visuel .....	137
6.3.2.1	Paramètres physiques .....	138
6.3.3	Stabilité oxydative .....	139
7	Analyse marketing .....	141
7.1	Introduction .....	141
7.2	Objectifs .....	141
7.3	Habitudes alimentaires en Belgique .....	141
7.4	État des lieux du marché des boissons énergétiques .....	142
7.4.1	État des lieux du marché du thé et des tisanes .....	142
7.4.2	État des lieux du marché du café .....	142
7.4.3	État des lieux du marché des boissons énergisantes .....	143
7.5	Analyse de l'univers concurrentiel .....	143
7.5.1	Concurrents directs .....	143
7.5.2	Concurrents indirects .....	143
7.6	Segmentation et Ciblage .....	151
7.6.1	Positionnement et marketing mix (4P) .....	151
7.6.1.1	Produit .....	152
7.6.1.2	Prix .....	152
7.6.1.3	Place (distribution) .....	153
7.6.1.4	Promotion (communication) .....	153
7.6.2	Personas .....	154
7.7	Carte d'empathie .....	158
7.8	Business model Canvas .....	158

7.8.1	Business model Canvas classique .....	158
7.8.2	Business Model Canvas Environnemental.....	158
7.8.3	Business Model Canvas Sociétal.....	158
7.9	Étude de marché .....	163
7.9.1	Pré-enquête .....	163
7.9.2	Problématique et objectif de l'étude de marché .....	164
7.9.3	Hypothèses.....	165
7.9.4	Enquête qualitative et quantitative .....	165
7.9.4.1	Enquête qualitative.....	166
7.9.4.2	Enquête quantitative.....	166
7.10	Fixation du prix .....	173
7.10.1	Déterminer l'objectif.....	173
7.10.2	Analyse des coûts.....	173
7.10.3	Étude de marché.....	178
7.10.4	Stratégie de positionnement.....	178
7.10.5	Détermination d'une méthode de tarification .....	178
7.10.6	Fixation du prix de vente .....	179
7.10.7	Test du prix .....	179
7.10.8	Surveillance et Ajustement .....	179
7.11	Conclusion .....	180
8	Packaging du produit innovant.....	181
8.1	Emballages sur le marché.....	181
8.2	Cahier des charges fonctionnel du packaging .....	185
8.3	Possibilités d'emballages primaires, secondaires et tertiaires envisagés .....	189
8.4	Emballages sélectionnés .....	192
8.5	Élaboration du packaging.....	192
8.5.1	Moodboard.....	192
8.5.2	L'univers, les couleurs et l'image.....	193
8.5.3	Le nom de la marque .....	194
8.5.4	Création du design et du logo.....	194
8.6	Emballage primaire.....	195
8.6.1	Forme et les dimensions de l'emballage primaire .....	195
8.6.2	Étiquetage de l'emballage primaire .....	195
8.6.3	Visuels de l'emballage primaire .....	199
8.6.3.1	Visuels 2D de l'emballage primaire .....	199
8.6.3.2	Dépliage 2D de l'emballage primaire.....	200
8.6.3.3	Visuels 3D de l'emballage primaire .....	201
8.6.4	Réalisation manuelle de l'emballage primaire .....	201
8.6.5	Matériaux sélectionnés pour l'emballage primaire.....	202

8.6.5.1	Carton.....	202
8.6.5.2	Polyéthylène téréphtalate recyclé.....	203
8.7	Emballage secondaire sélectionné.....	203
8.7.1	Le film en r-PET étirable.....	203
8.8	Emballage tertiaire sélectionné.....	203
8.8.1	Les bacs gerbables.....	203
8.8.2	Boîte d’envoi.....	204
8.9	Auto-évaluation de la règle des 10R.....	205
8.10	Conclusion.....	206
9	Analyse de cycle de vie (ACV).....	207
9.1	L’importance d’évaluer l’impact des produits alimentaires.....	207
9.2	Généralités d’une analyse de cycle de vie (ACV).....	207
9.3	Étapes d’une ACV.....	208
9.3.1	Objectif et champ de l’étude.....	208
9.3.1.1	Définir l’objectif.....	208
9.3.1.2	Définir l’unité fonctionnelle.....	208
9.3.1.3	Définir le système et ses limites.....	208
9.3.2	Inventaire.....	209
9.3.2.1	Inventaire des données conformément à l’unité fonctionnelle.....	209
9.3.3	Évaluation des impacts.....	211
9.3.3.1	Processus créé dans le logiciel Simapro.....	211
9.3.3.2	Catégories d’impacts environnementaux et méthode d’analyse d’impact.....	211
9.3.4	Interprétation.....	212
9.3.4.1	Résultats graphiques.....	212
9.3.4.2	Analyse des résultats.....	214
9.3.4.3	Discussion des résultats.....	214
9.3.4.4	Conclusion et réflexion pour des solutions potentielles.....	214
10	Chaîne de production.....	216
10.1	Chaîne de production du produit innovant.....	216
10.1.1	Séparateur.....	216
10.1.2	Lyophilisateur.....	217
10.1.3	Tempéreuse.....	217
10.2	Chaîne de production de packaging.....	218
10.2.1	Emballage primaire.....	218
10.2.1.1	Etuyeuse.....	218
10.2.2	Emballage secondaire.....	219
10.2.2.1	Fardeleuse soudeuse latérale.....	219
10.3.1	Emballage tertiaire.....	219

11	Discussion et améliorations du projet .....	220
11.1	Discussion des résultats .....	220
11.2	Amélioration et perspectives du projet .....	222
12	Conclusion.....	223
13	Annexes.....	225
	Références.....	275

# Table des figures

Figure 1 : La goutte des boissons. ....	23
Figure 2 : Diagramme de fabrication du café soluble.....	29
Figure 3 : Différentes étapes impliquées dans le traitement du lait.....	35
Figure 4 : Courbe de tempérage du chocolat blanc .....	50
Figure 5 : Représentation schématique d'un lyophilisateur industriel .....	56
Figure 6 : Degré de dégradation des aliments en fonction de l' $A_w$ .....	65
Figure 7 : Étiquette du produit innovant. ....	69
Figure 8 : Emballage primaire réalisé sur l'interface Blender.....	73
Figure 9 : Tamiseur de la marque « Fritsch ».....	95
Figure 10 : Ingrédients nécessaires.....	96
Figure 11 : Chocolat blanc fondu à sa température de fonte : 45-50 °C.....	97
Figure 12 : Mélange du chocolat blanc fondu.....	97
Figure 13 : Moule de la marque « Silikomart ».....	98
Figure 14 : Diagramme de fabrication du produit innovant.....	99
Figure 15 : Résultats de l'étude de la texture de la sphère.....	111
Figure 16 : Résultats de l'étude de la mouillabilité des matières premières.....	112
Figure 17 : Test de la mouillabilité de la poudre de moringa brute dans de l'eau à l'ébullition. ....	113
Figure 18 : Sphère contenant les additifs.....	115
Figure 19 : Dissolution des sphères contenant des additifs.....	115
Figure 20 : Fraction de poudre de moringa tamisée et non tamisée .....	116
Figure 21 : Dissolution de sphères avec apparition des différentes phases.....	116
Figure 22 : Extraction de la partie soluble du mélange de la poudre de moringa dans de l'eau. ....	117
Figure 23 : Sphères avec et sans maltodextrine. ....	119
Figure 24 : Première version de la presse maison.....	119
Figure 25 : Palets de poudre réalisés à l'aide de la presse maison première version. ....	120
Figure 26 : Presse maison deuxième version.....	120
Figure 27 : Liants utilisés.....	122
Figure 28 : Sphères et dissolution .....	122
Figure 29 : Gels.....	124
Figure 30 : Palets trempés dans les gels .....	124
Figure 31: Tests de dissolution des palets enrobés .....	125
Figure 32 : Principe du BactoBox.....	127
Figure 33 : Comparaison de la brillance et de la couleur des sphères .....	138
Figure 34 : Personas.....	157

Figure 35 : Carte d'empathie. ....	159
Figure 36 : Business Model Canvas Classique. ....	160
Figure 37 : Business Model Canvas Environnemental.....	161
Figure 38 : Business Model Canvas Social.....	162
Figure 39 : Informations générales des personnes ayant répondu à notre questionnaire.....	168
Figure 40 : Informations sur les habitudes de consommation des personnes ayant répondu au questionnaire.....	170
Figure 41 : Avis des participants sur le produit innovant.....	171
Figure 42 : Avis des participants concernant le packaging. ....	172
Figure 43 : Moodboard.....	192
Figure 44 : Nuage de mots.....	193
Figure 45 : Réflexion par rapport à l'univers, aux couleurs et à l'image.....	194
Figure 46 : Design, Logo et Slogan.....	195
Figure 47 : Visuels 2D de l'emballage primaire.....	200
Figure 48 : Dépliage de l'emballage primaire.....	200
Figure 49 : Emballage du produit innovant par le logiciel Blender.....	201
Figure 50 : Emballage du produit innovant. ....	201
Figure 51: Boîte en carton et système de logement.....	202
Figure 52 : Bac gerbable.....	203
Figure 53 : Boîte d'envoi réutilisable.....	204
Figure 54 : Schéma de flux d'énergie massique.....	209
Figure 55 : LCA du produit innovant (caractérisation).....	212
Figure 56 : LCA du produit innovant (normalisation).....	213
Figure 57 : Séparateur rond « Vibro-Energy » de la marque « Sweco ». ....	216
Figure 58 : Lyophilisateur « RAY®1 » de la marque « GEA ». ....	217
Figure 59 : Tempéreuse professionnelle « Plus Ex » de la marque « Selmi ». ....	218
Figure 60 : Etuyeuse side load de la marque « Jyga ». ....	218
Figure 61 : Fardeleuse soudeuse latérale « Expérience IS 600 ECO » de la marque « Imbalstock ». ....	219

# Table des tableaux

Tableau 1 : Comparaison des substances énergisantes pour les différentes boissons.....	26
Tableau 2 : Comparaison des teneurs en nutriments des différentes boissons.....	29
Tableau 3 : Composition moyenne du lait de vache.....	31
Tableau 4 : Teneur des différents minéraux présents dans le lait de vache.....	32
Tableau 5 : Teneur des vitamines présentes dans le lait de vache.....	33
Tableau 6 : Comparaison des valeurs nutritionnelles du moringa dans différentes études.....	38
Tableau 7 : Comparaison des valeurs nutritionnelles de feuilles fraîches et séchées de moringa.....	39
Tableau 8 : Pourcentages des besoins en calcium, fer, magnésium et vitamines A, C et E couverts par 10 g de poudre de feuilles de moringa.....	40
Tableau 9 : Composition en acides aminés des feuilles de moringa séchées.....	41
Tableau 10 : Comparaison des compositions nutritionnelles de Spirulina plantensis en poudre et de feuilles de Moringa oleifera en poudre.....	42
Tableau 11 : Comparaison des compositions nutritionnelles de feuilles de moringa fraîches avec d'autres légumes frais.....	43
Tableau 12 : Quantité de composés bioactifs contenus dans les feuilles de moringa séchées.....	44
Tableau 13 : Composition des différents types de chocolats.....	47
Tableau 14 : Récapitulatif des différentes techniques d'enrobage.....	59
Tableau 15 : Récapitulatif des 5S en lien avec le produit innovant et leur objectifs quantifiés.....	64
Tableau 16 : Dangers microbiologiques de la poudre de lait.....	66
Tableau 17 : Dangers microbiologiques du chocolat.....	66
Tableau 18 : Dangers chimiques.....	67
Tableau 19 : Dangers physiques.....	67
Tableau 20 : Valeurs nutritionnelles du produit innovant.....	70
Tableau 21 : Pourcentage de protéines calculé dans la sphère broyée.....	71
Tableau 22 : Description des différentes propriétés de texture.....	74
Tableau 23 : Résultats de l'étude de la couleur de la boisson.....	77
Tableau 24 : Paramètres et valeurs cibles de satisfaction souhaités.....	79
Tableau 25 : Fiche produit.....	81
Tableau 26 : Matières premières utilisées lors de la formulation du produit innovant.....	82
Tableau 27 : Valeurs nutritionnelles de la poudre de moringa « Purasana ».....	83
Tableau 28 : Valeurs nutritionnelles de la poudre de lait écrémé 0 % « Isigny Sainte-Mère ».....	83
Tableau 29 : Caractéristiques chimiques et physiques du chocolat blanc Obsession 30 « Veliche »..	84
Tableau 30 : Valeurs nutritionnelles pour 100 g du chocolat blanc Obsession 30 « Veliche ».....	84
Tableau 31 : Valeurs nutritionnelles du Mycryo « Callebaut ».....	85

Tableau 32 : Équipements utilisés lors de la conception du produit innovant. ....	85
Tableau 33 : Équipements utilisés lors des analyses chimiques, physiques et physico-chimiques. ....	86
Tableau 34 : Programme de température GS-MS.....	89
Tableau 35 : Paramètres utilisés pour étudier la texture de la sphère. ....	91
Tableau 36 : Paramètres utilisés pour étudier la viscosité de la boisson.....	92
Tableau 37 : Caractère du flux en fonction des indices de Carr et Haussner. ....	93
Tableau 38 : Formulation.....	94
Tableau 39 : Diagramme de fabrication du produit innovant.....	99
Tableau 40 : Résultats de l'étude des teneurs en matière sèche. ....	100
Tableau 41 : Résultats de l'étude des teneurs en cendres.....	101
Tableau 42 : Résultats de l'étude des teneurs en protéines. ....	101
Tableau 43 : Résultat de l'étude de la matière grasse de la sphère broyée. ....	102
Tableau 44 : Résultats de l'étude des composés aromatiques de la poudre de moringa.....	104
Tableau 45 : Résultats de l'étude de l'activité de l'eau. ....	105
Tableau 46 : Résultats de l'analyse granulométrique des matières premières. ....	106
Tableau 47 : Résultats de l'étude de la densité et de la coulabilité des matières premières.....	106
Tableau 48 : Résultats de l'étude de la couleur. ....	107
Tableau 49 : Résultats de l'étude de la texture de la sphère.....	109
Tableau 50 : Valeurs de viscosité à 30 °C. ....	110
Tableau 51 : Résultats de l'étude de la mouillabilité.....	112
Tableau 52 : Résultats de l'étude de la solubilité. ....	113
Tableau 53 : Résultats de l'étude de la dispersibilité.....	114
Tableau 54 : Temps de dissolution et sédimentation. ....	116
Tableau 55 : Additifs testés. ....	121
Tableau 56 : Ingrédients validés pour la première formulation.....	123
Tableau 57 : Agents d'enrobage testés.....	124
Tableau 58 : Description des matières premières principales du produit innovant. ....	129
Tableau 59 : Évaluation des risques. ....	134
Tableau 60 : PrPO et actions correctives. ....	135
Tableau 61 : Analyse du vieillissement du produit innovant.....	137
Tableau 62 : Résultats de l'étude de l'Aw et de la texturométrie des sphères dans différentes conditions après 60 jours. ....	139
Tableau 63 : Stabilité oxydative du produit innovant. ....	140
Tableau 64 : Récapitulatif des concurrents indirects principaux. ....	150
Tableau 65 : Critères de segmentation utilisés pour segmenter le marché.....	151
Tableau 66 : Besoin, valeurs, motivations et freins mis en avant grâce à la pré-enquête. ....	163
Tableau 67 : Analyse SWOT. ....	164

Tableau 68 : Hypothèses et indicateurs.....	165
Tableau 69 : Résultats obtenus grâce au calculateur Check Market.....	167
Tableau 70 : Coûts des matières premières.....	173
Tableau 71: Coûts des emballages.....	174
Tableau 72 : Coûts de la chaîne de production.....	174
Tableau 73 : Coûts des transports.....	176
Tableau 74 : Coûts administratifs.....	176
Tableau 75 : Récapitulatif des coûts.....	177
Tableau 76 : Récapitulatif des emballages existants sur le marché.....	185
Tableau 77 : Cahier des charges fonctionnel du packaging.....	188
Tableau 78 : Avantages et inconvénients des différents emballages envisagés.....	191
Tableau 79 : Éléments apparaissant sur la face avant de l'emballage.....	196
Tableau 80 : Éléments apparaissant sur les faces latérales droite et gauche de l'emballage.....	196
Tableau 81 : Éléments apparaissant sur la face arrière de l'emballage.....	197
Tableau 82 : Éléments apparaissant sur le dessus et le dessous de l'emballage.....	198
Tableau 83: Caractéristiques techniques des bacs gerbables.....	204
Tableau 84: Inventaire.....	210
Tableau 85 : Processus dans Simapro.....	211



# 1. Introduction

## 1.1 Contexte et problématique

Les modes de vie sont en constante évolution. La société du 21<sup>e</sup> siècle est une société consciente qui veut faire de son bien-être mental et physique une priorité et cela, notamment par les aliments consommés. En effet, de plus en plus d'études sont menées montrant que l'alimentation tient un rôle important dans le maintien de la santé (1–4). Les recommandations nutritionnelles des différentes autorités, visant à aider la population à adopter une alimentation saine et équilibrée dans l'objectif de promouvoir la santé deviennent également plus insistantes (5–7). Ainsi, prendre soin de sa santé en mangeant équilibré représente un nouveau défi de la science moderne qui propose divers aliments appelés les superaliments (8). Néanmoins, ces derniers restent trop peu méconnus de la société actuelle, nécessitant de les introduire de manière progressive et douce afin de faciliter leur acceptation et d'encourager une consommation en plus grande quantité.

En parallèle, avec l'arrivée du 21<sup>e</sup> siècle, débute l'ère du « tout, tout de suite, maintenant, très vite ». Ainsi, la population vit à toute vitesse, à un rythme échevelé car chaque minute compte. Ce véritable phénomène de société est devenu plus prononcé depuis l'accélération des technologies permettant davantage d'échanges, de transports et de production, etc. Ainsi, la recherche constante de solutions plus rapides, plus simples, plus pratiques répond à cette demande d'instantanéité et de pression du temps (9,10).

De ce fait, les cafés de tous genres mais également les nombreuses alternatives, sont fortement consommées que ce soit pour l'énergie apportée par les substances stimulantes présentes dans ces boissons, pour une satisfaction immédiate ou encore pour leur aspect réconfortant.

Ces deux éléments majeurs, c'est-à-dire une alimentation plus saine passant par l'introduction des nouveaux superaliments en vue d'un bien-être du corps ainsi qu'une pression constante du temps, prévalent sur le mode de vie de la population occidentale d'aujourd'hui. Ainsi, une alimentation toujours plus saine et équilibrée mais également plus rapide et pratique est continuellement recherchée.

## 1.2 Objectif du mémoire

L'objectif principal de ce mémoire, dans le cadre du master en Management de l'Innovation et de la Conception des Aliments, est de concevoir, formuler et caractériser un nouveau produit alimentaire innovant destiné à être mis sur le marché.

Cette démarche commence par la recherche théorique, l'élaboration d'une formulation unique, incluant la sélection des ingrédients, l'optimisation des proportions et l'établissement d'une recette stable. Des tests préliminaires permettent d'ajuster la texture, le goût et la valeur nutritionnelle pour répondre au mieux aux attentes. Une caractérisation physico-chimique approfondie des ingrédients mais aussi du produit final doit être réalisée, comprenant l'analyse de la composition (macronutriments et micronutriments), les propriétés rhéologiques (viscosité, élasticité, texture) et d'autres paramètres essentiels pour garantir la qualité et la stabilité du produit. Parallèlement, une étude de vieillissement et une analyse microbiologique doivent être menées pour évaluer la durée de conservation. Une analyse sensorielle doit également être imaginée afin de recueillir l'avis des consommateurs sur des aspects tels que le goût, l'odeur et la texture, contribuant ainsi à affiner et optimiser le produit final.

Néanmoins, le développement du produit ne s'arrête pas là : une stratégie de marketing complète, incluant une étude de marché et l'élaboration d'un packaging attrayant et fonctionnel mais aussi une publicité donnant vie au produit, doit être mise en place pour assurer son succès commercial. Toutes ces étapes visent ainsi à développer un produit alimentaire innovant, sûr, durable et attractif, prêt à conquérir le marché.

Une analyse du cycle de vie (LCA) du produit alimentaire peut également être incluse afin d'aller plus loin dans le développement du produit, permettant d'évaluer son impact environnemental tout au long de sa durée de vie.

La conception d'une chaîne de production optimisée pour garantir l'efficacité et la durabilité de la fabrication peut aussi être imaginée. Cette approche permet notamment de déterminer le coût de production, donnant une vision claire du prix de vente optimal pour assurer à la fois la rentabilité et l'accessibilité du produit.

### **1.3 Description du produit**

Afin de contribuer à la recherche et au développement de nouveaux produits alimentaires répondant aux besoins de la société actuelle, un latte instantané a été mis au point, incluant notamment un superaliment : la plante de moringa. Cet aliment naturel détient une forte valeur nutritionnelle qui procure de nombreux bienfaits pour la santé permettant d'offrir cet apport énergétique demandé par la population, sans contenir de caféine.

Compte tenu de l'absence de latte instantané sous une autre forme qu'en poudre sur le marché, le choix a été fait de proposer le produit sous forme de sphère unitaire. Cela permet une certaine praticité d'usage et de transport toujours dans l'optique de répondre à la demande de la population. La base de lait et de chocolat blanc amène un certain réconfort à la boisson et permet également d'adoucir le goût de la plante. En effet, ce superaliment doit être introduit de manière progressive via l'association de ces deux ingrédients connus avant que la plante ne soit totalement intégrée dans l'alimentation de la population. De plus, une tendance reconnue pour les boissons latte s'est développée ces dernières années, notamment pour le matcha latte.

Ainsi, l'objectif est d'innover sur les composants et sur la forme du produit alimentaire créé. En pratique, sous l'effet de l'eau chaude, la sphère contenant les différents ingrédients se dissoudra créant un latte instantané original, ludique et esthétique permettant un moment de découverte d'une nouvelle saveur et d'un moment de douceur.

Le cahier des charges du produit innovant est amplement décrit au point 3.

## 2. État de l'art

L'état de l'art réalisé est un panorama synthétique et organisé impliquant un travail bibliographique et une analyse des publications majeures en rapport avec le développement du produit innovant.

### 2.1 Boissons alternatives au café

#### 2.1.1 État des lieux des boissons alternatives au café

Le café est l'une des boissons les plus consommées dans le monde, surtout connu pour ses vertus stimulantes. Pour certaines personnes, le café est même indispensable, en particulier le matin, car celui-ci permet d'apporter cet apport énergétique dont certains ont besoin pour commencer la journée. Le rôle sociétal du café est également présent dans la population occidentale, surtout dans les entreprises. En effet, la pause-café est considérée comme un rituel jouant le rôle de favoriser l'efficacité et le bien-être au travail, la création et le renforcement des liens sociaux (11).

Cependant, de nombreuses alternatives au café existent. Parmi celles-ci se distinguent celles qui sont « peu transformées » telles que le thé, les tisanes, les infusions ou encore la chicorée.

Ensuite, se retrouvent les alternatives dites « ultra-transformées » où sont classés des produits qui s'apparentent au café et d'autres qui s'en éloignent. Ces derniers sont consommés afin d'obtenir les mêmes effets stimulants que le café, comme les cafés instantanés dits de mélange et les boissons énergisantes (12–14).

A l'inverse de ces boissons qui ont pour but de stimuler le consommateur, d'autres sont consommées pour le plaisir, comme le chocolat chaud.

Les différentes alternatives au café qui se rapprochent le plus du produit innovant vont être passées en revue. Cette analyse a été réalisée à partir de la goutte des boissons développée par Food in Action (12). Statistiquement, seulement 27 % des Belges (3 – 64 ans) boivent suffisamment d'eau ou de boissons non sucrées (sodas light, cafés ou thés) (15).

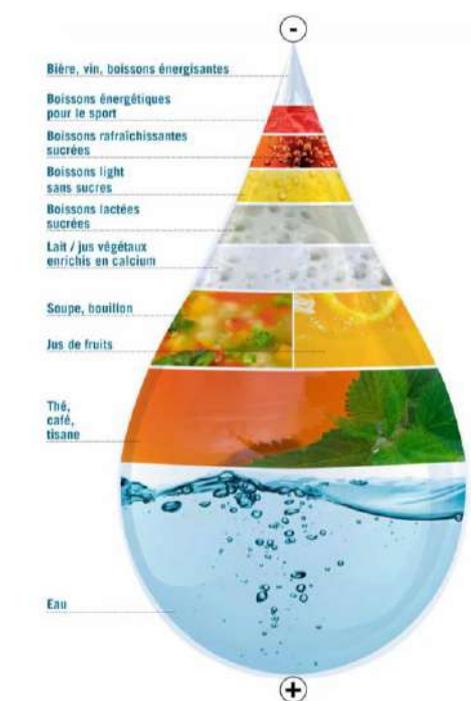


Figure 1 : La goutte des boissons (12).

Après l'eau se trouve la catégorie des thés, cafés et tisanes, la chicorée pouvant également être ajoutée. Le thé est la boisson la plus consommée après l'eau dans de nombreuses sociétés. Le thé est perçu comme une boisson plus relaxante que le café grâce à la théanine contenue. Cette molécule est un acide aminé produisant un effet apaisant sur le long terme contrant l'effet stimulant de la théine. Le thé est également riche en polyphénols qui lui confèrent de nombreux bienfaits pour la santé : un effet antioxydant élevé, un potentiel anti-inflammatoire, antibactérien et antiviral ainsi qu'un effet protecteur contre plusieurs maladies. Les polyphénols majeurs retrouvés dans le thé vert sont les catéchines (300 mg/g), les acides phénols (20 mg/g) et les flavonols (20 mg/g). Néanmoins, la composition phénolique est relativement variable, dépendant de la provenance des feuilles de thé ainsi que de la température et du temps d'infusion (16).

Par conséquent, de par sa saveur, ses arômes distinctifs ainsi que ses bienfaits pour la santé, le thé est une boisson de choix pour de nombreux consommateurs (17). L'Inde produit et consomme plus de thé que tous les autres pays du monde. Plusieurs déclinaisons de thés existent dont les plus connues sont le thé chai en Inde, le thé classique au Royaume-Uni, le thé à la menthe au Maroc, le thé matcha au Japon, etc. Avec la réputation croissante des dérivés du thé, la consommation de boissons contenant des composés riches en phénols est de plus en plus répandue (18).

Depuis ces dernières années, le thé matcha a gagné en popularité auprès des consommateurs et s'est développé dans le monde entier. Ce type de thé vert japonais en poudre (*Camellia sinensis*), issu de la variété Tencha est particulièrement apprécié pour ses vertus, grâce à sa richesse en composés antioxydants (19). Sa saveur distinctive et singulière le rend agréable et est utilisé dans des desserts tels que les gâteaux, les biscuits, la crème glacée et surtout dans les boissons. En outre, de nombreuses chaînes de cafés élargissent leurs gammes de produits avec ce nouveau goût tendance. En raison de cette popularité croissante, les importations de matcha en provenance du Japon ont également augmenté ces dernières années (20,21).

À côté du matcha, le kombucha est également conçu à partir de thé. Obtenu par fermentation de thé, en utilisant une colonie symbiotique de bactéries et de levures (SCOBY) comme inoculum, et du sucre, qui sert de substrat à la fermentation microbienne (22). Le kombucha affiche une véritable hausse des ventes ces dernières années devant le kéfir qui prend également de la place (23).

Pour finir, le Yerba Mate va être mentionné, largement consommé dans les pays d'Amérique latine. Cette boisson connaît un intérêt croissant depuis peu et a été introduite sur le marché mondial soit sous forme de thé, soit sous forme d'ingrédient ajouté dans les aliments (24). Les feuilles du maté sont issues de l'arbre *Ilex paraguariensis* et sont consommées après avoir subi différents traitements pour leurs vertus bénéfiques (25). Le Yerba Mate contient de nombreux composés chimiques, notamment de la caféine, de la théobromine ainsi que des polyphénols, des terpènes, des vitamines et des minéraux (24,26).

Toutes ces différentes boissons à base de thé ont donc vu leur popularité augmenter en raison de leurs bénéfices remarquables concernant la santé car celles-ci séduisent la nouvelle société occidentale du « je prends soin de moi ». Les Etats-Unis sont ainsi le premier importateur mondial de thé vert, suivi de la Chine et de la France (20).

La cinquième catégorie est celle des boissons lactées sucrées, incluant le soluble dit gourmand. La classe moyenne des pays développés montre une forte demande pour la consommation de café à domicile. En effet, la commodité des habitudes alimentaires, notamment pour la consommation de cafés à domicile, attire les consommateurs vers le café instantané. Ce produit polyvalent s'adapte aux différents goûts et préférences des consommateurs tout en étant facilement distribué, favorisant la croissance du marché (27).

Les industriels mettent l'accent sur les saveurs uniques et authentiques ainsi que sur les propriétés fonctionnelles du café, contribuant à l'essor du café instantané. Dans les rayons de supermarchés, la place qu'occupent les cafés instantanés est relativement importante. Les marques proposent des gammes variées de produits tels que des cappuccinos, des lattes, des cafés crème etc. (27).

De plus, les marques cherchent à offrir des produits hauts de gamme tant au niveau de la qualité des ingrédients que sur la présentation et l'emballage. Pour finir, les marques jouent sur un marketing agressif afin de mettre le produit en avant conduisant le consommateur à acheter le produit (27).

Le chocolat chaud peut également être classé dans cette catégorie. Depuis ses débuts, le cacao a parcouru un long chemin à travers le monde. Au fil des siècles et des interactions avec diverses cultures, le chocolat chaud a constamment été réinterprété et adapté. Aujourd'hui, une multitude de recettes existent, provenant des quatre coins du globe, adaptées à toutes occasions. Le chocolat chaud est universellement reconnu comme la boisson réconfortante par excellence (28).

En dernière position vient la catégorie « bière, vin et boissons énergisantes ». Seules les boissons énergisantes vont être décrites. Celles-ci désignent « tout produit se présentant sous la forme d'une boisson ou d'un concentré liquide, contenant un mélange d'ingrédients ayant la propriété de rehausser le niveau d'énergie et de vivacité » (29). En général, ces boissons regroupent diverses boissons non alcoolisées dont les principaux ingrédients sont la caféine et la taurine. Celles-ci sont commercialisées comme des produits énergisants, censés améliorer les performances physiques et mentales. (30). Celles-ci sont différentes des boissons pour sportifs qui visent à remplacer les électrolytes éliminés pendant l'exercice, à fournir des glucides, à prévenir de la déshydratation et à soutenir l'endurance (31,32).

Les boissons énergisantes, sont particulièrement consommées par les adolescents. Une enquête, réalisée en 2018 par la Health Behaviour in School-aged Children (HBSC) en Suisse, montre que 31 % des garçons et 16 % des filles âgés de 11 à 15 ans consommaient au moins une fois par semaine une boisson énergisante (33). Une autre enquête réalisée la même année par le Service d'Information, Promotion, Education Santé de ULB (SIPES) auprès des élèves de l'enseignement secondaire belge francophone montre que 11 % des jeunes interrogés consomment des boissons énergisantes plusieurs fois par semaine, avec des proportions plus marquées chez les garçons (34).

### **2.1.2 Place des alternatives au café dans l'alimentation d'un adulte**

Selon la pyramide alimentaire de 2020, le café et le thé sont classés dans la catégorie des eaux et boissons non-sucrées (13). En revanche, les cafés apprêtés ainsi que les boissons énergisantes sont classés parmi les non-indispensables. Cette catégorie est à limiter car comme son nom l'indique, ces produits ne sont pas indispensables pour une alimentation équilibrée. Les cafés apprêtés ainsi que les boissons énergisantes sont des aliments dits ultra-transformés. Ces derniers sont des produits alimentaires ou des boissons élaborés à partir de constituants extraits d'aliments et ne contiennent pratiquement aucun aliment intact, mais des arômes, des colorants ainsi que des additifs (35).

Depuis quelques années, le terme « ultra-transformé » est de plus en plus employé pour caractériser les aliments. De là découle la classification internationale NOVA, qui a été élaborée par Carlos Monteiro et son équipe en 2010. Cette classification est basée sur le degré de transformation des aliments et est aujourd'hui reconnue par les décideurs politiques dans les rapports de la Food and Agriculture Organisation (FAO) et de la Pan American Health Organization (PAHO). Les aliments sont classés en quatre groupes, sans stigmatiser tous les produits industriels, mais en pointant ceux du groupe 4, symbole de l'artificialisation croissante de notre alimentation (36).

Le groupe 4 englobe les produits ultra-transformés, comme les produits à base de viande reconstituée, les plats surgelés préparés, les boissons sucrées non-alcoolisées, les collations sucrées ou salées emballées, etc. Ces préparations industrielles sont réalisées à partir de cinq ingrédients ou plus. Les produits transformés du sel, du sucre, de l'huile ainsi que d'autres sources d'énergie et de nutriments qui ne sont pas utilisés dans les préparations culinaires. De plus, une multitude des séquences de processus est utilisée pour combiner les ingrédients qui sont généralement nombreux pour créer le produit final (14,37).

En 2014-2015, les aliments ultra-transformés représentent en moyenne 30 % de l'apport énergétique des Belges. Parmi les produits consommés, les boissons gazeuses représentent 6,7 % de l'apport (35,38).

### 2.1.3 Composition nutritionnelle des alternatives au café

Le tableau 1 compare les apports en caféine et en d'autres substances énergisantes dans le café, le café soluble, le thé vert, le thé matcha et dans les boissons énergisantes. Les valeurs sont reprises pour 100 ml de boisson.

Boissons	Teneurs moyennes en caféine (mg/100ml)	Teneurs en caféine (mg) pour des contenants standards	Teneur en taurine (mg) pour les contenants standards	Teneur en glucuronolactone (mg) pour les contenants standards	Teneur en polyphénols (mg/200ml)
Boissons dites énergisantes	30	72,5 (canettes de 250 ml)	1000 (canette de 250 ml)	600 (canette de 250 ml)	-
Café expresso	71,3	35,7 (50 ml)	-	-	-
Café filtre	51,3	51,3 (100 ml)	-	-	-
Café soluble reconstitué	48,4	48,4 (100 ml)	-	-	-
Café décaféiné	2,1	2,1 (100 ml)	-	-	-
Thé infusé	27,2	54,2 (200 ml)	-	-	200
Thé matcha	31,6 (39)	63,2 (200 ml)	-	-	-

Tableau 1 : Comparaison des substances énergisantes pour les différentes boissons (40).

La composition des substances énergisantes varie fortement d'une boisson à l'autre. En comparant les valeurs moyennes en caféine dans 100 ml des différentes boissons, le café expresso contient plus de caféine que les autres boissons présentées. La boisson qui en contient le moins est le café décaféiné. Un facteur à prendre en compte est la quantité qui va réellement être ingérée car celle-ci varie fortement.

Lors de la consommation d'une boisson énergisante, la canette est généralement consommée dans son intégralité. De ce fait la quantité de caféine ingérée est proportionnellement plus importante que dans un café, atteignant 72,5 mg pour une canette de 250 ml. En comparaison, une portion de 100 ml de café filtre contient 51,3 mg de caféine.

De plus, le matcha contient plus de caféine que le thé infusé, avec des valeurs respectives de 31,6 mg et de 27,2 mg dans 100 ml.

Seules les boissons énergisantes contiennent des substances telles que la taurine et le glucuronolactone. Les impacts de ces substances seront étudiés dans le point 2.4.1. Ces boissons incluent également une quantité importante de sucre, atteignant 27,5 g par 250 ml dans une boisson type « Red Bull ». De plus, ces boissons contiennent des vitamines ajoutées telles que la niacine, l'acide pantothénique, la riboflavine ou les vitamines B6 et B12 (40).

Les industriels ajoutent aussi des additifs tels que des correcteurs d'acidité, des colorants et des arômes. C'est donc un cocktail de composés dont le but premier est de stimuler le consommateur (40).

## 2.1.4 Comparaison des substances énergisantes

Les paragraphes suivants comparent les différentes substances énergisantes dans les boissons précédemment mentionnées.

### 2.1.4.1 Caféine et théine

La caféine est un composé chimique naturellement présent dans plus de 60 plantes telles que le café, le thé, la kola, la guarana ou le maté. La caféine dans le café ou la théine dans le thé sont en réalité une même molécule appelée 1, 3, 7-triméthylxanthine. Cet alcaloïde agit comme un stimulant psychotrope et cardio-vasculaire ainsi que comme un léger diurétique. Les effets sur l'organisme de la caféine et théine sont néanmoins différents étant donné que la théine est libérée plus lentement diminuant la vitesse d'assimilation. Cela est dû au fait que la théine est associée aux tanins du thé. Une tasse de café contient jusqu'à trois fois plus de cette molécule qu'une tasse de thé, comme le montre le tableau 1. La caféine est également présente dans d'autres aliments et boissons comme le chocolat, certains sodas ou encore les boissons énergisantes (41). Selon une étude menée par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), 96 % des boissons dites énergisantes contiennent de la caféine (42).

C'est important de consommer la caféine avec modération. Boire trois à quatre tasses de café par jour pourrait diminuer le risque de décès et de maladies cardiaques. Une consommation modérée est également liée à une réduction du risque de certains cancers, de diabète, de maladies du foie et de démence. Cependant, dépasser cinq tasses de café par jour augmente le risque de maladies, car un excès de caféine peut contribuer à l'hypertension artérielle (43). L'Agence Européenne pour la Sécurité des Aliments (EFSA) recommande aux adultes en bonne santé de ne pas dépasser une consommation de 400 mg de caféine par jour, correspondant approximativement à trois tasses de café par jour. L'EFSA conseille également aux femmes enceintes de ne pas excéder 200 mg par jour et le Conseil Supérieur de la Santé de Belgique (CSS) suggère aux femmes en âge de procréer de consommer moins de 300 mg de caféine par jour (31). L'Académie Américaine de Pédiatrie (AAP) recommande que les enfants ne consomment pas du tout de caféine. Néanmoins, étant donné la difficulté au vu de la diversité des produits en contenant, une autre étude réalisée recommande que la consommation par les enfants soit limitée à 2,5 mg/kg/jour (31,44).

Le caféinisme est le nom donné au syndrome lié à une consommation excessive de boissons contenant de la caféine, celle-ci peut présenter un risque de dépendance (45). D'après une étude menée en France par l'ANSES, en utilisant les normes internationales comme référence, une partie significative de la population française dépasse les recommandations en matière de consommation de caféine. Environ 30 % de la population adulte et 1 à 2 % des enfants et adolescents dépassent le seuil retenu comme générateur d'anxiété. En outre, 11 % des enfants âgés de 3 à 10 ans et 7 % des jeunes de 11 à 14 ans dépassent le seuil à partir duquel une tolérance à la caféine pourrait se développer. De plus, près de 7 % des adultes consomment des quantités de caféine supérieures au seuil où une toxicité chronique, affectant potentiellement la santé osseuse, cardiovasculaire, le risque de cancer ou la fertilité masculine, est suspectée (42).

### 2.1.4.2 Taurine et glucuronolactone

Dans la même enquête réalisée par l'ANSES, la taurine et le glucuronolactone sont présents respectivement dans 52 % et 33 % des boissons énergisantes étudiées (42).

La taurine ou l'acide 2-aminoéthane sulfonique est un acide aminé dit « conditionnellement » non essentiel, un apport alimentaire exogène n'est ainsi généralement pas nécessaire. Cet acide aminé est surtout présent dans la viande et les produits laitiers. La taurine est présente dans le cerveau où celle-ci semble être impliquée dans de nombreuses fonctions dès la conception, notamment dans la neurotransmission. Une boisson énergisante sous forme de canette peut contenir une quantité de taurine

entre 25 et 4000 mg, ce qui est bien au-delà de la quantité fournie par une alimentation normale, estimée entre 40 à 400 mg/jour. Peu d'informations concernant les effets négatifs résultant de la consommation de taurine dans les boissons énergisantes existent (46,47).

Le glucuronolactone, dérivé de l'acide glucuronique, est un composant chimique produit naturellement dans le foie pendant le métabolisme du glucose et peut également être apporté via l'alimentation avec des apports de l'ordre de 1 à 2 mg/jour. Une canette de boisson énergisante contient une quantité équivalente à environ 600 jours d'apports alimentaires. Les effets d'une si grande dose sur la santé sont peu renseignés. Cependant une toxicité rénale est évoquée (42,48).

Parmi les boissons énergisantes étudiées, le glucuronolactone n'est jamais retrouvé seul, étant systématiquement associé à la taurine ou à la caféine (42). Néanmoins, selon l'avis de l'EFSA, c'est peu probable que le glucuronolactone puisse avoir une interaction avec la taurine, la caféine ou encore l'alcool ou les effets de l'exercice. Les scientifiques ont également conclu que les interactions additives entre la taurine et la caféine, également souvent retrouvées associées, sur les effets diurétiques sont peu probables (29). Enfin, l'EFSA s'est également prononcée sur l'innocuité de la taurine et de le glucuronolactone en tant qu'ingrédients individuels des boissons énergisantes mais n'a pas réalisé d'évaluation de l'innocuité de ces boissons en tant que telles (31,48).

## 2.2 Café instantané

### 2.2.1 Les différents types de cafés solubles

Le marché du café instantané s'est fortement développé au cours de ces dernières années. Différents types de cafés solubles existent afin de satisfaire au mieux les attentes du consommateur.

- Le café instantané réalisé à partir de pur Arabica permet d'avoir des nuances gustatives pour le consommateur.
- Le café instantané à base de Robusta est idéal pour ceux qui aiment le café noir et serré et est également parfait pour réaliser des expressos, courts et concentrés.
- Le café instantané à base d'assemblage qui correspond à un mélange entre le café Arabica et Robusta.
- Le café instantané décaféiné qui a été créé afin de satisfaire les différents profils de consommateurs, permettant d'éviter de ressentir les effets de la caféine en ayant le goût du café.
- Le café instantané aromatisé ou gourmand, comme par exemple les préparations de cappuccino ou de latte
- en versions déshydratées où seul l'ajout d'eau est nécessaire car la préparation contient tous les ingrédients nécessaires (49).

Ainsi, l'industrie a diversifié les différentes gammes afin de toucher le maximum de consommateurs.

### 2.2.2 Comparaison des compositions nutritionnelles des cafés solubles

L'apport calorique des cafés aromatisés instantanés n'est pas négligeable. Les valeurs reprises dans le tableau 2 correspondent à 100 g de poudre. Pour ce faire, les compositions nutritionnelles de différents cafés instantanés du commerce ont été comparées. Deux cafés instantanés gourmands de la marque « Nescafé » de deux gammes différentes ont été sélectionnés. Ensuite, une moyenne de la composition des cafés instantanés au lait dans la table de composition Ciquel a été choisie. Comme référence, un café instantané classique contenant uniquement du café afin d'analyser les différences en termes d'apport calorique a été sélectionné. Le café instantané classique n'a pas d'apport calorique puisque la préparation contient uniquement du café. L'apport calorique va donc uniquement dépendre de ce que le consommateur préfère ajouter dedans (lait, sucre, ...).

Types de café	Kilocalories (kcal)	Protéines (g)	Lipides (g)	Glucides (g)
Café instantané classique Nescafé gold	0	0	0	0
Cappuccino instantané Nescafé gold	386	8	6,8	70,7
Latté vanille instantané Nescafé gold	406	8,3	9	71,3
Moyenne de cafés au lait instantané (Table Ciquel)	417	12,2	8,8	70,1

Tableau 2 : Comparaison des teneurs en nutriments de différents cafés solubles trouvés sur le marché, pour 100 grammes de préparation (50–52).

Etant donné que le café instantané classique ne contient pas d'autre ingrédient, celui-ci est classé dans le groupe 1 selon la classification NOVA. Le groupe 1 reprend des aliments non-transformés ou minimalement transformés. Ces préparations, ne contiennent pas d'additif ajouté (50).

De ce fait, ce qui explique les différences de calories entre les cafés aromatisés et instantanés classiques est l'ajout d'autres ingrédients. Dans les préparations gourmandes, le premier ingrédient est le sucre, puis le lait écrémé en poudre qui vient apporter un apport en protéines, lipides et glucides. En troisième position, se trouve le sirop de glucose, suivi de l'huile végétale, du sel et pour finir des additifs tels que des correcteurs d'acidités et des stabilisants. Au vu de la composition de ces préparations, celles-ci sont catégorisées comme ultra-transformées et non indispensables à l'alimentation équilibrée. Ces aliments doivent donc être consommés de manière occasionnelle. En effet, la composition nutritionnelle de ces préparations apporte un excès de calories principalement sous forme de sucre.

### 2.2.3 Procédé et diagramme de fabrication du café soluble

Le café instantané est fabriqué à partir de café fraîchement préparé en une forme soluble qui peut facilement se dissoudre dans de l'eau chaude. Six étapes sont préalables à la fabrication du café instantané. La figure 2 reprend les différentes étapes du diagramme de fabrication du café soluble.

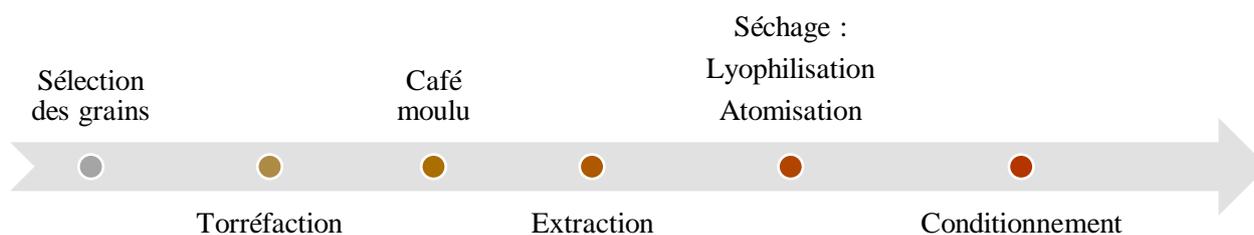


Figure 2 : Diagramme de fabrication du café soluble (54–56).

Tout d'abord, la première étape est la sélection des grains de café, soit du café Arabica soit Robusta ou un mélange des deux. Puis, vient la torréfaction durant laquelle, les grains sont exposés à la chaleur. Les grains de café verts à l'origine vont ainsi devenir bruns. Lors de cette étape, le café développe sa saveur, son intensité ainsi que son arôme. La durée et la température de torréfaction ainsi que le mélange déterminent le type de café (51–53).

Une fois le café torréfié, celui-ci va être moulu en poudre grossière. C'est après cette étape qu'a lieu l'extraction du café durant laquelle de l'eau chaude est ajoutée au marc créant une infusion similaire à celle du café traditionnel bien que généralement plus concentrée. Le marc obtenu va passer dans plusieurs cellules d'extraction, ce qui permet de concentrer le café afin d'extraire la saveur, l'arôme et la couleur du café (51–53).

Ensuite a lieu l'étape de séchage, deux façons de sécher le café infusé existent. Le but étant identique, enlever le plus d'eau possible soit par atomisation ou par lyophilisation (51–53).

La technique d'atomisation repose sur l'utilisation d'air chaud pour sécher l'extrait de café. Le liquide est pulvérisé dans un flux d'air chaud au sommet d'une tour cylindrique. Dès lors, des petites gouttelettes sèchent en descendant et se déposent au fond du cylindre. La poudre une fois séchée passe au travers d'un tamis afin de récolter des granulés de taille uniforme.

La deuxième méthode possible pour sécher le café infusé est la lyophilisation. Cette technique sera plus détaillée au point 3.2.2. et consiste à congeler l'extrait de café à une température d'environ -40 °C, créant une fine couche solide. Après cela, le mélange est concassé en granulés et lentement séché sous vide (51–53).

Une fois l'étape de séchage terminée, les grains peuvent être conditionnés. Pour garantir la qualité du produit, la poudre obtenue doit être emballée dans des conditions de faible humidité afin de maintenir le produit au sec jusqu'à ce que ce dernier soit consommé car les particules de cafés solubles sont hygroscopiques. Pour éviter toutes pertes d'arômes et de saveurs, le produit doit être conditionné dans une atmosphère à faible teneur en oxygène afin d'éviter les risques d'oxydation, s'agissant souvent d'une atmosphère modifiée avec du dioxyde de carbone ou de l'azote (51–53).

## **2.3 Matières premières**

Dans le point suivant, les différentes matières premières constituant le produit innovant vont être passées en revue de manière détaillée. Cette analyse permettra de mieux comprendre les propriétés et les avantages de chaque composant, ainsi que leur contribution à la performance globale du produit.

### **2.3.1 Lait**

#### **2.3.1.1 Généralités**

Le lait est défini par l'Arrêté Royal du 15 décembre relatif à la production et à la mise sur le marché du lait de consommation et des produits à base de lait comme tel « le lait produit par la sécrétion de la glande mammaire d'une ou de plusieurs vaches, brebis, chèvres ou bufflonnes » (54). Statistiquement, 52,5 millions de litres de lait de consommation ont été produits en Belgique en juin 2023 (55).

#### **2.3.1.2 Composition nutritionnelle du lait de vache**

Le tableau 3 reprend la composition moyenne du lait de vache. Les principaux constituants du lait sont : l'eau, les glucides, la matière grasse et les protéines. Néanmoins, la composition du lait peut varier en fonction du stade de lactation, la nutrition de l'animal, l'espèce ainsi que le traitement du lait (56–58).

	<b>Lait entier</b>	<b>Lait demi écrémé</b>	<b>Lait écrémé</b>
<b>Eau (g)</b>	87,5	89,4	91
<b>Glucides (g)</b>	4,8	4,8	4,6
<b>Lipides (g)</b>	3,5	1,5	0,1
<b>Protéines (g)</b>	3,4	3,4	3,4

Tableau 3 : Composition moyenne du lait de vache en gramme pour 100 grammes de lait (59,60).

## L'eau

L'eau est le principal constituant du lait, représentant plus de 85 % de la composition, son caractère polaire permet de former une solution vraie avec les substances polaires telles que le lactose. « Une solution vraie est un mélange de substances liquides ou solides solubilisées, appelées solutés, dans un solvant liquide » (56). En effet, le lactose étant un disaccharide hydrophile, ce dernier est soluble dans l'eau et s'y associe.

Quant aux matières grasses qui possèdent un caractère apolaire, celles-ci ne pourront se dissoudre et formeront donc une émulsion du type huile dans eau. « Une émulsion consiste en un mélange d'une phase dispersée liquide non solubilisée, présente sous forme de très fines gouttelettes, dans une phase dispersante liquide ; deux types d'émulsions se distinguent : une émulsion huile dans l'eau (H/E) ou une émulsion eau dans huile (E/H). Les matières grasses et l'eau du lait forment une émulsion H/E, tandis que l'eau et les matières grasses du beurre forment une émulsion E/H. » (56).

Quant aux micelles de caséines, celles-ci formeront une suspension colloïdale. « Une suspension colloïdale est un mélange constitué d'une phase dispersée solide non-solubilisée, présente sous forme de très fines particules solides dans une phase dispersante liquide ; quand les particules ont beaucoup d'affinité pour la phase aqueuse, ce système se nomme une solution colloïdale » (56,57).

Par conséquent, le lait est un mélange complexe constitué de ces trois systèmes coexistant : une solution vraie, une suspension colloïdale et une émulsion.

## Les glucides

Parmi les glucides, le lactose est le glucide le plus important du lait. D'autres glucides peuvent être présents en faible quantité comme par exemple le glucose et le galactose qui proviennent de l'hydrolyse du lactose. Le lactose est un solide blanchâtre qui se trouve en solution vraie dans le lait (56,57).

## La matière grasse

Comme discuté ci-dessus, les matières grasses forment une émulsion du type huile dans eau : la phase grasse forme des petites gouttelettes de 3 à 5 microns dans la phase aqueuse. Les globules de matière grasse sont présents essentiellement sous la forme de triglycérides, caractérisés par trois acides gras fixés sur un squelette de glycérol. Les acides gras saturés représentent 60 à 70 % des acides gras totaux. Parmi les acides gras saturés, les plus abondants sont les acides butyriques, myristiques, palmitiques et stéariques. Des lipides complexes appelés phospholipides qui se distinguent par la présence d'un groupement phosphate auquel est rattaché un groupement azoté sont également présents. Le lait contient deux groupes de phospholipides : les glycérophospholipides et les sphingolipides (56,57).

## Les protéines

Les protéines présentes dans le lait sont une source essentielle d'acides aminés de haute qualité. Les deux principales catégories de protéines présentes dans le lait sont les caséines et les protéines du lactosérum. Ce qui les différencie, ce sont leurs structures, leurs propriétés et leurs fonctions.

Premièrement, les caséines représentent 80 % de la teneur totale en protéines du lait. Ces protéines forment des agrégats colloïdaux, appelés micelles de caséines, ressemblant à une framboise mesurant entre 10 et 330 nm. Ces micelles confèrent au lait sa couleur blanche ainsi que sa texture opaque. De plus, les caséines sont riches en acides aminés essentiels, ce qui les rend très digestes.

Deuxièmement, les protéines du lactosérum correspondent à la partie du lait qui reste après l'extraction des caséines. Ce qui représente environ 20 % de la teneur totale en protéines du lait de vache (56,57).

## Les minéraux

Le tableau 4 reprend la teneur des différents minéraux présents dans le lait. D'autres minéraux qui ne sont pas présents dans cette liste sont à ajouter comme le soufre ainsi que le manganèse, le bore, le silicium, le brome, le molybdène, le cobalt, le baryum, le titane et le lithium présents à l'état de traces (56,57).

Minéraux	Teneurs (mg/kg)
Sodium (Na)	445
Magnésium (Mg)	105
Phosphore (P)	896
Chlore (Cl)	958
Potassium (K)	1500
Calcium (Ca)	1180
Fer (Fe)	0,50
Cuivre (Cu)	0,10
Zinc (Zn)	3,80
Iode (I)	0,28

Tableau 4 : Teneur des différents minéraux présents dans le lait de vache en mg par kg (59).

Les minéraux les plus importants présents dans le lait sont le calcium, le phosphore et le magnésium. Le calcium étant un minéral essentiel pour la croissance et le maintien d'une bonne ossature, le lait est une excellente source tant au niveau qualitatif que quantitatif. Le calcium est présent dans le lait sous forme soluble et ionique, pouvant être absorbé efficacement par l'organisme.

Le phosphore est également un minéral majeur dans le lait, ce dernier intervient dans le maintien de nombreuses fonctions biologiques et est également impliqué dans la production d'ATP, la synthèse

d'ADN et de l'ARN ainsi que dans la régulation de certaines réactions enzymatiques. Maintenir un bon rapport calcium-phosphore est essentiel car cela a un impact sur la santé osseuse.

Enfin, le magnésium est le cofacteur de plus de 300 réactions métaboliques, ce qui en fait donc également un minéral essentiel au niveau du métabolisme (56,57).

## Les vitamines

Le tableau 5 reprend les différentes vitamines présentes dans le lait. Le lait est une bonne source de vitamines hydrosolubles dont la plupart sont des vitamines du groupe B (riboflavine, niacine, panthothénate, biotine et thiamine). Ces vitamines interviennent dans le métabolisme énergétique. De plus, le lait contient également des vitamines liposolubles comme la vitamine A et D. La vitamine A se trouve sous forme de caroténoïdes, ces pigments sont d'origine végétale. Le lait contient également de la vitamine D mais en plus faible quantité (56,57).

<b>Vitamines hydrosolubles</b>	<b>Teneurs</b>
Vitamine A (+carotène)	40 µg/100 ml
Vitamine D	2,4 µg/100 ml
Vitamine E	100 µg/100 ml
Vitamine K	5 µg/100 ml
<b>Vitamine liposolubles</b>	<b>Teneurs</b>
Vitamine C (acides ascorbique)	2 mg/100 ml
Vitamine B1 (thiamine)	45 µg/100 ml
Vitamine B2 (riboflavine)	175 µg/100 ml
Vitamine B6 (pyridoxine)	50 µg/100 ml
Vitamine B12 (cyanocobalamine)	0,45 µg/100 ml
Niacine et niacinamide	90 µg/100 ml
Acide panthothénique	350 µg/100 ml
Acide folique	5,5 mg/100 ml
Vitamine H (biotine)	3,5 µg/100 ml

Tableau 5 : Teneur des vitamines présentes dans le lait de vache (59,60).

### 2.3.1.3 Procédé et diagramme de fabrication du lait de vache

Avant d'être commercialisé, le lait subit plusieurs étapes, ayant pour but d'allonger la durée de conservation du produit et de garantir une certaine stabilité au niveau microbiologique. Après la traite, le lait est refroidi à une température de 4 °C. Le refroidissement peut être réalisé par réfrigération mécanique ou dans des cuves de refroidissement. Ce traitement permet de garantir la qualité du lait et d'éviter le développement de microorganismes (59).

A la laiterie, le lait est analysé puis va être stocké dans des cuves réfrigérées. Avant de subir les traitements thermiques, le lait est standardisé et homogénéisé. La standardisation du lait a pour but de garantir la composition nutritionnelle du produit alors que l'homogénéisation sert à stabiliser la phase grasse du lait et ainsi d'éviter la montée de la crème après l'entreposage. Cela consiste à réduire la taille des gouttelettes de matière grasse afin qu'elles soient réparties de manière homogène dans la phase aqueuse. Après cela, le lait subit soit une pasteurisation ou une stérilisation (59).

Lors de la pasteurisation, le lait est chauffé à minima à 72 °C pendant au moins 15 secondes. D'autres combinaisons de couples temps/ températures sont acceptées pour atteindre le même résultat. Le lait peut également être stérilisé. Dans ce cas, le lait est chauffé à une température allant de 115 à 120 °C pendant 15 à 20 minutes. Une autre possibilité est de réaliser un traitement UHT lors duquel le lait est chauffé à 140 °C pendant quelques secondes. Une fois que le produit a subi un des trois traitements, ce dernier sera de nouveau refroidi et conditionné. La figure 3 reprend les différentes étapes impliquées dans le traitement du lait (60).

Le lait en poudre subit les mêmes étapes au préalable et sera ensuite obtenu par déshydratation du lait. Celle-ci permet une conservation à température ambiante pendant plusieurs mois. Cependant, la poudre de lait doit être conservée de manière optimale car la poudre craint la chaleur et l'humidité. Deux techniques peuvent être utilisées pour fabriquer de la poudre de lait : l'atomisation ou le cylindre chauffant.

Le séchage par atomisation ou « spray process », comme cité dans le point sur le café soluble, consiste à pulvériser le lait sous forme de gouttelettes au sein de la tour d'atomisation. Le résultat est une poudre qui est collectée dans le bas de la tour (60). La poudre de lait peut aussi être obtenue par cylindre chauffant ou « roller process ». Le lait est déposé entre les parois extérieures de deux cylindres rotatifs proches, chauffés de l'intérieur, cela correspond à une déshydratation par contact. La poudre de lait est alors récupérée sous forme de paillettes, qui seront conditionnées (60).

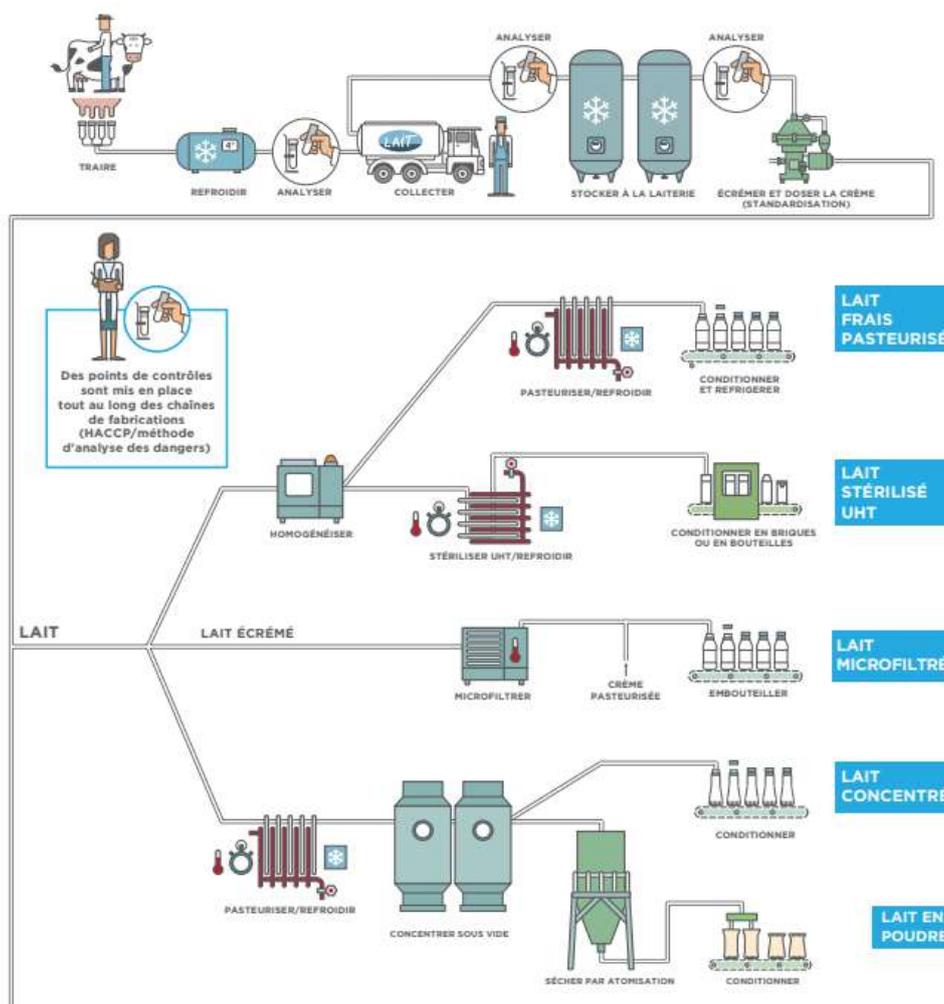


Figure 3 : Différentes étapes impliquées dans le traitement du lait (63).

### 2.3.1.4 Effets des traitements appliqués sur le lait de vache

Les traitements thermiques appliqués au lait affectent la composition nutritionnelle à plusieurs niveaux. La pasteurisation ne semble pas influencer significativement les propriétés nutritionnelles du lait. Cependant, des traitements thermiques plus intensifs peuvent entraîner une dénaturation des protéines en rendant certains acides aminés, notamment la lysine et la thréonine moins accessibles. Ces altérations dépendent de la température et de la durée d'application du traitement thermique. De plus, principalement lors de la stérilisation, la réaction de Maillard se produit, en présence du lactose et des protéines lorsque la température augmente. Durant cette réaction, une série de composés vont être libérés et donneront un certain goût au lait, et cela peut même conduire au brunissement de ce dernier (61,62).

De plus, les traitements thermiques vont avoir comme conséquence de diminuer la teneur en vitamines du lait. Cela entraîne une diminution significative des vitamines B2, B9, B12, C et E (62).

Les procédés modernes de pasteurisation, stérilisation ou UHT, sont optimisés afin de modifier le moins possible la teneur en vitamines du lait (56).

En ce qui concerne les minéraux, une diminution d'une forme soluble du calcium aura lieu. Au vu de la quantité importante de calcium disponible dans le lait, cette perte a des effets limités. Une perte d'iode est également constatée (62).

Pour terminer, les enzymes perdent leurs activités à des températures relativement modérées. L'arrêt de l'activité de la phosphatase alcaline ou de la lactoperoxydase, servent de marqueurs pour évaluer l'efficacité d'un processus de pasteurisation car elles cessent leur activité à 72 °C. Ces enzymes sont donc utilisées comme des indicateurs de pasteurisation. Si les enzymes sont toujours actives après un traitement thermique cela indique que le lait n'a pas été suffisamment chauffé pour détruire les micro-organismes pathogènes (62).

## 2.3.2 Moringa

### 2.3.2.1 Généralités

*Moringa oleifera* Lam. est plus communément appelé « l'arbre à pilons » de par ses longues gousses ou « l'arbre à raifort » à cause du goût de ses racines, ressemblant à du raifort. Dans l'ordre des Brassicales, appartenant à la famille des Moringacées contenant 13 espèces de plantes dicotylédones. *Moringa oleifera* est l'espèce la plus cultivée de sa famille (63). Avec une hauteur de 10 à 12 m et un tronc de 45 cm de diamètre, le fruit de l'arbre est la gousse mesurant 20 à 45 cm contenant des graines d'1 cm de diamètre (64).

Cette plante est originaire des régions subhimalayennes de l'Inde, du Pakistan, du Bangladesh et de l'Afghanistan mais peut être cultivée dans toutes les régions tropicales ou subtropicales du monde (63). Sa culture est optimale lorsque la température se situe entre 25 et 35 °C, dans un sol sablonneux ou limoneux avec un pH légèrement acide à légèrement alcalin et une pluviométrie nette de 250 à 3000 mm. Cette plante est sensible à la sécheresse et aux vents. Néanmoins, les conditions de cultures restent peu exigeantes, ce qui en fait un arbre facilement cultivable dans les régions adéquates (65).

Toutes les parties de la plante possèdent une gamme remarquable de propriétés. Ainsi, le moringa présente des utilisations assez diverses, médicinales ou autres. Du fait de sa composition nutritive excellente pour la santé, cette dernière est considérée comme un superaliment. Dans beaucoup de régions du monde, en Afrique particulièrement, l'utilisation de *Moringa oleifera* comme fortifiant alimentaire est en augmentation (63).

La taille du marché mondial de moringa a été estimée à 6,4 milliards d'euros en 2020 et devrait se développer à un taux de croissance annuel composé (TCAC) de 9,5 % de 2020 à 2028. Le segment des aliments et des boissons représente la part maximale des revenus de 53,4 % en 2020. L'Asie-Pacifique domine largement le marché en représentant 45,8 % des revenus en 2020 (66).

### 2.3.2.2 Composition nutritionnelle du moringa

Chaque partie de la plante a une composition nutritionnelle différente : les feuilles fraîches ou sèches, les graines, les fleurs et les gousses. Ce travail se focalisera principalement sur les feuilles de la plante. Les feuilles peuvent se consommer fraîches dans des plats en sauce, ou bien sous forme sèche et réduites en poudre, laquelle peut être ajoutée notamment aux plats en sauce, aux gâteaux et beignets ou aux farines infantiles.

La composition nutritionnelle des feuilles de *Moringa oleifera* peut varier en fonction de différents facteurs. Concernant les éléments environnementaux, les régions et le sol sont des facteurs qui définissent la teneur en nutriments de la plante. Les feuilles de l'arbre cultivées dans des régions plus chaudes telles que les régions de savane sont moins nutritives que dans les forêts-caduques d'Afrique Centrale. Cette différence de teneur en nutriments pourrait s'expliquer par le fait qu'à hautes températures, les protéines et enzymes sont dénaturées (67–69).

Les méthodes de cultures utilisées telles que l'irrigation ou les fertilisants mais aussi la maturité des feuilles (feuilles foncées matures plus riches en nutriments que les feuilles jaunes et claires), la saison de récolte et le patrimoine génétique sont également des facteurs qui peuvent faire varier les données

nutritionnelles. La transformation et le stockage déterminent également la teneur en nutriments et en constituants anti-nutritifs (63,70,71).

Etant donné que les valeurs nutritives de *Moringa oleifera* peuvent fortement varier en fonction des nombreux facteurs cités ci-dessus, des teneurs très différentes sont parfois retrouvées dans la littérature. Les valeurs nutritionnelles de la poudre de feuilles de moringa séchées de sept articles différents trouvés dans la littérature ont été comparées. Les résultats se trouvent dans le tableau 6. Chaque étude est réalisée dans une localisation différente, donc avec des conditions différentes.

Toutes les études décrites dans le tableau 6 montrent que les feuilles séchées de *Moringa Oleifera* sont exceptionnellement riches en protéines, allant de 19,15 à 29,36 %. En même temps, elles sont pauvres en matières grasses, de 2,1 à 9,51 %. L'humidité est sous les 10 % dans toutes les études sauf dans celle réalisée en Thaïlande. La teneur en fibres varie de 4,65 à 31 %, plus pauvre en Inde et au Bangladesh qu'au Mexique et en Thaïlande. La teneur en glucides varie 56,25 à 27,1 %, avec une plus faible valeur que la moyenne au Mexique. La teneur en minéraux est constante et varie de 8,05 à 13,53 %.

Comme le montre le tableau comparatif 6, les feuilles séchées de *Moringa Oleifera* sont également une bonne source de minéraux comme le calcium, le potassium et le fer ainsi que d'autres éléments, tous essentiels à l'alimentation. Elles contiennent également des quantités importantes de vitamines.

Articles	Auteurs	Localisation	Humidité (%)	Protéines (g)	Lipides (g)	Glucides (g)	Fibres alimentaires (g)	Minéraux (g)	Vitamine A (ER)	Vit C (mg)	Vit E (mg)	Ca (mg)	Mg (mg)	P (mg)	K (mg)	Cu (mg)	Fe (mg)	S (mg)	Mn (mg)	Zn (mg)
Development of 'ready to use' value added products from Moringa Leaves	Saibaba Jagadeesan , Akshaya Sarangharaajan , Nithya Ravikumar , Kalpana Palani , Ramasubramaniyan Melmangalam Ramanathan	Tamil Nadu, India	8.04 ±0.01	23.73 ±0.05	8.98 ±0.07	44.54 ±0.03	4.65 ±0.01	11.10 ±0.01												
Moringa oleifera: A review on nutritive importance and its medicinal application	LakshmiPriya Gopalakrishnan, Kruthi Do riya, Devarai Santhosh Kumar	?		27.1	2.3	38.2	19.2			17,3	113	2003	368	204	1324	0,57	28,2	870		
The Future of Moringa Foods: A Food Chemistry Perspective	Silke Grosshagauer, Philip Pirkwieser, Klaus Kraemer, Veronika Somoza	Brazil		28,7	7,1	44,4														
Bioactive compounds from Moringa oleifera as promising protectors of in vivo inflammation and oxidative stress processes	Jaime González-Romero, Eduardo Jesús Guerra-Hernández, Celia Rodríguez-Pérez	Mexico	4,2-5,5	26,8-29,6	5,0-5,6	27,1	31	7,9-8,4	17,6 mg (B-carotène) = 2850 ER	67,8 (ac. Ascorbique)		2079	403,6	346,8	1498,7	0,8	27,8		32,5	5,4
Nutrients and minerals content of eleven different samples of Moringa Oleifera cultivated in Thailand	Suchada Jongrungruangchok, Supawan Bunrathep and Thanapat Songsak	Thaïlande (Ayutthaya)	12,51	10,9	2,43		20,11	12,51				1955.83			2029.50		25,82			
		Thaïlande (Bangkok)	8,52	22,44	2,1		17,99	8,42				1575.00			2004.22		22,74			
		Thaïlande (Chaiyaphum)	10,5	19,15	2,47		18,3	10,5				2951.13			1983.10		29,75			
		Thaïlande (Kanchanaburi)	9,07	24,25	2,22		19,66	9,07				1523.38			1504.41		37,6			
		Thaïlande (Nakhonpathom)	9,05	24,46	2,35		20,11	9,05				2286.17			1732.20		22,15			
		Thaïlande (Nakhonsawan)	13,53	28,8	2,16		16,39	13,53				1858.33			1724.30		20,58			
		Thaïlande (Nongbualumphu)	10	23,05	2,2		22,25	10				1510.41			1584.90		25,74			
		Thaïlande (Nonthaburi)	8,83	20,68	2,22		22,45	8,83				2481.96			1732.50		21,55			
		Thaïlande (Patumthani)	12,45	20,8	2,46		23,89	12,45				1566.92			1705.60		25,7			
		Thaïlande (Sakaeo)	10,06	27,34	2,06		16,3	10,06				1595.21			2054.10		33,79			
		Thaïlande (Sakonakhon)	10,77	24,38	2,15		21,53	10,77				1640.58			1695.37		20,31			
Produire et transformer les feuilles de Moringa : MoringaNews	Dr Armelle de Saint Sauveur et Dr Mélanie Broin	?	5-10	20 - 26				8 - 11	4000 -8000 ER	15-100	80-150	1600-2200	350-500	200-600	800-1800	0,7-1,1	18-28		0 - 5	1,5 - 3
Nutritional and functional properties of Moringa oleifera	Salma Sultana	Bangladesh cultural : Chaitali Joy	8.29 ± 0.21	23.26 ± 0.43	9.51 ± 0.12	47.25 ± 0.39	9.60 ± 0.29	10.38 ± 0.45		212.50 ± 6.45		2164 ± 70		208 ± 30	1722 ± 10					
		Bangladesh cultural : Barsali Joy	7.55 ± 0.25	29.36 ± 0.54	4.45 ± 0.21	48.97 ± 0.88	8.00 ± 0.25	9.22 ± 0.30		193.27 ± 5.98		1322 ± 20		304 ± 20	2025 ± 20					
		Bangladesh cultural : Baromashi Joy	8.22 ± 0.33	24.05 ± 0.26	5.25 ± 0.19	56.25 ± 0.97	6.40 ± 0.12	8.05 ± 0.39		187.96 ± 6.24		1723 ± 30		185 ± 10	1621 ± 0					
		Bangladesh cultural : Chaitali Mym	8.65 ± 0.37	22.99 ± 0.24	5.52 ± 0.25	56.00 ± 0.38	6.70 ± 0.19	8.79 ± 0.19		278.50 ± 8.11		1402 ± 200		219 ± 10	1317 ± 0					
		Bangladesh cultural : Baromashi Mym	7.94 ± 0.31	25.56 ± 0.46	4.03 ± 0.14	54.12 ± 0.86	6.00 ± 0.40	10.29 ± 0.23		209.50 ± 3.97		2645 ± 400		152 ± 10	1469 ± 10					

Tableau 6 : Comparaison des valeurs nutritionnelles de sept études de 100g de feuilles séchées de moringa (65,70–75)

Les compositions nutritionnelles des feuilles fraîches et séchées ont été évaluées puis comparées entre elles, notamment par le Dr Armelle de Saint Sauveur et le Dr Mélanie Broin comme le montre le tableau 7. La comparaison des valeurs nutritives montre que les feuilles séchées contiennent une concentration plus élevée de nutriments tels que les protéines, le calcium, le fer et de vitamines par rapport aux feuilles fraîches. Même si une forte proportion de nutriments est perdue pendant l'étape de séchage, la poudre de feuilles constitue malgré tout un complément nutritionnel très riche au vu de sa concentration en feuilles (71).

Éléments	Feuilles fraîches	Feuilles séchées
Matière sèche (%)	20-25	90-95
Calories (kcal)	92	205
Protéines (g)	5-7	20-26
Minéraux totaux (g)	2-3	8-11
Minéraux		
Calcium (mg)	350-500	1600-2200
Potassium (mg)	200-500	800-1800
Phosphore (mg)	50-120	200-600
Magnésium (mg)	80-120	350-500
Fer (mg)	5-8	18-28
Manganèse (mg)	1,2-2,5	5-9
Zinc (mg)	0,4-0,6	1,5-3
Cuivre (mg)	0,2-0,3	0,7-1,1
Vitamines		
Vitamine A ( $\beta$ -carotène) ( $\mu$ g)	1500-4000 eq. Rétinol	4000-8000 eq. Rétinol
Vitamine C (ac. ascorbique) (mg)	120-220	15-100
Vitamine E ( $\alpha$ -tocophérol) (mg)	80-448	80-150

Tableau 7 : Comparaison des valeurs nutritionnelles de 100 g de feuilles fraîches et séchées de *Moringa oleifera* (71).

Les apports en calcium, fer, magnésium et en vitamines A, C, E de 10 grammes de poudre de feuilles de moringa ont été comparés aux recommandations nutritionnelles belges du CSS de différentes catégories de populations : les enfants, les adolescents, les hommes et femmes adultes, les femmes de plus de 55 ans et les femmes enceintes. Le tableau 8 montre qu'un pourcentage assez important des besoins est apporté par 10 grammes de poudre de moringa (71,73,76).

	<b>Calcium</b>	<b>Fer</b>	<b>Magnésium</b>	<b>Vit. A</b>	<b>Vit. C</b>	<b>Vit. E</b>
Enfants 1 à 3 ans	38 %	30 %	50 %	150 %	10 %	190 %
Enfants 4 à 9 ans	24 %	23 %	30%	120 %	7,5 %	140 %
Adolescents 10 à 19 ans	15 %	25 %	10%	100 %	5 %	100 %
Hommes adultes	21 %	28 %	10%	100 %	6 %	75 %
Femmes adultes	21 %	12 %	15%	83 %	6 %	75 %
Femmes de plus de 60 ans	16 %	28 %	15%	100 %	6 %	75 %
Femmes enceintes	16 %	9 %	10%	75 %	5 %	75 %

*Tableau 8 : Pourcentages des besoins en calcium, fer, magnésium et vitamines A, C et E couverts par 10 g de poudre de feuilles de moringa (71,73,76).*

La surdose de poudre de moringa peut induire une suraccumulation de nutriments dont une importante accumulation de fer. Une teneur élevée en fer peut causer des troubles gastro-intestinaux et une hémochromatose. Les recommandations sont de ne pas dépasser une dose quotidienne de 70 g de moringa (77).

Cette plante contient divers acides gras. Des feuilles séchées du Mexique analysées montraient une répartition de 29,9 % d'acides gras saturés (SFA), 7,2 % d'acides gras monoinsaturés (MUFA), 63,2 % d'acides gras polyinsaturés (PUFA). L'acide linoléique (C18 :2 $\omega$ 6) est présent à 6,1% tandis que l'acide alpha-linolénique (C18 :3 $\omega$ 3) correspond à 56,9 % (70,73). De manière générale, les acides gras les plus présents sont l'acide linoléique, l'acide palmitique (C16 :0), l'acide linoléique et l'acide oléique (C18 :1 $\omega$ 9) (78).

Un point également important à aborder est la composition en acides aminés essentiels qui sont un indicateur de la qualité des protéines alimentaires. Comme le montre le tableau 9, les feuilles de moringa contiennent tous les acides aminés essentiels. De l'arginine et de l'histidine sont présents, ces deux acides aminés sont particulièrement essentiels pour les nourrissons. En effet, ceux-ci ne sont pas en mesure de produire suffisamment de protéines pour leurs besoins de croissance (68,70). L'acide aminé limitant est la méthionine comme décrit par le tableau 9. En moyenne, les trois acides aminés les plus abondants sont la leucine, le glutamate, et l'aspartate.

Acides aminés	Quantité (mg/g en poids sec)
Histidine	7,0 ± 0,4
Thréonine	7,9 ± 0,4
Tyrosine	4,8 ± 0,9
Valine	11,3 ± 1,1
Méthionine	1,4 ± 0,3
Isoleucine	8,9 ± 0,3
Leucine	17,5 ± 0,2
Phénylalanine	8,9 ± 0,3
Lysine	15,3 ± 0,6
Aspartate	15,8 ± 1,5
Glutamate	17,1 ± 1,4
Serine	9,4 ± 0,5
Glycine	10,3 ± 0,7
Alanine	12,5 ± 0,6
Proline	12,4 ± 0,9
Arginine	12,2 ± 0,8

Tableau 9 : Composition en acides aminés des feuilles de moringa séchées (mg/g en poids sec) (70,73).

### 2.3.2.3 Superaliments

De par sa composition nutritionnelle remarquable, le moringa peut être classé dans la catégorie des « superaliments » aussi appelés plus généralement « superfood ». Ceux-ci sont définis comme des « produits alimentaires très riches en nutriments, en antioxydants, en acides aminés et en vitamines qui possèdent des bonnes propriétés pour la santé » (79). Grâce à l'accélération des échanges par la mondialisation mais aussi grâce à cette quête du bien-être de la population occidentale, les superaliments sont de plus en plus convoités. Dans cette perspective d'une alimentation variée et équilibrée, les superaliments sont donc de vrais appuis pour promouvoir un bon état de santé physique et psychologique. En effet, les superaliments procurent des effets bénéfiques à la fois sur le corps mais également sur les fonctions cognitives.

Ainsi, les principaux superaliments sont notamment la spiruline, le curcuma, le ginseng, le gingembre, la maca, la gelée royale, la propolis, le centella, le schisandra, les baies de Goji et d'açaï, les graines de chia, l'acérola, le baobab etc. mais également le moringa (80,81).

Concernant leur législation, certains de ces aliments comme le baobab ou les graines de chia sont regroupés sous le terme de « novels foods » dans le règlement européen (UE) 2015/2283 relatif aux nouveaux aliments. Ces derniers correspondent à des ingrédients alimentaires ou à des aliments qui étaient peu ou pas consommés dans la communauté européenne avant le 15 mai 1997. Ceux-ci peuvent avoir une origine végétale ou animale, être issus d'une culture alimentaire étrangère ou être produits par la recherche scientifique ou technologique (82). Néanmoins, les feuilles ainsi que les gousses de *Moringa oleifera* ne sont pas considérées comme des aliments « nouveaux » au sens des dispositions du règlement (UE) 2015/2283 et leur accès au marché n'est pas soumis à l'autorisation préalable à la mise sur le marché conformément au règlement (UE) 2015/2283 (83).

Les compositions nutritionnelles de deux superaliments qui peuvent s'utiliser de la même manière ont été comparées : la poudre de feuilles séchées de moringa avec la poudre séchée de spiruline, une algue verte très riche en nutriments, couramment utilisée comme complément alimentaire (71). Le tableau 10 compare ainsi leurs compositions nutritionnelles, les deux poudres sont riches en nutriments ainsi qu'en vitamines. En effet, comparées à d'autres légumes, les feuilles de moringa fraîches sont beaucoup plus nutritives en certains nutriments tels que les protéines, le calcium, le phosphore, le magnésium, le fer et les vitamines, comme le montre le tableau 11. Néanmoins, d'autres légumes-feuilles, comme les feuilles de manioc ou la spiruline, offrent également une bonne qualité nutritionnelle. Une consommation régulière de superaliments, toujours associée à d'autres aliments pour une alimentation équilibrée et variée, aide ainsi à rester en bonne santé (84).

Éléments	<i>Spirulina plantensis</i>	<i>Moringa oleifera</i>
Humidité (%)	3	7
Protéines (g)	40	20-26
Potassium (mg)	1400	800-1800
Calcium (mg)	700	1600-2200
Phosphore (mg)	800	200-600
Magnésium (mg)	400	350-500
Fer (mg)	100	18-28
Vitamine A (µg)	7000	4000-8000
Vitamine C (mg)	0	15-100
Riboflavine (mg)	3500	8800
Nicotinamide (mg)	4000	10400

Tableau 10 : Comparaison des compositions nutritionnelles de 100g de *Spirulina plantensis* en poudre et de feuilles de *Moringa oleifera* en poudre (71).

Éléments	<i>Moringa oleifera</i>	<i>Carotte</i>	<i>Tomate</i>	<i>Épinard</i>	<i>Feuilles de Manioc</i>
Humidité (%)	75	88	94	91	72
Protéines (g)	6,3	0,8	0,7	21	5,2
Potassium (mg)	325	324	252	540	n.d.
Calcium (mg)	525	38	10	117	280
Phosphore (mg)	78	36	23	49	118
Magnésium (mg)	101	13	12	63	n.d.
Fer (mg)	6,8	0,4	0,4	4,0	7,6
Vitamine A (µg)	3556	1524	96	810	n.d.
Vitamine C (mg)	213	7	20	54	308
Riboflavine (mg)	2375	54	36	207	588
Nicotinamide (mg)	2800	600	540	648	2352

Tableau 11 : Comparaison des compositions nutritionnelles de 100g de feuilles de *Moringa oleifera* fraîches avec d'autres légumes frais (84).

### 2.3.2.4 Bienfaits du moringa

*Moringa oleifera* est reconnu pour avoir de nombreux bienfaits sur la santé. Étant une plante riche en nutriments, celle-ci est recommandée aux populations souffrantes de la malnutrition, aux femmes enceintes et allaitantes (65,71).

Comme montré ci-dessus, la déshydratation des feuilles fait de la poudre une source peu chère, concentrée en nutriments (protéines, vitamines et minéraux) qui peut être utilisée comme ingrédient dans divers produits, notamment pour pallier les carences. L'Organisation Mondiale de la Santé a mis l'accent sur son utilisation en tant que complément à faible coût pour les pays les plus pauvres du monde (85,86). Des études menées en Afrique démontrent que les mères allaitantes produisent plus de lait après avoir ajouté des feuilles de moringa à leur alimentation quotidienne. De plus, les nourrissons et enfants malnutris voient leur poids augmenter de manière significative lorsque les mères allaitantes et les médecins ajoutent également du moringa à leur alimentation (65,68). Les femmes enceintes peuvent également répondre à leurs besoins quotidiens en fer et en calcium de manière optimale en ajoutant également des feuilles de moringa à leur alimentation quotidienne (73). Il est donc crucial de promouvoir l'utilisation du moringa dans les régions où sa culture est faisable. Cela pourrait diminuer la dépendance des pays du Sud vis-à-vis des produits importés, notamment les complexes vitaminiques et minéraux, qui sont efficaces pour combattre les carences alimentaires mais trop coûteux pour être distribués de manière durable et préventive (71).

De plus, *Moringa oleifera* est également utilisé en phytothérapie dans le traitement de nombreuses maladies. Considéré comme une panacée, le moringa est ainsi parfois dénommé comme « l'arbre miracle ». La raison de ce surnom vient du fait que celui-ci contient 46 composants antioxydants, 36

anti-inflammatoires et plus de 539 activités biochimiques (68). Les différentes parties de l'arbre sont utilisées pour divers usages médicaux ciblés en fonction de leur composition propre. Seules les applications médicales des feuilles de moringa ont été prises en compte.

Les extraits de feuilles présentent la plus grande activité antioxydante. En effet, les feuilles de la plante sont une bonne source de composés bioactifs antioxydants tels que des polyphénols comme les acides phénoliques ou les flavonoïdes (quercétine) mais également d'acide ascorbique et de caroténoïdes. (73,87). Le tableau 12 montre les quantités de composés bioactifs contenus dans les feuilles séchées de moringa (73). Des glucosinolates qui doivent être métabolisés en isothiocyanates pour avoir une activité biologique et des alcaloïdes responsables d'effets positifs sur la santé sont également présents (88).

Un nombre croissant d'études ont montré que les feuilles de moringa possèdent un large éventail d'activités biologiques, notamment des actions anti-inflammatoires, antihypertensives, diurétiques, antimicrobiennes, antioxydantes, antidiabétiques, antihyperlipidémiques, antinéoplasiques, antipyrétiques, antiulcéreuses, cardioprotectrices et hépatoprotectrices (87).

Ainsi, les feuilles de moringa peuvent notamment jouer un rôle dans les traitements de l'asthme, l'hyperglycémie, la dyslipidémie, la grippe, les brûlures d'estomac, la syphilis, le paludisme, la pneumonie, la diarrhée, les maux de tête, le scorbut, les maladies de la peau, la bronchite, les infections oculaires et auriculaires mais également le cancer, le diabète, l'athérosclérose et les maladies cardiovasculaires (89).

En effet, les flavonoïdes présents confèrent notamment aux feuilles des propriétés antidiabétiques et antioxydantes. Les isothiocyanates avec les flavonoïdes sont également des agents anticancéreux. La présence de minéraux et de vitamines renforce le système immunitaire. Les caroténoïdes, les tocophérols et l'acide ascorbique sont trois sources de phytonutriments connues pour éliminer les radicaux libres lorsqu'ils sont associés à une alimentation équilibrée (63). En conséquence, ce puissant mélange de molécules bioactives comme les antioxydants, minéraux et vitamines contenues dans les feuilles de moringa favorisent donc la forme physique (68). Le tableau 12 reprend les composés bioactifs contenus dans les feuilles de moringa ainsi que leur quantité.

Composés bioactifs	Quantités (mg/100 g en poids sec)
Polyphénols totaux	21,6
Flavonoïdes totaux	76
Acide ascorbique	67,8
B-carotène	17,6
Caroténoïdes	147,4

Tableau 12 : Quantité en mg par 100 g en poids sec de composés bioactifs contenus dans les feuilles de moringa séchées (mg/100 g en poids sec) (73).

Le nombre d'études concernant les effets bénéfiques des feuilles du moringa sur la santé est grandissant. Néanmoins, d'autres analyses sont nécessaires pour mieux comprendre les mécanismes moléculaires entraînés par la plante vis-à-vis des maladies qui restent parfois encore imprécis (65).

De plus, au vu des pourcentages des besoins quotidiens recommandés remplis par 10 grammes de poudre de feuilles de moringa séchées exposés par le tableau 8, *Moringa oleifera* apporte un réel boost d'énergie. En effet, le fer, le magnésium, les vitamines C et B jouent un rôle dans la production d'énergie

et le maintien de la vitalité. Aucune substance énergétique telle que la caféine, taurine ou glucuronolactone n'est présente dans le moringa.

À côté de ces applications concernant la santé, le moringa est notamment utilisé dans le secteur agricole pour fabriquer du carburant, des engrais à partir de tourteau, du bois de chauffage et des aliments pour le bétail (68). De plus, les graines sont aussi utilisées dans le traitement des eaux usées en raison de leurs propriétés coagulantes, floculantes et de sédimentation car elles sont capables d'améliorer la qualité de l'eau (68). De par son importante fraction antioxydante, les graines de moringa sont également utilisées dans le domaine des cosmétiques notamment pour faire de l'huile. Les gousses et les racines sont utilisées comme épices en cuisine. Les fleurs sont utilisées pour faire du thé et sont aussi d'excellentes sources de nectar utilisée par les apiculteurs (63,65,90).

### **2.3.2.5 Procédé de fabrication de la poudre de feuilles de moringa**

Plusieurs étapes sont nécessaires en vue de l'obtention de la poudre de moringa. Toutefois, la transformation doit suivre de près la récolte. La première étape d'effeuillage est suivie de plusieurs lavages dont le but est d'éliminer la poussière et les germes puis de l'égouttage des feuilles fraîches.

Vient ensuite le séchage des feuilles qui est réalisé le plus souvent par un séchage à température ambiante, par séchage solaire ou par séchage mécanique. Ces méthodes conventionnelles sont généralement utilisées pour la conservation des feuilles de *Moringa oleifera* dans les pays en développement qui les cultivent et les transforment. Ces techniques de séchage ont souvent des effets néfastes sur les composants bioactifs des aliments en raison des températures élevées et souvent fluctuantes dues aux conditions de culture difficiles (91). Néanmoins, le séchage mécanique est recommandé pour la transformation à grande échelle car celui-ci assure une production en conditions contrôlées toute l'année. Ainsi, des séchoirs à air chaud, électriques ou à gaz peuvent être utilisés. Les températures doivent être comprises entre 50 et 55 °C pour ne pas brûler les feuilles, celles-ci doivent être séchées jusqu'à ce que leur humidité résiduelle soit inférieure à 10 % (71). La lyophilisation peut également être appliquée pour sécher les feuilles et permettre de conserver un maximum de nutriments mais à cause du coût élevé d'achat et de fonctionnement, cette technique reste rarement utilisée dans les pays cultivateurs.

Après le séchage, le broyage des feuilles peut être réalisé avec un moulin à marteau en inox et une étape de tamisage peut également être réalisée si besoin est. La finesse du produit dépend de la taille des pores de la grille utilisée (92). Des normes concernant la taille des particules de la poudre de moringa ont été établies (71) :

- Particule très fine : 0,2 mm – 0,5 mm
- Particule fine : 0,5 mm – 1,0 mm
- Particule grossière : 1,0 mm – 1,5 mm

Une dernière étape de séchage à 50 °C pendant 30 minutes est nécessaire afin de réduire l'humidité résiduelle de la poudre en dessous de 7,5 % afin de s'assurer d'une bonne qualité microbiologique. La poudre de feuilles de moringa étant un produit sensible qui attire fortement l'humidité peut se réhumidifier pendant ou après le broyage (68,71).

### **2.3.2.6 Effets des traitements de séchage sur les propriétés du moringa**

La plupart des plantes perdent leurs propriétés nutritives lorsqu'elles sont transformées (65). De ce fait, les conditions optimales des procédés qui permettront de préserver au mieux les nutriments du produit doivent être choisies judicieusement. Comme précédemment expliqué, les feuilles de moringa peuvent notamment être conservées en les séchant. La déshydratation par séchage est une technique d'inhibition car le produit est microbiologiquement toujours vivant. Les microorganismes pourront se redévelopper

avec un ajout d'eau tel que de l'humidité dans l'air. Le séchage permet une bonne stabilité du produit en diminuant l'activité de l'eau (93).

Une étude a examiné les effets de l'ébullition, du mijotage et du blanchiment sur la teneur en nutriments des feuilles de moringa. Elle démontre que l'ébullition est la plus efficace des techniques car elle réduit les teneurs en cyanure, oxalate et phytate, de manière plus significative que les deux autres méthodes. La présence de phytate et d'autres anti-nutriments peut réduire la biodisponibilité de certains nutriments et le traitement peut donc être effectué pour une utilisation maximale des nutriments des feuilles. De plus, l'ébullition augmente la disponibilité du fer et de la teneur en antioxydants (94). Néanmoins, une étude différente montre que les teneurs en minéraux et en vitamines diminuent de manière significative lorsque que les feuilles ont été bouillies (95).

Concernant la température de séchage des fours mécaniques utilisés le plus régulièrement, une étude réalisée montre qu'un four chauffé à 60 °C pour déshydrater les feuilles a permis de conserver plus de nutriments qu'à 80 °C (92). Ainsi, lors du séchage, la durée doit donc être la plus courte possible et la température ne doit pas être plus élevée que 50-55 °C (71,96,97).

En parallèle, la lyophilisation est une technique de déshydratation à basse température qui consiste à éliminer par sublimation la majeure partie de l'eau contenue dans un produit. Le séchage par lyophilisation est plus amplement décrit au point 2.5.2. Cette technique est généralement recommandée pour le séchage de matériaux contenant des composants antioxydants sensibles à la chaleur tels que les tocophérols, l'acide ascorbique, les caroténoïdes et les composés phénoliques végétaux (70,98). Tous ces antioxydants sont retrouvés dans la poudre de feuilles de moringa.

Une étude réalisée en 2017 a évalué les effets du séchage à l'air chaud, du séchage solaire et de la lyophilisation sur les composés phytochimiques ainsi que sur la teneur en composés phénoliques totaux et la capacité antioxydante des feuilles de pissenlit. Elle démontre que la lyophilisation et le séchage solaire ont eu des effets néfastes plus faibles sur les capacités antioxydantes des feuilles de pissenlit que le séchage à l'air chaud (96).

Le moringa étant cultivé généralement dans des pays en développement, l'efficacité des méthodes conventionnelles de séchage a été comparée à la lyophilisation. Cette dernière reste plus efficace pour préserver les propriétés nutritives et sensorielles ainsi que les composés phytochimiques des produits (91,96). Selon Saini et al., les teneurs en acide ascorbique et en caroténoïdes souffrent particulièrement d'un séchage au soleil qui est très régulièrement pratiqué (93).

Une autre étude réalisée au Brésil s'est attardée sur la préservation des constituants des graines de moringa traitées par lyophilisation, en les comparant avec l'extrait naturel. Mettant en évidence que la lyophilisation a entraîné une réduction significative de la teneur en humidité, du pH et de l'activité lipidique, rendant les poudres plus stables et a favorisé l'augmentation des teneurs en minéraux, en protéines et en glucides. Ainsi, ils démontrent que la lyophilisation se présente comme une méthode appropriée dans la conservation des constituants du moringa (99).

Cependant, un bon nombre d'études montrent également que les valeurs nutritionnelles des macronutriments, des vitamines et minéraux ou de l'activité antioxydante des molécules sont malgré tout affectées négativement par la méthode de lyophilisation (91,96,97,100).

Ainsi, bien que la poudre de feuilles de moringa soit facile à stocker et à incorporer dans les plats, quels que soient les traitements appliqués pour l'obtention de la poudre, ces derniers entraîneront des conséquences sur les teneurs des divers nutriments.

### 2.3.3 Chocolat

Le chocolat belge est basé sur une tradition, c'est une des raisons pour laquelle la Belgique produit du chocolat de haute qualité connu dans le monde entier. Celui-ci est ainsi protégé et doit respecter certaines conditions.

En ce qui concerne le business du chocolat en Belgique, le port d'Anvers est le deuxième le plus important en Europe et joue un grand rôle dans l'exportation de produits finis. La production de chocolat industriel (B to B) est également importante, notamment par des entreprises comme Barry Callebaut, Cargill, Puratos-Belcolade, Mondelez International. Ces entreprises produisent 20 % de la production mondiale de chocolat en Belgique (101).

#### 2.3.3.1 Types de chocolats et composants principaux

Plusieurs sortes de chocolat existent : noir, au lait et blanc. En fonction du type, les teneurs de cacao, beurre de cacao, parfois de sucre et poudre de lait sont différentes. Le sucre contribue à la douceur, au volume et à la texture (101).

De plus, le chocolat dit belge ne peut être fait qu'avec du beurre de cacao. En effet, le beurre de cacao est une graisse essentielle de par sa composition, ses propriétés de cristallisation et de fusion étant très complexes, et peut exister sous plusieurs formes ayant la même composition mais différentes structures cristallines (101). La Directive 2000/36/EC cite néanmoins les autres graisses et leur pourcentage autorisé dans les différents types de chocolats (102).

Le tableau 13 reprend une composition assez générale pour 100 g des trois types de chocolats. Les valeurs sont bien évidemment indicatives et peuvent être modulées, notamment en fonction du pourcentage de poudre de cacao.

Ingrédients	Chocolat noir 40 %	Chocolat au lait	Chocolat blanc
Beurre de cacao (%)	12,0	19,0	23,0
Poudre de cacao (solides) (%)	40,0	12,0	0,0
Sucre (%)	47,5	48,5	46,5
Poudre de lait (%)	0,0	20,0	30,0
Lécithine de soja (%)	0,5	0,5	0,5

Tableau 13 : Composition des différents types de chocolats (104).

De plus, le chocolat utilisé dans la pâtisserie et la confiserie est souvent appelé chocolat de couverture. Le chocolat de couverture présente une teneur en beurre de cacao plus élevée que le chocolat de consommation courante, au minimum 31 % de lipides. Deux types de chocolat de couverture existent principalement : le chocolat de couverture noir et le chocolat de couverture au lait. Les variétés de chocolat blanc, blond et coloré ne peuvent pas être désignées comme chocolat de couverture (103,104).

Ce travail se focalise plus sur le chocolat blanc, ce dernier étant un ingrédient principal du produit innovant.

### 2.3.3.2 Culture et fabrication du chocolat

Étant donné l'absence de cacaoyer en Belgique à cause des conditions climatiques, les pays cultivant ces arbres se situent près de l'équateur. À l'origine, cet arbre poussait dans la forêt amazonienne en Amérique latine. Les plus anciennes traces de théobromine, un composé se trouvant dans le cacao, ont été identifiées dans des poteries vieilles de plus de 44 000 ans. L'histoire du chocolat est donc très ancienne. Aujourd'hui, l'Afrique de l'Ouest produit près de 65 à 70 % des fèves de cacao. Les cabosses sont récoltées deux fois par an. Les fèves de cacao sont fermentées puis séchées au soleil avant d'être transportées jusqu'en Belgique notamment. La fermentation est une étape cruciale jouant sur la saveur du chocolat final. L'index de fermentation est un outil analytique utilisé lors du contrôle qualité permettant d'analyser le niveau de fermentation des fèves de cacao.

Plusieurs étapes sont nécessaires pour passer des fèves séchées fermentées en l'obtention des ingrédients primaires du cacao. Tout d'abord a lieu la torréfaction par un programme de températures qui sont appliquées sur les fèves. Cette étape est primordiale pour le développement de la saveur du chocolat. Les fèves sont ensuite brisées et concassées puis broyées en pâte de cacao (solides de cacao ou cocoa liquor) qui peut encore être traitée davantage en la pressant. Cela permet de donner deux ingrédients : le gâteau une fois broyé donne, d'un côté, de la poudre de cacao et de l'autre, du beurre de cacao pur.

La fabrication du chocolat belge est basée sur un savoir-faire. Les étapes les plus importantes sont d'abord le mélange des ingrédients : pâte de cacao, beurre de cacao, sucre et poudre de lait suivi du raffinage grâce à des rouleaux. Le diamètre des particules doit se trouver sous les 30 micromètres pour éviter une texture sableuse en bouche mais ne doit pas descendre en dessous de 10 nm pour éviter une sensation de sécheresse. La granulométrie moyenne des particules du chocolat européen est un peu plus petite par rapport au chocolat nord-américain, ce qui fait que la perception sensorielle est différente en bouche.

Vient ensuite le conchage du chocolat à haute température, où la poudre de cacao et des émulsifiants tels que la lécithine de soja sont ajoutés, pour créer du chocolat liquide. Celui-ci sera ensuite transformé en chocolat solide par l'étape de tempérage ou pré-cristallisation. Cette étape est plus amplement décrite au point 2.3.3.4 ; elle permet d'obtenir un chocolat brillant, lisse et stable. La forme polymorphique désirée du beurre de cacao dans le produit chocolaté final est la  $\beta_5$  car elle possède des propriétés de contraction, de brillance et de rapidité désirées. Ce sont donc ces cristaux formés qui donnent au chocolat sa brillance, sa texture cassante et son fondant une fois en bouche. Néanmoins, on ne peut pas transformer le chocolat liquide directement dans cette forme et il faut donc d'abord passer par d'autres formes grâce à des sous-étapes de fusion et recristallisation. En effet, le beurre de cacao est lui-même composé de 6 sortes de cristaux différents. Ces cristaux se forment en dessous de différentes températures, allant de 17 °C à 34 °C. Les cristaux bêta désirés se forment en deçà de 34 degrés. Les autres cristaux se forment à des températures plus basses (101,103,105).

### 2.3.3.3 Composition et aspect santé du chocolat

Pendant la production, les fèves de cacao sont divisées en éclats qui sont les solides du cacao et en une matière grasse connue sous le nom de beurre de cacao. Les composés bénéfiques tels que les flavanols se trouvent principalement dans les solides du cacao. En fonction du type de chocolat, ces solides sont mélangés avec du beurre de cacao, du sucre et parfois du lait.

Comparé au chocolat noir, le chocolat au lait contient beaucoup moins de ces solides. Dans le cas du chocolat blanc, les solides du cacao sont complètement éliminés, ainsi que les flavanols et autres composés bénéfiques. Ainsi, seuls le beurre de cacao, le lait et le sucre restent dans le chocolat blanc. Parfois, un soupçon d'arôme de vanille est également retrouvé.

Les bienfaits pour la santé attribués au chocolat sont donc seulement dus à sa teneur en cacao. Le chocolat blanc n'en contenant pas, il est une source de sucre, de graisse et de calories, des éléments non bénéfiques pour la santé humaine.

Néanmoins, la transformation du chocolat est tout aussi importante que la teneur en cacao contenue. En effet, le processus du début à la fin peut fortement influencer les nutriments et les éléments bioactifs du chocolat. Les fèves de cacao peuvent perdre leurs composés bénéfiques lorsqu'elles sont fermentées et séchées ou même lors de la torréfaction, pendant la mise en poudre ou durant d'autres processus de transformation du chocolat. Un produit contenant 80 % de cacao n'est donc pas automatiquement bénéfique pour la santé.

Plusieurs études sur les composants bioactifs de la fève de cacao montrent qu'une consommation élevée de flavanols influence favorablement les mécanismes liés aux maladies cardiaques comme la tension artérielle et le taux de cholestérol. Un premier essai à grande échelle publié dans *The American Journal of Clinical Nutrition* montre que les sujets qui prenaient 500 mg de suppléments de flavanols de cacao présentaient un risque de décès par maladie cardiovasculaire nettement réduit.

Néanmoins, la plupart des recherches ne portent pas sur la consommation du chocolat à proprement parler, mais plutôt sur ses composants. De plus, les flavonols présents dans le chocolat sont également des composés de fruits, de légumes et du thé. Aucune étude scientifique ne soutient donc la consommation de grandes quantités de chocolat en tant qu'aliment bon pour la santé (106).

Par ailleurs, une portion standard de chocolat noir, équivalente à 10 g, soit un gros carré ou deux petits, représente 4 % de l'apport maximal quotidien en sucre recommandé par l'OMS. Pour le chocolat au lait, cette contribution s'élève à 10 %, tandis que pour le chocolat blanc, elle atteint 11 %. Consommer une quantité modérée de chocolat chaque jour peut s'intégrer dans une alimentation équilibrée.

### **2.3.3.4 Tempérage du chocolat**

Tempérer le chocolat est l'action de l'amener à une température convenable pour obtenir un chocolat brillant, lisse, fluide et stable qui ne fond pas. Le tempérage consiste ainsi à suivre une courbe de températures bien précise, le contrôle de celles-ci étant donc l'élément le plus important. Le but est de désassembler les molécules qui composent le chocolat, puis de les réassembler de manière parfaitement ordonnée pour ainsi obtenir cet effet très brillant. A ces températures déterminées, le beurre de cacao cristallise de façon homogène. Les cristaux de type beta s'imbriquent les uns aux autres en un réseau brillant et solide. Un chocolat riche en beurre de cacao sera plus fluide et sa cristallisation sera plus facile. C'est la raison pour laquelle les chocolats de couverture riches en lipides sont préconisés. Le tempérage du chocolat permet ainsi une meilleure utilisation et une rétractation optimale pour le démoulage. Un chocolat mal tempéré ne cristallisera pas et peut être terne, marbré ou avoir du mal à se démouler. Les tablettes de chocolat du commerce ont suivi cette étape au préalable (104).

#### **Courbe de tempérage du chocolat blanc**

Chaque chocolat a sa propre courbe de tempérage même si la température de stockage reste la même pour tous les chocolats, entre 15 et 20 °C. Plusieurs méthodes pour tempérer le chocolat existent : tempérage au micro-ondes, sur marbre, par ensemencement de pistoles ou de mycryo ou bien encore au bain-marie. Les étapes du tempérage sont néanmoins les mêmes : la fonte, la cristallisation et la température de travail. Seul le tempérage du chocolat blanc au bain-marie et par ajout de mycryo seront décrites dans ce travail.

Pour ce faire, la fonte du chocolat blanc est réalisée dans un cul de poule plongé dans un bain d'eau chaude mais non bouillante jusqu'à atteindre la température de fonte. A une température de 45 °C, le chocolat ne contient pas de cristaux et est donc complètement fondu. Le beurre de cacao est donc à l'état liquide. Ensuite, le cul de poule est plongé dans un bain d'eau froide et est remué jusqu'à atteindre le point de cristallisation entre 26,5 et 27,5 °C. Lors de cette étape, le chocolat devient suffisamment « froid » pour que quelques cristaux bêta apparaissent. À ce stade, seulement 0,5 % du beurre de cacao est cristallisé en cristaux bêta. C'est néanmoins suffisant pour amorcer la cristallisation du chocolat. Un retour du cul de poule dans le bain-marie chaud permettra ensuite d'atteindre la température de travail entre 29 et 30 °C, permettant de casser la dynamique de cristallisation. Le chocolat est ainsi

suffisamment fluide pour être travaillé, contient suffisamment de cristaux bêta pour pouvoir cristalliser en restant brillant, cassant, et fondant en bouche. C'est à cette température que le chocolat peut être travaillé (mouler, réaliser des décors, des rubans pour les contours d'un entremets, etc.). Une fois le chocolat moulé, celui-ci est laissé dans un endroit frais et sec. Cette phase de « repos » va permettre au chocolat de totalement cristalliser : l'ensemble du beurre de cacao préalablement fondu va se figer en cristaux bêta (103,104).

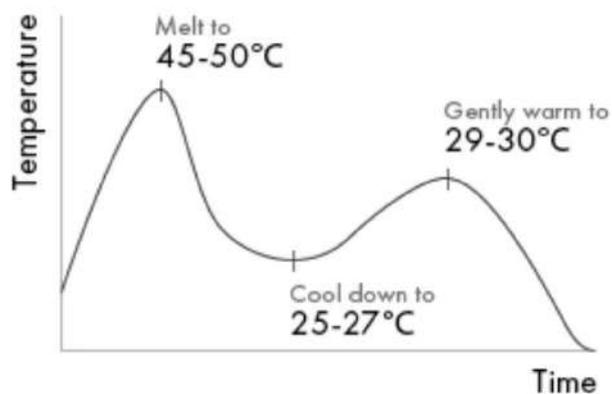


Figure 4 : Courbe de tempérage du chocolat blanc (110).

L'ensemencement au beurre de cacao mycryo, un beurre de cacao en poudre, est une technique qui consiste à rajouter ce composant, ce qui va permettre de ne pas refroidir totalement le chocolat ni de remonter en température. Après la fonte du chocolat blanc à 45 °C, un refroidissant à 35 °C est nécessaire avant d'ajouter le beurre de cacao tout en mélangeant et en le laissant encore descendre jusqu'à 26,5-27,5 °C avant de pouvoir l'utiliser directement. Cet ajout de cristaux stables rendra possible l'amorce immédiate de la précristallisation. Le mycryo est généralement utilisé à une concentration de 1 % (104).

### Objectif de moulage du chocolat blanc

Comme précédemment expliqué, le tempérage peut être réalisé dans le cadre de plusieurs objectifs du travail du chocolat. Dans un objectif de moulage du chocolat, à côté de l'importance du respect de l'étape du tempérage, d'autres conditions doivent être respectées, comme de veiller à la propreté du moule mais également que sa température soit proche de celle du chocolat. Des variations importantes de température entre le chocolat et le moule peuvent nuire au bon déroulement du processus. Idéalement, les chocolats moulés et les décors devraient être refroidis à une température située entre 9 et 11 °C, puis entreposés à une température comprise entre 16 et 20 °C. (104).

### 2.3.3.5 Conservation du chocolat blanc

Deux phénomènes ayant un impact sur la conservation du chocolat blanc vont être détaillés. Le chocolat blanc étant composé principalement de beurre de cacao, de sucre et de lait en poudre ou de lait condensé, les phénomènes d'oxydation ou de rancissement ainsi que le blanchiment peuvent survenir.

#### Oxydation

L'oxydation du chocolat blanc a lieu lorsque les acides gras insaturés contenus dans le beurre de cacao du chocolat réagissent avec l'oxygène de l'air. Ce phénomène altère la qualité du chocolat blanc, entraînant un aspect jaunâtre, un goût rance et une texture moins agréable.

Le beurre de cacao est l'un des principaux ingrédients du chocolat blanc, contenant des acides gras insaturés qui sont donc sensibles à l'oxydation. Lorsque le chocolat blanc est exposé à l'air, les acides

gras insaturés peuvent réagir avec l'oxygène et ainsi former des composés indésirables tels que des peroxydes lipidiques, des aldéhydes et des cétones (107).

### **Blanchiment**

Le blanchiment du chocolat blanc est un phénomène qui peut se produire pendant le stockage ou en raison de conditions de fabrication inappropriées. Contrairement à l'oxydation, qui résulte de la réaction des acides gras avec l'oxygène, le blanchiment est principalement causé par la migration de graisses ou de sucres à la surface du chocolat où ces derniers cristallisent. Deux types de blanchiment existent : le blanchiment gras et le blanchiment sucré.

Le phénomène de blanchiment gras se manifeste par l'apparition de taches blanches, lorsque le beurre de cacao, une graisse polymorphe pouvant adapter six formes cristallines différentes, cristallise. Chacune de ces formes ayant ses propres caractéristiques. Lorsque le beurre de cacao cristallise dans une forme instable, celui-ci a tendance à se réorganiser dans une forme plus stable au fil du temps. Ce processus de réorganisation est appelé recristallisation entraînant la formation d'une fine couche blanche à la surface.

Lorsque le chocolat blanc est exposé à des variations de température, une cristallisation inégale du beurre de cacao peut se produire et peut entraîner la séparation des lipides et des solides de la matrice du chocolat blanc. Lorsque ces lipides migrent vers la surface du chocolat et cristallisent, cela crée une apparence blanchâtre ou un revêtement poudreux sur la surface du chocolat blanc. Ce phénomène est souvent appelé "blanchiment du beurre de cacao".

Plusieurs facteurs peuvent déclencher le phénomène de blanchiment du chocolat, notamment un tempérage inadéquat, un refroidissement inapproprié, des variations de températures pendant le transport, la distribution ou le transport, ainsi que le mélange du beurre de cacao avec des graisses incompatibles.

Le deuxième type de blanchiment concerne les sucres. Ce phénomène se produit lorsque le chocolat entre en contact avec l'humidité de l'air. La condensation sur la surface du chocolat entraîne une dissolution partielle des sucres, qui recristallisent de manière irrégulière une fois que l'eau s'évapore. Cela crée une couche blanche à la surface du chocolat, accompagnée d'une texture rugueuse au toucher. (108).

### **Conservation**

Ainsi, afin de conserver au mieux le chocolat blanc contre l'oxydation et le blanchiment, le chocolat doit être stocké dans un endroit frais et sec (humidité relative de l'air < 60 %), à l'abri de la lumière directe du soleil et des variations de température. La température idéale de conservation du chocolat se situe entre 10 et 20 °C. La conservation du chocolat doit se faire également à l'abri des odeurs (109).

L'utilisation d'emballages hermétiques peut également aider à prévenir l'exposition à l'humidité, réduisant ainsi le risque d'oxydation et de blanchiment. De plus, un processus de fabrication soigneux, notamment en contrôlant les températures de refroidissement et de durcissement du chocolat blanc, peut également contribuer à réduire le risque de blanchiment (108).

## **2.4 Caractérisation des poudres**

Dans le cadre du développement du produit alimentaire innovant, deux des matières premières principales nécessaires sont la poudre de moringa et le lait écrémé. Les différents aspects tels que leur composition nutritionnelle ou leur processus de fabrication ont déjà été décrits dans l'état de l'art.

Etant donné que la poudre de moringa et la poudre de lait ont été travaillées, un point sur les propriétés générales des poudres s'impose. En effet, chaque poudre possède des caractéristiques qui lui sont propres et qui vont conditionner sa qualité finale. Ainsi, une analyse minutieuse des poudres utilisées constitue une étape primordiale pour l'obtention de résultats optimaux.

## 2.4.1 Caractéristiques générales des poudres

Dans l'industrie agroalimentaire, les poudres sont largement présentes. Ce sont des ingrédients faciles à conserver, à transporter, à stocker et à transformer. Une poudre est définie comme étant « un assemblage de particules solides hétérogènes dispersées dans une phase continue gazeuse entre lesquelles s'exerce une multitude d'interaction (Van der Waals, capillaires, électrostatiques, etc.) » (110).

Le comportement global d'une poudre dépend à la fois des propriétés intrinsèques de ses particules (taille, masse volumétrique, forme, porosité, hygroscopicité etc.), des propriétés relatives à la population des particules (distribution de taille, masse volumique en vrac, homogénéité, etc) mais aussi des interactions que la poudre entretient au sein du milieu particulaire ou entre celle-ci et son environnement, notamment avec l'air (humidité, température, taux d'aération) (110,111).

Diverses techniques existent, telles que le séchage par atomisation ou par lyophilisation qui permettent d'obtenir des poudres. Celles-ci ont un impact sur les propriétés telles que la taille et la forme des particules, les compositions chimiques en vrac et en surface et les propriétés physiques (112).

Les principales propriétés des poudres sont décrites ci-dessous :

**Taille des particules :** La taille des particules d'une poudre prend en compte la forme mais également la distribution granulométrique. Ainsi la granulométrie d'une poudre est l'étude de la distribution des particules en fonction de leur taille. Cette caractéristique est fondamentale car elle influence d'autres propriétés fonctionnelles de la poudre comme sa masse volumique, sa facilité d'écoulement, sa solubilité, sa mouillabilité etc. (111,113).

**Masse volumique :** La masse volumique ou la densité volumique de masse d'une poudre correspond au rapport entre la masse d'un volume de matière et le volume de matière. Elle n'est pas à confondre avec la masse volumique en vrac ou apparente qui correspond à la densité des particules de solides en vrac, c'est-à-dire en incluant l'espace entre les particules. Cette caractéristique a également un impact sur les propriétés fonctionnelles des poudres, notamment d'hydratation plus amplement expliquées au point 2.4.2 (111,113).

**Hygroscopicité :** L'hygroscopicité d'une poudre est sa capacité à retenir l'humidité de l'air par absorption ou par adsorption. Une poudre n'est pas considérée comme hygroscopique si son pourcentage d'hygroscopicité est inférieur à 10 % (111,113).

**Solubilité :** La solubilité d'une poudre est sa capacité à se dissoudre dans une autre substance pour former un mélange homogène. La solubilité d'une poudre est affectée par de nombreux paramètres comme la viscosité, la température de l'air et la taille des particules (111,113).

**Mouillabilité :** La mouillabilité d'une poudre est sa capacité d'absorber l'eau à sa surface. Ainsi cela correspond au remplacement de la phase gazeuse par de l'eau à la surface de la poudre (112). Cette caractéristique dépend notamment de la pression, de la température et de l'hygrométrie dans le contexte d'une interaction liquide-solide spécifique. Le niveau de mouillabilité d'une poudre peut être régulé en agissant sur des paramètres comme la taille des particules, la masse volumique et la présence d'air, etc. De ce fait, cette propriété est majeure dans le domaine des boissons instantanées (111).

D'après certaines études, le mouillage des poudres s'avère plus efficace pour les particules dont la taille est supérieure à 90  $\mu\text{m}$ , ou pour les poudres agglomérées. Une porosité élevée et la présence de particules sphériques sont également associées à un bon comportement de mouillage. Par ailleurs, la composition chimique exerce également une influence sur la mouillabilité de la poudre. Par exemple, une teneur élevée en lipides ou en protéines rend la surface de la poudre hydrophobe, entraînant une mouillabilité médiocre. À l'inverse, la présence de composants hydrophiles à la surface de la poudre, tels que les glucides ou les tensioactifs, améliore sa mouillabilité. (112–114).

**Coulabilité :** La coulabilité d'une poudre est la capacité des particules ou des agglomérats de particules à couler sous la surface de l'eau (111). Cet enfoncement dépend principalement de la distribution granulométrique, de la porosité et de la densité. Ainsi, les particules de grande taille et/ou de haute

densité améliorent l'enfoncement. Cependant, les grosses particules de porosité élevée (faible densité) présentent un taux d'enfoncement plus élevé que les particules de petite et faible porosité (haute densité). Cela est dû au fait que l'enfoncement est favorisé par la diffusion capillaire de l'eau dans les pores inter- et intra-particuliers (112,113).

**Dispersibilité :** La dispersibilité d'une poudre est sa capacité à se disperser en particules simples dans l'eau sous agitation. Deux mécanismes simultanés sont impliqués lors de la dispersion d'une poudre. D'une part, la fragmentation des grumeaux et des agglomérats en particules individuelles et d'autre part, la fragmentation des particules individuelles. Ces deux processus conduisent tous les deux à une réduction de la taille des particules et à une augmentation de la surface spécifique, facilitant ainsi les interactions de la matrice solide avec l'eau. La dispersion se manifeste lorsque les forces exercées par le solvant pour séparer les particules dépassent la cohésion entre ces dernières. Le taux de dispersion est amélioré pour les particules à forte porosité, à faible densité ou à faible cohésion (112,113). Le secteur des boissons instantanées tente ainsi de développer des poudres à forte dispersibilité (111).

Dans le cas du développement du produit alimentaire innovant, la reconstitution des poudres est de la plus haute importance. La réhydratation de la poudre soluble dans l'eau est souvent décrite comme se déroulant en quatre étapes distinctes mais qui se chevauchent (112,113,115) :

1. Processus de mouillage : Lorsque la poudre entre en contact avec le liquide, l'interface solide-vapeur cède sa place à une interface solide-liquide. En raison des vides intra- et inter- particules, le liquide a la capacité de pénétrer dans le lit de poudre grâce aux forces capillaires.
2. Processus d'immersion/Enfoncement (correspondant à la coulabilité) : Suite au mouillage, ou pendant celui-ci, la poudre s'écoule sous la surface du liquide. Un mouillage insuffisant et/ou un enfoncement inadéquat peut entraîner le maintien de la poudre à la surface du liquide.
3. Processus de dispersion : Une fois immergées, les particules s'agglomèrent et se dispersent en unités plus petites. Une dispersion inefficace peut conduire à la formation de grumeaux indésirables dans le produit final.
4. Processus de dissolution/solubilisation : Cette étape de la reconstitution joue un rôle crucial. Si les particules sont en harmonie thermodynamique avec le milieu liquide, elles se dissoudront en molécules individuelles ou en ions, entraînant la disparition totale des structures granulaires solubles et la libération de tous les composants solubles tels que les protéines, les minéraux, etc. La solubilisation intégrale de la poudre conduit à l'obtention d'une solution homogène dépourvue de particules insolubles, un critère essentiel pour la satisfaction du consommateur. La composition chimique joue un rôle crucial dans la solubilité de la poudre. Par exemple, la présence de molécules hydrophobes à la surface des particules tend généralement à retarder la solubilisation de la poudre. Cependant, si les particules ne sont pas solubles, elles demeureront dispersées dans le liquide, et la dissolution totale ne se produira pas.

Ainsi, une poudre dite « instantanée » est une poudre qui passera par ces quatre étapes instantanément. Plusieurs études réalisées mettent ainsi en évidence les principaux facteurs influençant le comportement de reconstitution/réhydratation des poudres : la taille médiane des particules, la composition chimique, la composition de surface et le procédé de fabrication (112,114).

## 2.4.2 Mesure des propriétés d'hydratation des poudres

L'aptitude à la reconstitution du latte à base de moringa à partir de la sphère compacte dans de l'eau chaude est une propriété essentielle. Celle-ci se caractérise par trois indices de reconstitution qui sont la solubilité (IS), la dispersibilité (ID) et la mouillabilité (IM). Ces propriétés des poudres ont déjà été décrites dans le point précédent. Celles-ci dépendent de la composition de la poudre et plus précisément de l'affinité entre ces composants et l'eau mais aussi de l'accessibilité stérique de l'eau (porosité et capillarité) aux constituants de la poudre (113,114).

Ces trois indices peuvent être mesurés par différentes méthodes. L'IS se mesure principalement selon la méthode de l'American Dairy Products Institute (ADPI, 1990) par centrifugation de la poudre dans l'eau. L'insoluble est défini comme étant le sédiment après centrifugation. La poudre est considérée comme soluble si son IS est supérieur à 99 % ou si sa teneur en insoluble est inférieure à 1 %. Le séchage par atomisation est néfaste à la solubilité et doit donc être réalisé en optimisant les paramètres de manière optimale (113).

La dispersibilité d'une poudre dans l'eau va être mesurée en passant le mélange à travers un tamis dont le diamètre des pores est défini préalablement. L'ID donné par la méthode décrite par l'ADPI (1990) est probablement le meilleur critère pour évaluer le caractère instantané d'une poudre car celui-ci est corrélé avec les autres propriétés d'hydratation. Une poudre de lait est dispersible si son ID est supérieur à 95 % pour du lait écrémé séché par atomisation. Différents facteurs influencent la dispersibilité : la teneur en protéines, le profil granulométrique, la température de l'air de sortie et les conditions de reconstitutions (113).

La mesure de l'IM se réalise généralement suivant la méthode décrite par Niro Atomizer (1978) qui consiste à mesurer le temps nécessaire à une certaine quantité de poudre pour pénétrer dans l'eau à travers sa surface libre au repos. Une poudre est considérée mouillable si son IM est inférieur à 20 secondes (113).

Ainsi, une poudre est considérée comme instantanée si l'IS est supérieur à 99,0 %, si son ID est supérieur à 95 % et si son IM est inférieur à 20 secondes dans des conditions de reconstitution préalablement définies. Lors de l'étape de validation de notre produit innovant, ces propriétés seront étudiées (113).

## **2.5 Techniques utilisées**

Au vu des nombreuses techniques utilisées dans le cadre du projet de conception d'un aliment innovant, leur théorie a été développée.

### **2.5.1 Tamisage**

Le tamisage est une méthode de caractérisation directe de la taille des particules. Le principe de cette technique consiste à faire passer une masse connue à travers une colonne de tamis soumis à des vibrations. Chaque fraction refusée est ensuite pesée.

Cette technique est reconnue comme présentant l'avantage d'être peu coûteuse et simple d'utilisation mais reste limitée aux particules supérieures à 50 µm.

Un tamis est constitué d'un tissage de fils qui crée des intervalles carrés, appelés ouvertures ou mailles, entre eux. Pour garantir une précision dans le contrôle granulométrique, ces mailles doivent être uniformes et peu sujettes à la déformation. Dans ce but, les tamis de contrôle sont fabriqués à partir de fils métalliques fixés à un bord rigide cylindrique. Ainsi, les tamis sont désignés par la longueur du côté de ces carrés c'est-à-dire par la taille des mailles. La taille des mailles des tamis est donc normalisée.

Le processus est de superposer un certain nombre de tamis de contrôle dont les dimensions des mailles vont en décroissant du tamis supérieur au tamis inférieur. Puis, de recouvrir le tamis supérieur de l'échantillon de poudre à étudier. Une quantité de 100 grammes est préconisée. Après avoir été agitées pendant une durée déterminée constituée de plusieurs cycles de vitesses différentes, les particules se répartissent sur les divers tamis de l'ensemble. Les particules les plus grosses demeurent sur les tamis supérieurs, tandis que les particules plus fines traversent davantage de tamis. À la fin du processus, le poids de la fraction de poudre présente sur chaque tamis est mesuré. Un histogramme de fréquence puis la courbe de fréquence peuvent ensuite être générés pour renseigner sur la répartition des particules en fonction de leur grosseur. Une classification existe pour désigner si une poudre est dite grossière, modérément fine, fine et enfin très fine.

Néanmoins, certains facteurs peuvent influencer les résultats du tamisage. En effet, La pertinence de la granulométrie d'une poudre dépend de la prise en compte des caractéristiques des particules qui la composent, ainsi que des conditions environnementales et du fonctionnement spécifique de l'appareil utilisé pour son analyse. Les facteurs liés aux tamis sont notamment : le nombre de tamis, les caractéristiques et la géométrie de la surface tamisante ou encore l'inclinaison du tamis. Les facteurs liés au produit sont par exemple : la distribution des tailles de la poudre, le nombre des particules au tamis et l'importance de la prise d'essai, les propriétés physiques des particules et la forme de celles-ci. De plus, les facteurs liés aux conditions opératoires sont : la durée d'agitation et temps de tamisage, le mode d'agitation, l'hygrométrie, la température, les charges électriques exogènes mais également la masse de l'échantillon (116)

## 2.5.2 Lyophilisation

La lyophilisation, appelée autrefois cryodessiccation, est une opération de déshydratation à basse température. De manière plus complète, c'est un procédé de conservation dans lequel la quantité de solvant d'une substance, préalablement congelée, est réduite dans un premier temps par sublimation puis par désorption. Le but est d'atteindre une valeur qui ne permet plus le développement d'une activité biologique ou de réaction chimique (117–119).

Ce qui distingue la lyophilisation des autres techniques est le fait que celle-ci permet d'obtenir des produits finaux de qualité. En effet, il est généralement admis que la lyophilisation est la technique de séchage qui conserve au mieux les caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles (nutriments, vitamines, arômes) d'un produit étant donné qu'il n'y a pas d'échauffement. Les substances telles que les arômes sont figées lors de l'état solide. De plus, la forme et l'aspect sont également conservés. L'exposition à l'oxygène est moindre, diminuant les risques d'oxydation. L'activité biologique est préservée et l'asepsie est totale (117–119).

Au contact de l'eau, le produit lyophilisé se réhydrate immédiatement. La raison est la structure spécifique en micropores dans le produit qui permet une grande surface de contact. Les cafés solubles sont donc mis en forme par lyophilisation comme expliqué au point 2.2.3 (117–119).

Néanmoins, la lyophilisation possède également quelques défauts. Celle-ci est limitée par son coût d'investissement et de fonctionnement qui est bien supérieur aux prix des autres techniques. De plus, la lyophilisation présente une faible productivité à cause du mode de fonctionnement sous vide et discontinu mais également à cause de la difficulté de fabriquer des enceintes de grandes tailles. Ainsi, la lyophilisation ne s'applique que pour les produits ayant une forte valeur ajoutée comme pour le café soluble (117–119).

La première étape de congélation est décisive. Tout d'abord, la température de congélation conditionne la quantité de solvant qui sera sublimée. Une congélation à une température suffisamment basse de -38°C est requise pour maximiser la formation de cristaux et minimiser la quantité d'eau liquide résiduelle, l'eau non congelée étant liée au produit. La vitesse de congélation revêt également une importance particulière, une congélation rapide permettant de former de petits cristaux et de créer ainsi une structure microporeuse, offrant une grande surface de contact pour une réhydratation optimale (117–119).

La deuxième étape de déshydratation se divise en deux parties : la sublimation et la désorption.

La sublimation correspond au passage direct de l'état solide à gazeux grâce à l'aide d'un apport d'énergie approprié (réaction endothermique). La zone de sublimation se trouve en dessous du point triple de l'eau, à de très faibles pressions et températures, où la phase liquide disparaît. L'énergie est fournie par les plateaux chauffants dans l'enceinte se trouvant aux alentours de 25 °C. Lors de cette phase, un transfert de vapeur du produit vers l'air et un transfert de chaleur du plateau vers le produit ont lieu (117–119).

La désorption permet d'éliminer la fraction d'eau liée résiduelle non cristallisée. Cette étape de déshydratation secondaire est plus critique car celle-ci touche à « l'intimité » des produits. En effet, le solvant concerné est en relation directe avec les caractéristiques particulières du produit telles que les arômes qui sont des molécules qui doivent être conservées au mieux. Des risques de dégradation du produit existent. L'énergie thermique apportée au cours de cette étape permet d'évaporer l'eau liée mais également à directement chauffer le produit. La quantité de chaleur à apporter dépend de la nature des liaisons établies entre l'eau et les solutés. Ainsi, pour favoriser la désorption, la température peut être augmentée au-dessus de celle du point triple de l'eau car le risque de fusion n'existe plus. La température se trouve alors aux alentours de 40 °C (117–119).

Le lyophilisateur comprend trois éléments : la source chauffante représentée par les plateaux sur lesquels est disposé le produit lyophilisé, le piège de récupération de vapeur d'eau contenant un liquide frigorigène et la pompe à vide. Le piège à glace est un système de thermopompage nécessaire pour assécher l'atmosphère et permettre la déshydratation optimale du produit (piège à -40/90 °C). À côté, la pompe à vide permet d'abaisser la pression à des valeurs compatibles avec les conditions de sublimation (117–119).

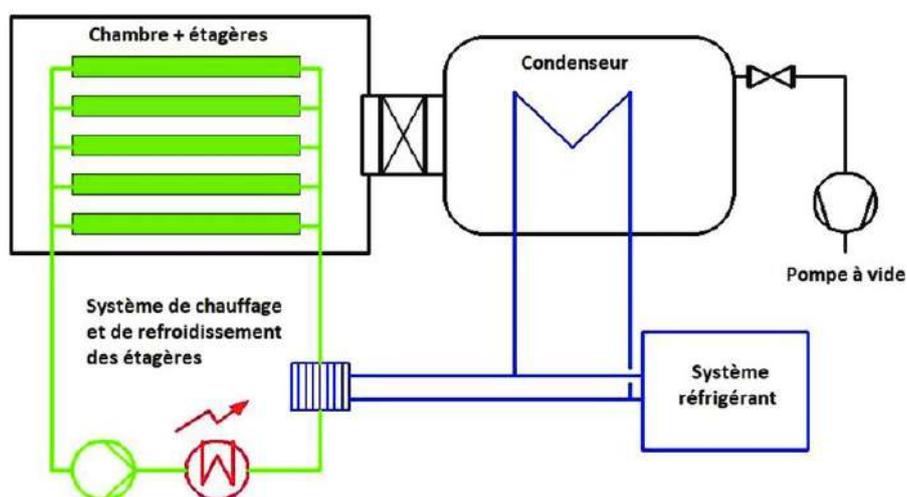


Figure 5 : Représentation schématique d'un lyophilisateur industriel (121).

Lors de la fin du processus de lyophilisation, le vide doit être cassé en introduisant du gaz tel que de l'air ou de l'azote. Ce dernier permet de garder aseptie et d'éviter l'oxydation. Un dégivrage est également réalisé pour vider le piège à froid de l'eau condensée. Puis, le produit doit être conditionné dans une chambre à faible humidité relative afin d'éviter sa réhydratation (117–119).

### 2.5.3 Compaction

Les techniques de compactage, souvent utilisées dans la métallurgie des poudres ou dans l'industrie pharmaceutique, sont aussi utilisées pour presser un certain nombre de denrées alimentaires en poudre en blocs denses. Le compactage des poudres alimentaires consiste à presser des poudres telles que la farine, le sucre, les épices, le café moulu, le thé en vrac, les compléments alimentaires en poudre ou même les aliments pour animaux de compagnie pour les rendre plus denses et plus compacts. La compaction peut se faire de plusieurs manières, mais la plus courante consiste à utiliser une machine appelée une presse à comprimés. Cette presse permet de créer des comprimés ou des tablettes solides comme les cubes de sucre, les cubes d'épices à bouillon ou encore les croquettes pour animaux de compagnie (120,121).

Le processus de compactage commence par le mélange des poudres alimentaires avec des ingrédients liants, comme de l'amidon ou des agents agglomérants. Ces liants aident à maintenir les particules de poudre ensemble lorsque la pression est appliquée, ces derniers agissent en créant des liaisons supplémentaires entre les molécules des particules. Ensuite, la mixture est introduite dans la presse à comprimés où une forte pression est exercée pour former des comprimés solides (122,123).

Ainsi, le compactage des poudres alimentaires présente de nombreux avantages. Notamment ce dernier permet de prolonger la durée de conservation des produits car les comprimés sont moins sensibles à l'humidité et à l'oxydation. Le compactage permet également de réduire le volume utilisé des produits et facilite le dosage précis des ingrédients, ce qui est essentiel dans l'industrie alimentaire. À côté de cela, les produits compactés sont souvent plus faciles à conditionner et à transporter, réduisant ainsi les coûts logistiques. Par conséquent, le compactage vise à améliorer la praticité et la qualité des produits alimentaires qui sont consommés au quotidien (120–122).

De multiples mécanismes complexes entrent en jeu au cours d'un tel processus, notamment le réarrangement des particules, l'emboîtement, l'adhérence, la déformation élastique (=temporaire) et plastique (=permanente) ainsi que la rupture possible des particules (124–126).

Sous l'effet de la pression, les molécules à la surface des particules peuvent subir un réarrangement qui conduit à une augmentation de la cohésion et à la formation d'une structure plus solide. Certains matériaux peuvent subir une déformation élastique réversible sous pression. Les molécules peuvent temporairement se déformer pour permettre le compactage, puis retrouver leur forme initiale après la libération de la pression, ce qui contribue à la solidité du produit final. Parallèlement, lorsque les particules de poudre alimentaire sont soumises à une pression élevée, une déformation plastique se produit. Les liaisons moléculaires dans les particules sont suffisamment déformées pour permettre un nouvel arrangement des atomes sans retour à la forme initiale, ce qui favorise la cohésion entre les particules (124–126).

De manière simplifiée, le compactage des poudres peut être divisé en deux étapes (123,126) :

1. L'adhésion des particules : Les particules de poudre sont d'abord attirées les unes vers les autres par des forces d'adhésion telles que les forces de Van der Waals, les forces hydrophobes ou les forces électrostatiques. Ces forces sont généralement faibles mais elles peuvent être suffisantes pour permettre aux particules de former des petits agrégats.
2. La consolidation des agrégats : Les agrégats de particules sont ensuite consolidés par la compression. Cette étape implique le déplacement des particules les unes contre les autres, ce qui réduit l'espace entre elles.

Le compactage des poudres alimentaires est influencé par plusieurs facteurs comme la force de compactage, la température ou les propriétés de la poudre. Une force de compaction plus élevée entraîne une compression plus importante des particules, ce qui réduit l'espace entre elles et augmente la densité du compact. À des températures élevées, les particules deviennent plus mobiles et les forces d'adhésion diminuent, ce qui peut faciliter le compactage des poudres tout en risquant de provoquer une déformation du compact. De plus, les propriétés de la poudre telles que la taille des particules, la forme

des particules et la rugosité des particules, peuvent également affecter le compactage. En effet, les poudres avec des particules plus petites sont plus faciles à compacter que les poudres avec des particules plus grandes. Les poudres avec des particules de formes irrégulières sont également plus difficiles à compacter que les poudres avec des particules de formes régulières. Les poudres avec des particules rugueuses sont plus susceptibles de s'agglutiner que les poudres avec des particules lisses (123,126).

Un paramètre clé pour évaluer la qualité du compactage de la poudre est la porosité. L'obtention des produits comprimés de porosité relativement faible est souhaitable (124).

La compressibilité et la compactabilité de la poudre sont deux propriétés essentielles pour ce procédé de compression. Une thèse sur la compaction des poudres pharmaceutiques les définit comme telles : (123) :

- La compressibilité : « C'est l'aptitude de la poudre à diminuer de volume sous l'effet de la pression. Elle a fait l'objet d'un très grand nombre de travaux, c'est ainsi que plusieurs équations ont été proposées reliant la pression à une mesure de consolidation telle que la densité, la porosité ou le volume ».
- La compactabilité : « C'est l'aptitude de la poudre à former un compact de cohésion suffisante par densification. Si les particules sont très proches, des liaisons entre particules vont pouvoir s'établir donnant un compact dont la résistance est mesurable. Cette résistance peut être reliée à la densification, permettant de quantifier la compactabilité ».

Cependant, le compactage des poudres alimentaires nécessite une certaine expertise pour obtenir des résultats de haute qualité. Cependant, choisir les bons liants, ajuster la pression de la presse en fonction des propriétés spécifiques de chaque poudre est essentiel.

Concernant le produit, l'utilisation de l'amidon de pois ou de maïs ou encore du maltodextrine qui sont souvent utilisés dans l'industrie pharmaceutiques comme liant sont envisagés. L'amidon de pois est le premier choix car celui-ci possède une bonne solubilité dans l'eau, une grande vitesse d'hydratation, une viscosité moyenne, n'induit pas de réaction de Maillard et possède une haute activité de liant (127).

## 2.5.4 Enrobage

L'enrobage consiste en l'application d'une couche de liquide et/ou de poudre sur un produit de base, afin de lui donner des caractéristiques de surface. Ainsi, les objectifs de l'enrobage sont divers. L'objectif peut être organoleptique car l'enrobage peut influencer le visuel en conférant une couleur, une brillance mais peut aussi jouer sur le goût du produit, sur l'arôme ou encore sur la texture du produit. L'enrobage permet également d'atteindre un objectif fonctionnel, en effet, celui-ci peut conférer au produit certaines propriétés comme par exemple une protection barrière envers l'eau ou l'oxygène (128).

Les techniques d'enrobage se divisent en deux grandes catégories : les procédés continus et les procédés discontinus. Pour ce qui est des procédés continus, plusieurs méthodes sont employées. Parmi celles-ci, le cylindre rotatif, couramment utilisé pour enrober des snacks et des céréales sucrées, la vis d'alimentation, adaptée aux aliments pour animaux domestiques, ainsi que la co-extrusion, qui est souvent employée pour la fabrication de saucisses et de snacks. Le lit fluidisé, une technique qui combine la fluidisation par l'air, la pulvérisation et le séchage, fait également partie de cette catégorie. Enfin, le convoyeur est une autre méthode continue qui permet d'appliquer l'agent d'enrobage, par exemple pour le nappage des pâtisseries. En ce qui concerne les procédés discontinus, ceux-ci font appel à des équipements comme le mélangeur à bras mobile ou le mélangeur à cuve mobile, souvent utilisés pour l'enrobage par surgélation. Le choix entre une technique continue ou discontinue dépend de plusieurs facteurs, tels que les caractéristiques spécifiques du produit (forme, densité apparente), le degré d'enrobage souhaité (partiel ou total), la résistance mécanique du produit, l'épaisseur de la couche d'enrobage, et la durée nécessaire du traitement. (128).

Nom	Principe	Exemple	Continu
Cylindre	Application lors du passage, agitation du produit dans le cylindre rotatif ouvert aux deux extrémités	Snacks	Oui
Vis	Application lors du transfert du produit par une vis dans une auge	Aliments pour animaux domestiques	Oui
Co-extrusion	Formation d'une couche autour d'une base	Saucisse à enveloppe végétale	Oui
Lit fluidisé	Fluidisation par air du produit, pulvérisation simultanée d'un soluté et séchage instantané	Semences pelliculées	Oui
Convoyeur	Application lors d'un transfert horizontal du produit réparti sur un convoyeur	Nappage de pâtisserie	Oui
Mélangeur à bras mobile	Mélange dans une forme avec agitation par un mobile	Pelliculage des semences	Non
Mélangeur à cuve mobile	Mélange dans une forme par le mouvement de la forme elle-même	Baratte pour enrobage par surgélation	Non

Tableau 14 : Récapitulatif des différentes techniques d'enrobage (131).

À côté de l'enrobage, l'encapsulation est une technique largement utilisée qui a pour but de piéger un composé fonctionnellement actif dans une matrice inerte. Le matériau à encapsuler est appelé noyau ou matériau actif. Le matériau à encapsuler a une taille comprise entre 300  $\mu\text{m}$  et 1 mm. L'encapsulation a pour objectif la protection, la rétention et la libération contrôlée des principes actifs (128,129).

Plusieurs techniques d'encapsulation existent. Cependant, seule celle qui pourrait éventuellement être adaptée au produit innovant sera développée : le séchage par pulvérisation.

Le procédé de séchage par pulvérisation est une méthode d'encapsulation efficace, fréquemment utilisée dans les secteurs alimentaires et pharmaceutiques pour ses avantages comparatifs par rapport à d'autres techniques. En effet, son haut degré d'automatisation et son coût en font un procédé de choix pour générer des produits de qualité.

Dans cette approche, le principe actif est intégré dans le matériau d'encapsulation pour former une émulsion, une solution ou une suspension. Le matériau de l'enveloppe est généralement un polysaccharide, par exemple de l'amidon, une protéine comme la gélatine, la protéine de lait ou la protéine de soja, ou encore une combinaison de ces éléments. Une émulsion initiale est préparée en mélangeant les matériaux du noyau et de l'enveloppe selon des proportions spécifiques. Ensuite, cette émulsion est atomisée dans une chambre de séchage à un débit préétabli. Lorsque l'eau de l'émulsion est éliminée grâce à l'application d'énergie thermique, un produit sec enrobé est produit. Ce procédé offre un taux de production élevé et un produit stable. Plusieurs produits instables comme par exemple des graisses polyinsaturées, des vitamines, des enzymes et les polyphénols peuvent être encapsulés dans des matrices inertes afin de les rendre stables (128–130).

### 2.5.4.1 Emballages / enrobages alimentaires comestibles

Dans la réalisation du produit, la réalisation d'un emballage comestible est envisagée. Celui-ci désigne un film, une enveloppe ou une fine couche protectrice créés à partir d'ingrédients consommables. Présentant des propriétés sélectives ou actives vis-à-vis des transferts, ce dernier est intégré à l'aliment et peut être consommé tel quel (131).

Ces emballages sont constitués de biopolymères qui tendent à former des films cassants en raison des interactions importantes entre les chaînes polymères grâce aux liaisons hydrophobes, aux forces électrostatiques et à la réticulation. L'introduction de petites molécules comme les plastifiants diminue ces interactions. Cela se traduit par la formation d'un film plus souple et flexible. De plus, les biofilms comestibles ont pour but de prolonger la durée de conservation de l'aliment en le protégeant des phénomènes d'oxydation ainsi que des agents microbiens (131,132).

L'élaboration des biofilms comestibles nécessite l'incorporation d'au moins un composant capable de créer une matrice présentant une cohésion et une continuité adéquates. Le plus souvent, les polymères, dans les conditions de préparation, démontrent une capacité à former des structures continues, qu'elles soient cristallines ou amorphes. Les matières premières sont généralement regroupées en trois catégories : les polyosides, les protéines et les composés lipidiques (131,132).

Dans l'ensemble, les films comestibles fabriqués à partir de polysaccharides constituent d'excellentes barrières aux gaz, bien qu'ils exhibent une faible résistance mécanique. D'autre part, les films élaborés à partir de protéines présentent également une faible résistance aux vapeurs d'eau mais démontrent une bonne résistance mécanique. Quant aux lipides, ils sont employés dans des enrobages comestibles ou en tant qu'additifs associés à des films polysaccharidiques et/ ou protéiques, contribuant ainsi à la fabrication de films composites comestibles (131,132).

### 2.5.4.2 Les films à base de polysaccharides

Certains polysaccharides, tels que l'alginate, la pectine, les carraghénanes, l'amidon et les dérivés cellulosiques possèdent la capacité de former des films. Les polymères de polysaccharides présentent une imperméabilité excellente, mais leur caractère hydrophile limite leur capacité à agir comme une barrière efficace contre l'humidité. Seuls les films à base de dérivés cellulosiques présentent une imperméabilité remarquable à l'eau (132).

L'alginate est un polysaccharide hydrophile et anionique, extrait d'algues brunes et de bactéries. Les espèces d'algues brunes qui constituent des sources d'alginate sont *Ascophyllum nodosum*, *Durvillea antarctica*, *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea*, *Macrocystis pyrifera*, *Ecklonia maxima*, *Laminaria japonica*, *Sargassum* spp et *Lessonia nigrescens* (133).

Les alginate se distinguent dans l'industrie agro-alimentaire grâce à leurs caractéristiques en tant qu'épaississants, stabilisants et agents restructurants. Cela est dû à leur capacité à gélifier parfaitement à basse température et à leur thermostabilité. Des études ont révélé que les films d'alginate simples présentent des caractéristiques plus adaptées aux applications d'emballage alimentaire que les films composés de pectine seule ou en combinaison avec d'autres composites (133).

Par leur résistance à la traction et leur flexibilité appropriée, les alginate sont des ingrédients adaptés aux revêtements alimentaires. Lorsqu'un aliment entre en contact avec la solution aqueuse, l'alginate devient un revêtement comestible qui protège le produit. La capacité filmogène des alginate représente une solution potentielle pour remplacer les emballages alimentaires non recyclables. De plus, l'utilisation de gels d'alginate est sûre et contribue à une meilleure stabilité du produit et prolonge ainsi sa durée de conservation. Ils améliorent également la fonctionnalité du produit (133).

### 2.5.4.3 Les films à base de protéines

Ces derniers possèdent des propriétés intéressantes, de nombreuses matières protéiques ont été testées. Parmi celles-ci, le collagène, la zéine, le gluten de blé, l'ovalbumine, le soja, la caséine, etc. Les films protéiques présentent des propriétés mécaniques supérieures, bien que leur perméabilité aux gaz et à l'humidité varient (132).

Les protéines de caséine représentent 80% des protéines du lait et contiennent des composants  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\kappa$ -caséine. L'écémage du lait à 20 °C et pH 4,6 permet d'obtenir des caséinates, qui sont précipités par l'ajout d'un alcali, s'agissant d'une substance chimique qui a des propriétés alcalines. Les caséinates sont préparés en précipitant la caséine du lait à un pH inférieur à 4,6, en ajoutant un acide minéral. Ensuite, une fois la solution de caséine formée, elle est dissoute dans un alcali afin d'augmenter la valeur du pH à 7. Le NaOH (caséinate de sodium) peut être utilisé afin d'augmenter la valeur du pH ou du CaOH (caséinate de calcium). Les cations calcium favorisent la réticulation des interactions protéines-protéines, les films de caséinate de calcium sont plus rigides et possèdent de meilleures propriétés barrières. En revanche, les films de caséinate de sodium sont particulièrement performants en ce qui concerne les propriétés de tension (132).

# 3 Cahier des charges

Le cahier des charges (CDC) reprend l'ensemble des critères et des caractéristiques que le produit doit respecter. Celui-ci se base sur les 5S : sécurité, société, service, santé et satisfaction. Ces points sont décrits ci-dessous avant d'être étudiés plus en profondeur en lien avec le produit. La fiche produit est également réalisée, décrivant toutes les caractéristiques attendues du produit innovant.

## 3.1 Critères des 5S

Les critères correspondant aux 5S sont décrits ci-dessous. Ces critères sont pris en considération pour la réalisation du cahier des charges théorique du produit innovant.

- 1) Sécurité des aliments : Celle-ci est implicite et une obligation pour tous les produits. Aucune différenciation n'existe au niveau de la sécurité des aliments entre les produits concurrents. Ainsi, la seule limite sur le marché concernant ce point reste le consommateur.
- 2) Santé : Ce point concerne les besoins nutritionnels énergétiques, structuraux, fonctionnels et immunitaires. Dans la société actuelle, l'obésité touche de nombreuses personnes, y compris de plus en plus de jeunes. En effet, aucune limitation n'existe quant aux choix d'achat des consommateurs. La théorie du génotype d'épargne souligne l'incapacité de notre génome à s'adapter à l'évolution rapide de notre mode de vie.
- 3) Satisfaction : L'ensemble de l'alimentation doit répondre aux critères d'une bonne santé mais l'aspect satisfaction est également important pour garder plaisir à manger. Cet aspect peut être quantifié à l'aide de personnes très compétentes, comme un jury entraîné, ou au contraire de personnes novices.
- 4) Service : Outre le produit lui-même, d'autres aspects, comme une utilisation plus facile ou plus rapide, le différencient des concurrents. Cet aspect se concentre surtout sur le packaging du produit alimentaire.
- 5) Société : Ce point concerne principalement les questions sociétales actuelles telles que l'impact environnemental des produits alimentaires et l'étiquetage environnemental.

Etant donné que le projet a pris des directions différentes par rapport aux lignes directrices énoncées dans le projet transversal, les deux cahiers des charges vont être mis en corrélation pour mieux détecter les différences entre eux. L'annexe 1 et le tableau 15 correspondent respectivement aux deux cahiers des charges théoriques du projet transversal et du mémoire réalisés de manière synthétique en fonction des 5S. Les objectifs sont quantifiés. Chaque point est ensuite décrit plus précisément dans la suite du travail.

**Tableau récapitulatif des 5S en lien avec le produit innovant du mémoire :**

Critères		Objectifs
Sécurité	Activité de l'eau	Entre 0,2 et 0,4.
	Risques microbiologiques, chimiques, physiques	Aucun risque pour le consommateur.
Société	Genre du moringa	<i>Oleifera</i> .
	Provenance des produits	Moringa : Inde ou Afrique. Lait : France. Chocolat : Belgique.
	Étiquetage	12 mentions obligatoires.
Service	Emballage	Voir cahier des charges fonctionnel. Boîte en carton sous la forme d'un tiroir contenant un système de logement en polyester.
	Portion individuelle	1 portion = 1 sphère de 28,5 g.
	Conservation	À conserver dans un endroit sec, à l'abri de la lumière, des odeurs et à T° ambiante.
	Utilisation	Dans 200 ml d'eau chaude à 80 °C. Se dissout instantanément en maximum 30 secondes dans un contenant en mélangeant à l'aide d'une cuillère.
	DDM	Minimum 2 mois.
Santé	Valeurs nutritionnelles pour une portion	Voir tableau nutritionnel.
	Additifs	Pas d'additif ajouté sauf la lécithine de soja, initialement présente dans le chocolat blanc.
	Teneur en moringa	3,16 g par sphère.
	Allergènes	Lait et soja.
Satisfaction	Objectif hédonique « Est-ce que le latté à base de moringa est apprécié ? »	Oui.
	Forme	Sphère de 4 cm de diamètre.
	Goût	Goût du moringa et du chocolat blanc. Aussi apprécié que les produits des concurrents indirects du marché. Résultats satisfaisants de l'étude hédonique.
	Couleur	Couleur naturellement verte sans l'ajout de colorant. L* = 61,89 ± 0,18 a* = -1,27 ± 0,11 b* = 25,65 ± 0,08
	Texture	≤ 20 – 50 N.

	Viscosité	Mélange le plus homogène possible mais peut contenir de petites particules
	Odeur	Une fois reconstituée, retrouver les arômes du moringa ainsi que très subtilement ceux de du chocolat blanc et du lait.

Tableau 15 : Récapitulatif des 5S en lien avec le produit innovant décrit dans le mémoire et leurs objectifs quantifiés.

La plus grande différence entre les deux cahiers des charges réside dans l'ajout du chocolat blanc qui affecte de nombreuses données. En effet, cet ingrédient apporte un goût familier pour le consommateur, plus accepté que celui du moringa et permet également de faciliter le processus de fabrication. Ainsi, l'ajout de cet ingrédient a fortement modifié le diagramme de fabrication proposé dans le projet transversal. Les deux diagrammes de fabrications se trouvent au point 4.5 et dans l'annexe 2.

Dans les points qui suivent, chaque critère des 5S est décrit théoriquement en lien avec le produit innovant.

### 3.1.1 Sécurité

#### 3.1.1.1 Législation

Le Règlement (CE) n°178/2002 ou plus connu sous le nom de General Food Law fixe les principes généraux, les exigences de la législation alimentaire et fixe des procédures en matière de sécurité alimentaire. En effet, les citoyens doivent avoir accès à des aliments sains et sûrs répondant aux normes les plus élevées. Une denrée alimentaire est définie comme « toute substance ou produit, transformé, partiellement transformé ou non transformé, destiné à être ingéré ou raisonnablement susceptible d'être ingéré par l'être humain » (134).

La General Food Law est un règlement socle sur lequel viennent s'appuyer d'autres règlements pour former le « Paquet Hygiène ». Ce règlement s'applique à l'ensemble de la filière agroalimentaire depuis la production primaire, animale et végétale jusqu'à la distribution au consommateur final, en passant par l'industrie agroalimentaire, les métiers de bouche et le transport. L'objectif est d'harmoniser et de mettre en place une politique unique et transparente en matière d'hygiène applicable à toutes les denrées alimentaires et à tous les exploitants du secteur alimentaire (135).

En outre, la législation principale encadrant les nouveaux aliments dans l'Union européenne est regroupée dans le Règlement (UE) 2015/2283 du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2015 relatif aux nouveaux aliments. Ce règlement remplace le précédent Règlement (CE) n° 258/97 et vise à simplifier et à moderniser le processus d'autorisation des nouveaux aliments, tout en garantissant un niveau élevé de protection de la santé humaine et des intérêts des consommateurs. Les nouveaux aliments sont ainsi définis comme des aliments qui n'ont pas été consommés de manière significative par les êtres humains dans l'UE avant le 15 mai 1997. Néanmoins, le moringa n'est pas considéré comme « nouveau » selon les dispositions du règlement (UE) 2015/2283 sur les nouveaux aliments étant donné que ce produit était déjà utilisé pour la consommation humaine dans une large mesure au sein de l'Union avant le 15 mai 1997 (83).

#### 3.1.1.2 Activité de l'eau

L'activité de l'eau ( $a_w$ ) est une grandeur thermodynamique qui permet d'avoir une appréciation de l'eau libre disponible dans la matrice. En effet, elle est définie comme le rapport entre la pression partielle de vapeur de l'eau du produit et la pression partielle de vapeur de l'eau pure, à la même température. De ce fait, l'activité de l'eau détermine la limite minimale d'eau disponible pour la croissance microbienne. Ainsi, lorsque l'eau est liée, elle est indisponible pour les microorganismes (136).

La figure 6 montre l'évolution des constantes de réactions de modifications des aliments en fonction de l'activité de l'eau. Ainsi, la conservation du produit est maximale lorsque l' $a_w$  est de 0,2.

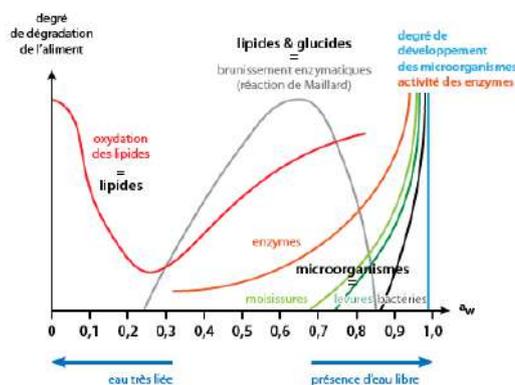


Figure 6 : Degré de dégradation des aliments en fonction de l' $A_w$  (140).

L'isotherme de sorption qui donne la relation entre  $a_w$  et la teneur en eau du produit (kg d'eau par kg de MS) à une température précise reflète la capacité de sorption (adsorption lors de la reprise d'eau, désorption lors de la déshydratation) ou de rétention de l'eau par le produit. L'utilisation des isothermes de sorption permet de déterminer la teneur en eau idéale pour une conservation optimale d'une poudre. C'est ainsi que pour une  $a_w$  de 0,2, la teneur en eau d'une poudre de lait se situe à 4 % (113).

Concernant la poudre de moringa, selon une étude réalisée en Inde, l'activité de l'eau sur une durée de 90 jours de stockage varie de 0,34 à 0,44 en fonction des matériaux d'emballage et des méthodes de séchage utilisés. Néanmoins, l'activité moyenne de l'eau la plus faible a été enregistrée dans la poudre de feuilles lyophilisées entre le premier jour de stockage (0,34) et le 90<sup>ème</sup> jour de stockage (0,42) dans des bouteilles de PET (137).

Dans le domaine du chocolat, l'activité de l'eau se situe généralement entre 0,3 et 0,4. Cette faible activité de l'eau limite le risque microbiologique associé au chocolat, le rendant relativement sûr sur le plan sanitaire (108).

Pour déterminer les meilleures conditions de conservation du produit, les activités de l'eau idéales de chaque ingrédient ont été recherchées. L'activité de l'eau optimale de la poudre de lait se situe aux alentours de 0,2 pour une température ambiante de 25 °C et celle de la poudre de moringa se situe aux alentours de 0,4. Concernant le chocolat, l'activité de l'eau idéale se trouve entre 0,3 et 0,4. Ainsi, l'objectif en termes d'activité de l'eau pour le produit final se situe entre 0,2 et 0,4.

De plus, afin de conserver au mieux le produit, ce dernier devra être conservé dans un endroit sec, à l'abri de l'humidité, de la lumière, des odeurs et à une température ambiante de maximum 20 °C.

### 3.1.1.3 Trois types de dangers

#### Dangers microbiologiques :

Le lait constitue une excellente source d'alimentation pour le développement des micro-organismes désirés et indésirables, en raison de sa richesse en protéines, graisses, sucres, vitamines et minéraux. Des valeurs inférieures pour le pH et le taux en humidité ne feront que ralentir le développement des micro-organismes mais ne le stopperont pas totalement. Le refroidissement du lait ralentit la croissance des micro-organismes. Ensuite, le chauffage appliqué permet de tuer de nombreuses bactéries (pasteurisation, stérilisation) (138).

La loi impose des analyses microbiologiques pour plusieurs bactéries. Concernant les germes indicateurs, un nombre trop élevé témoigne d'une mauvaise application des bonnes pratiques d'hygiène :

coliformes, Enterobacteriaceae, *E. Coli*, *Staphylococcus aureus*. Le nombre total de germes mesurant la qualité microbiologique totale du lait cru ne doit pas dépasser une limite maximale de 100.000 UFC/ml. La destruction des germes pathogènes provoquant des maladies est également importante, comme par exemple :

- *Salmonella* : germe détruit par pasteurisation
- *Listeria Monocytogenes* : germe détruit par pasteurisation « par principe »
- *E.coli* O157:H7 : germe détruit par pasteurisation
- *Campylobacter jejuni* et d'autres espèces *Campylobacter* : germe détruit par pasteurisation
- *Bacillus cereus* : toxine non détruite par pasteurisation mais un taux significatif de toxine n'est produit que lorsque le nombre de germes excède 107/ml.

Le Règlement 2073/2005 donne les critères microbiologiques de sécurité des denrées alimentaires (139).

Dangers microbiologiques	Contaminants	Limites acceptables
Enterobacteriaceae	Poudre de lait	10 ufc/g
Staphylocoques à coagulase positive	Poudre de lait	Lim m : 10 ufc/g Lim M : 100 ufc/g
Listeria monocytogenes	Poudre de lait	100 ufc/g
Staphylococcus aureus	Poudre de lait	Pas de détection dans 25g
Staphylococcus coagulase	Poudre de lait	Lim m : 10 ufc/g Lim M : 100 ufc/g
Salmonella	Poudre de lait	Absence dans 25g

Tableau 16 : Dangers microbiologiques de la poudre de lait.

En ce qui concerne le chocolat, le risque microbiologique est relativement faible. Les valeurs limites acceptables sont celles reprises sur la fiche technique du chocolat blanc utilisé.

Dangers microbiologiques	Contaminants	Limites acceptables
Salmonella	Chocolat blanc Veliche	Absence dans 250 g
Enterobacteriacés	Chocolat blanc Veliche	Maximum 10 ufc/g
Moisissures	Chocolat blanc Veliche	Maximum 50 ufc/g
Levures	Chocolat blanc Veliche	Maximum 50 ufc/g
Flore totale aérobie mésophile	Chocolat blanc Veliche	Maximum 5000 ufc/g

Tableau 17 : Dangers microbiologiques du chocolat.

### Dangers chimiques :

Les dangers chimiques correspondent à la présence de résidus d'origines diverses tels que des résidus d'antibiotiques, d'agents de nettoyage, de matériaux d'emballage etc. Les dangers chimiques typiques du lait sont la présence d'antibiotiques et de résidus de produits de nettoyage et de désinfection. Des mesures telles qu'un respect des délais d'attente après avoir administré des médicaments ou un rinçage suffisant permettront d'éviter les résidus dans le lait (138). Le Règlement n°1881/2006 donne les teneurs maximales des différents contaminants possibles (140).

Dangers chimiques	Limites
Plomb	0,020 mg/kg
Aflatoxines M1	0,050 µg/kg
Alcaloïdes pyrrolizidiniques (feuilles de moringa)	200 µg/kg
Perchlorate (feuille de moringa)	0,75 mg/kg

Tableau 18 : Dangers chimiques.

### Dangers physiques :

Les dangers physiques correspondent à la présence de corps étrangers dans le produit alimentaire. Les pollutions physiques sont souvent la cause de contaminations microbiologiques. Dans le cas du lait obtenu à la ferme, ces dangers sont souvent liés à une mauvaise hygiène ou à un mauvais système de nettoyage et de désinfection. Néanmoins, ceux-ci peuvent être éliminés grâce à une bonne hygiène personnelle et des locaux (138). Les limites pour les dangers physiques des différents ingrédients du produit innovant sont reprises dans le tableau 19.

Dangers physiques	Limites
Cheveux, ongles, boutons, pansement, mégot	Absence dans 1 kg
Peinture, plâtre, poussière	Absence dans 1 kg
Plastique, verre, bois, métal, sable	Absence dans 1 kg

Tableau 19 : Dangers physiques.

## 3.1.2 Société

### 3.1.2.1 Provenance des matières premières

*Moringa oleifera* est cultivé dans des endroits du monde ayant un climat tropical. Selon la FAO, le moringa est une culture importante en Inde, en Éthiopie, aux Philippines et au Soudan et est cultivé en Afrique de l'Ouest, de l'Est et du Sud, en Asie tropicale, en Amérique latine, aux Caraïbes, en Floride et dans les Iles du Pacifique (141). La popularité croissante du moringa a provoqué une augmentation significative de la demande, rendant nécessaire une gestion rigoureuse pour soutenir les niveaux de production. Importé notamment en Europe pour être transformé puis distribué comme c'est le cas du

produit alimentaire innovant. Le moringa est donc responsable d'impacts environnementaux comme notamment des gaz à effets de serres (GES) liés aux produits importés. En France, l'alimentation est responsable de 18 % des émissions tandis que les importations de biens, services et matières premières représentent un peu plus de la moitié (54 %) des émissions. Celles-ci ont augmenté de 72 % depuis 1995 (142–144).

Néanmoins, le moringa possède un potentiel d'influence très positif à l'échelle mondiale, reconnu pour ses avantages dans le soutien à une production durable, l'amélioration de la santé des sols et la réduction de la pauvreté grâce à des pratiques commerciales équitables. En favorisant une nouvelle ère de durabilité environnementale, le moringa peut contribuer à réduire l'empreinte carbone. Cette culture nécessite peu d'intrants tels que l'eau et les engrais pour produire de grandes quantités de matières. Ce qui en fait un choix optimal pour les petits exploitants agricoles des pays en développement en maximisant leurs profits tout en améliorant l'environnement autour d'eux. De plus, le moringa est une source de nutriments et vitamines à ne pas négliger pour lutter contre l'insécurité alimentaire des pays producteurs. Enfin, le moringa présente une solution concrète face aux inégalités économiques mondiales, tout en représentant une solution aux problématiques écologiques telles que le changement climatique et la déforestation. Ses avantages sont donc considérables et sa disponibilité augmente dans de nombreuses régions du monde (145,146).

Concernant le chocolat, sa culture est largement répandue dans les pays possédant un climat tropical puis celui-ci est importé en Europe pour être transformé puis distribué. De ce fait, la valeur ajoutée créée dans la filière est très inégalement répartie, concentrée au niveau des pays industrialisés où les fèves sont transformées. De plus, les effets environnementaux sont similaires à ceux du moringa. Dans les pays cultivateurs, l'industrie du chocolat est reconnue comme le principal moteur de la déforestation, aggravant le réchauffement climatique. Contrairement au moringa, les plantations de cacao sont gourmandes en eau. De plus, les conditions de production soulèvent également des préoccupations éthiques importantes. En effet, les petits producteurs de cacao dans les pays pauvres sont confrontés à des conditions difficiles, avec des revenus très bas et le recours fréquent au travail des enfants dans des conditions dangereuses. L'utilisation de pesticides toxiques nuit à la santé des travailleurs et des populations locales, tandis que la demande croissante de chocolat encourage la production illégale de cacao. Ainsi, la fabrication du chocolat perpétue un cycle d'exploitation sociale et environnementale préjudiciable aux communautés et à l'écosystème (147,148).

À côté du moringa et du chocolat, le lait est une denrée alimentaire largement produite en Belgique, faisant ainsi partie des circuits courts alimentaires, ceux-ci doivent inclure au maximum un intermédiaire. Permettant notamment de réduire les émissions de GES liées à l'alimentation et ainsi de lutter contre le réchauffement climatique, de réduire les déchets, de lutter contre le gaspillage mais également de mieux rémunérer les producteurs (149). Néanmoins, les vaches produisent une grande quantité de méthane qui est un gaz à effet de serre puissant. Le chocolat blanc étant composé de lait a donc définitivement un fort impact sur l'écologie (148).

L'analyse de cycle de vie du produit alimentaire réalisé au point 9 est donc un élément à prendre en compte. Elle permet d'évaluer son impact environnemental tout au long de son cycle de vie, de la production des matières premières à son élimination, afin d'identifier les points critiques et d'optimiser sa durabilité.

### 3.1.2.2 Étiquetage

L'étiquetage des denrées alimentaires est le premier moyen de communication entre le producteur, le vendeur et consommateur de denrées alimentaires. Ainsi, l'étiquette est un vecteur d'informations qui dépasse le cadre strict de la sécurité de la chaîne alimentaire.

Concernant la législation qui s'applique à l'étiquetage des denrées alimentaire, la base légale est européenne. Le Règlement (UE) N°1169/2011 relatif à l'étiquetage nutritionnel des denrées alimentaires englobe l'information aux consommateurs concernant des denrées alimentaires (INCO). Ce document dépasse donc le cadre strict de l'étiquetage car l'information peut être véhiculée par

d'autres support qu'une étiquette. En effet, ce règlement définit l'étiquetage comme « les mentions, indications, marques de fabrique ou de commerce, images ou signes se rapportant à une denrée alimentaire et figurant sur tout emballage, document, écriteau, étiquette, bague ou collerette accompagnant ou se référant à cette denrée alimentaire ».

Le Règlement INCO fixe notamment les 12 mentions obligatoires qui doivent figurer sur les denrées alimentaires. Celles-ci doivent être facilement visibles, clairement lisibles, compréhensibles et indélébiles. Les mentions obligatoires sont :

- La dénomination de la denrée alimentaire : dénomination légale ou nom usuel si pas de dénomination légale ; à défaut, nom descriptif. Être suffisamment précise pour permettre au consommateur d'en connaître la nature réelle et la distinguer des denrées alimentaires avec lesquelles elle pourrait être confondue.
- La liste des ingrédients : énumération de tous les ingrédients, dans l'ordre décroissant de leur importance pondérale au moment de leur mise en œuvre.
- Tout ingrédient / substance / produit provoquant des allergies ou intolérances : la législation européenne impose la mention de 14 d'entre eux. Ceux-ci doivent être mis en évidence par une impression qui les distingue clairement du reste de la liste des ingrédients.
- La quantité de certains ingrédients ou catégories d'ingrédients (QUID = quantitative ingredients declaration).
- La quantité nette : en unités de volume pour les produits liquides ou en unités de masse pour les autres.
- La date de durabilité minimale (DDM) ou, dans certains cas de denrées alimentaires très périssables microbiologiquement, la date limite de consommation (DLC).
- Les conditions particulières de conservation et/ou d'utilisation.
- Le nom ou la raison sociale et l'adresse de l'exploitant.
- Le pays d'origine ou le lieu de provenance lorsqu'il est prévu à l'art. 26.
- Un mode d'emploi, lorsque son absence rendrait difficile un usage approprié de la denrée alimentaire.
- Le titre alcoométrique volumique acquis pour les boissons titrant plus de 1,2 % d'alcool en volume.
- Une déclaration nutritionnelle.

D'autres mentions obligatoires complémentaires existent comme le conditionnement sous atmosphère protectrice, les édulcorants (comme l'aspartame qui contient de la phénylalanine qui doit être mentionné pour les personnes phénylcétonuriques) ou encore la marque de salubrité pour les denrées alimentaires d'origine animale et la traçabilité. Ainsi, les normes d'étiquetage sont de plus en plus strictes au fil des règlements en application afin que les acheteurs puissent être sûrs d'obtenir un produit de qualité. La figure 7 décrit l'étiquette imaginée pour le produit innovant du projet. Les 12 mentions obligatoires y figurent.

Valeurs nutritionnelles moyennes			
	Pour 100g	Par portion (28,5g)**	% (28,5g)*
Energie (kJ)	1917,2	548,4	27,3
Kilocalories (kcal)	456,4	130,1	6,5
Matières grasses	18,5	5,3	7,5
dont acides gras saturés (g)	11,2	3,2	16,0
Glucides	51,0	14,5	5,6
dont sucres (g)	47,5	13,5	15,0
Fibres	3,1	0,9	10,3
Protéines (g)	20,0	5,7	11,4
Sel (g)	0,3	0,1	1,4

\*Apports de référence pour un adulte-type (8400 kJ/2000 kcal).  
 \*\*1 portion = 28,5g. Cet emballage contient 4 portions.

**Latte instantané chocolaté sous forme de sphère à base de moringa**

**Ingrédients :** Poudre de lait écrémé 0% en poudre (44%), chocolat blanc (44%) (Sucre, beurre de cacao min 30%, poudre de lait entier, émulsifiant : lécithine de soja, extrait de vanille), moringa en poudre (11%), mycryo (0,01%).  
**Origines :** Poudre de lait française, chocolat blanc belge et poudre de moringa provenant d'Inde.

**Une innovation végétale dans chaque gorgée !**  
 Plus de conseils et de renseignements sur notre site internet : [TGREEN.BE](http://TGREEN.BE)

A conserver à l'abri de la chaleur, de l'humidité, des odeurs et de la lumière.  
 A consommer de préférence avant le / N° lot :

Av. de la Faculté d'Agronomie 41/13,  
 5030 Gembloux  
 TGREEN.BE

Poids net :  
**114g (4x28,5g)**

Figure 7 : Étiquette du produit innovant.

### 3.1.3 Santé

#### 3.1.3.1 Objectifs nutritionnels

Afin de connaître le grammage exact du produit, 10 sphères ont été pesées et ont été à chaque fois réalisées dans les mêmes conditions. La moyenne obtenue est de 28,5 g pour une sphère. Ainsi, le tableau 20 reprend les valeurs nutritionnelles pour 100 g de produit et pour une unité de 28,5 g. Les pourcentages par portions ont été calculés avec les valeurs de références reprises dans le Règlement (UE) n°1169/2011 Annexe XIII.

De plus, la quantité théorique de fibres qui devraient se retrouver dans le produit a également été calculée. Etant donné que les fibres proviennent exclusivement de la poudre de moringa, les calculs ont été basés sur ces valeurs afin de connaître la quantité de fibres. Néanmoins, cela reste une valeur théorique. En effet, afin de rendre le produit le plus homogène possible lors de la dissolution et plus agréable gustativement, une étape de tamisage a lieu. Lors de cette étape, les particules supérieures à 150 µm sont retenues par le tamis. Une quantité importante de fibres est alors perdue lors de cette étape.

	Pour 100 g	Par portions (28,5 g)	Pourcentages par portions (%)
<b>Energie (kJ)</b>	1917,2	546,4	27,3
<b>Kilocalories (kcal)</b>	456,4	130,1	6,5
<b>Graisses dont (g)</b>	18,5	5,3	7,5
<b>Graisses saturées (g)</b>	11,2	3,2	16,0
<b>Glucides dont (g)</b>	51,0	14,5	5,6
<b>Sucres (g)</b>	47,5	13,5	15,0
<b>Fibres</b>	3,1	0,9	10,3
<b>Protéines (g)</b>	20,0	5,7	11,4
<b>Sel (g)</b>	0,3	0,1	1,4

Tableau 20 : Valeurs nutritionnelles du produit innovant.

#### 3.1.3.2 Additifs

L'ajout d'additifs dans le produit n'a pas été exclu mais l'objectif était de les limiter au maximum. Les différents additifs qui ont été envisagés dans le produit alimentaire innovant sont cités dans les différentes étapes du processus de fabrication en fonction de leur rôle technologique :

- Un liant pour l'étape de compaction tel qu'expliqué au point 2.5.3.
- Un stabilisant pour l'étape de reconstitution tel qu'expliqué au point 2.4.1.

Après de multiples tests réalisés, aucun des additifs envisagés n'a été retenu, car leur effet n'était pas assez significatif. Le produit innovant ne contient donc pas d'additif. Tous les additifs testés dans le cadre des tests concernant l'étape de compaction se trouvent au point 5.4.2 et ceux testés dans un but de stabiliser les différentes phases de la boisson se trouvent au point 5.4.3.

Néanmoins, le chocolat blanc utilisé contient de la lécithine de soja. Selon la définition officielle de l'EFSA (European Food Safety Authority), le terme « lécithine » désigne désormais un mélange de lipides naturels contenant plus de 50 % de phospholipides (PL), et non plus uniquement de la phosphatidylcholine (PC), comme c'était le cas dans la définition initiale. Grâce à leur teneur élevée en PL, les lécithines sont d'excellents émulsifiants, largement utilisées dans l'industrie agroalimentaire sous le code « E322 » et peuvent également servir d'agents épaississants par exemple dans la préparation de crèmes (150,151).

En Europe, les lécithines peuvent être utilisées dans la plupart des aliments selon le principe du quantum satis. Cela signifie qu'elles peuvent être ajoutées sans restriction de dose, ce qui sous-entend qu'elles ne présentent pas de danger particulier pour le consommateur. Cependant, leur utilisation est réglementée dans certains cas, elles ne peuvent pas dépasser 1 % dans les préparations pour nourrissons et 3 % dans les huiles et matières grasses. De plus, pour des raisons techniques et de goût, la teneur en lécithines dans les aliments dépasse rarement 10 % (150).

### 3.1.3.3 Allergènes

Les allergènes sont définis comme toutes substances ou produits provoquant des allergies ou intolérances. Quatorze d'entre eux doivent obligatoirement figurer sur l'étiquette et être clairement indiqués dans la liste d'ingrédients.

Concernant le produit innovant, le lait et le soja provenant de la lécithine de soja dans le chocolat blanc sont les seuls allergènes présents.

### 3.1.3.4 Allégations

Le Règlement n°1924/2006 est le règlement qui concerne les allégations nutritionnelles et de santé portant sur les denrées alimentaires. Pour qu'un produit alimentaire puisse porter l'allégation "riche en protéines", ce dernier doit contenir au moins 20 % de la valeur énergétique totale sous forme de protéines. C'est bien le cas du produit alimentaire indiqué dans le tableau des valeurs nutritionnelles moyennes calculées à partir des étiquettes des différents ingrédients au tableau 20 de la section santé. Cette valeur est particulièrement haute en raison des teneurs en protéines de la plante de moringa et de la poudre de lait.

Néanmoins, le choix a été fait de ne pas le mentionner sur l'étiquette afin d'éviter que le consommateur ne s'oriente uniquement vers le produit pour cette raison. En effet, le produit reste un produit plaisir et réconfortant malgré tout chargé en sucre et en graisse.

De plus, lors de l'analyse de la teneur en protéines du produit final par la méthode Dumas, la teneur obtenue est de 20 % en protéines mais plutôt de 16,93 %. Les résultats des autres échantillons se trouvent au point 5.1.1.3 et les calculs sont détaillés dans l'annexe 7.

Échantillon	Protéines (%)	Écart-type
Sphère broyée	16,93	0,41

Tableau 21 : Pourcentage de protéines calculé dans la sphère broyée par la méthode Dumas.

L'étude d'autres allégations a également été réalisée. L'attention s'est portée sur le calcium, magnésium et fer étant donné que ce sont les éléments les plus représentés dans la poudre de moringa. Néanmoins, les quantités théoriques de ces minéraux provenant des poudres de moringa et de lait sont trop faibles par rapport aux pourcentages de l'apport de référence que le produit doit fournir pour porter une

quelconque allégation. Les possibilités d'allégations concernant les vitamines A, C et E ont également été envisagées mais les conclusions étaient identiques

### **3.1.3.5 Nutri-Score**

Le Nutri-Score est un système d'étiquetage nutritionnel destiné à fournir une information simple et compréhensible sur la qualité nutritionnelle des produits alimentaires. Visant à aider les consommateurs à faire des choix alimentaires plus sains en facilitant la comparaison entre les produits. Le Nutri-Score se présente sous la forme d'une échelle de cinq lettres allant de A à E, chaque lettre étant associée à une couleur spécifique allant du vert (A) au rouge (E) (152).

Le calcul du Nutri-Score repose sur une évaluation de la composition nutritionnelle des aliments prenant en compte à la fois les éléments à limiter et ceux à favoriser. Le système utilise une grille de points, attribuant des points positifs pour les éléments à limiter (Energie, acides gras saturés, sucres et sodium) et des points négatifs pour les éléments à favoriser (fruits, légumes, légumineuse et fruits à coque, fibres et protéines). Chaque composant est mesuré pour 100 grammes ou 100 millilitres de produit. Les points pour les éléments à limiter et ceux à favoriser sont calculés séparément, puis les points négatifs sont soustraits des points positifs pour obtenir un score final (152).

De cette manière, le Nutriscore calculé pour le produit innovant est de D. En effet, la quantité de sucre et de graisse saturée provenant du chocolat blanc, du lait en poudre et du mycryo n'est pas négligeable.

## **3.1.4 Service**

### **3.1.4.1 Emballage**

Plusieurs règlements sont relatifs à l'emballage. En plus du Règlement CE n°852/2004 relatif à l'hygiène des denrées alimentaires, le Règlement n°1935/2004 concerne les matériaux et objets destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires. Le principe est que tous les matériaux et objets destinés à entrer en contact, directement ou indirectement, avec des denrées alimentaires doivent être suffisamment inertes pour ne pas céder à ces denrées des constituants en une quantité susceptible de présenter un danger pour la santé humaine, d'entraîner une modification inacceptable de la composition des aliments ou d'altérer leurs caractères organoleptiques (goût, odeur, couleur, ...).

De plus, ce règlement mentionne que l'échange de substances entre l'emballage et l'aliment ne peut dépasser un certain seuil. Cet échange est fonction de paramètres physicochimiques de l'aliment, des conditions de stockage (température de conservation et durée) et de préparation de l'aliment. Plus précis, le règlement n°10/2011 concerne les matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires. Ainsi, les matériaux d'emballage doivent porter un logo spécifique ou la mention « convient pour aliments » et être adaptés aux produits emballés.

L'emballage est un critère permettant de se différencier de la concurrence en apportant de la praticité et facilité d'utilisation du produit. Le packaging créer se veut ergonomique facile d'emploi sous forme de tiroir en carton permettant de refermer l'emballage avec un système de logement en polyester à l'intérieur de la boîte pour y déposer les sphères. Le packaging du produit innovant et tous les différents aspects s'y référant sont plus amplement décrits au point 8. La figure 8 représente le packaging du produit innovant dessiné par le logiciel Blender. Le packaging réalisé manuellement est également présenté dans la partie packaging.



Figure 8 : Emballage réalisé sur l'interface Blender.

### 3.1.4.2 Portion et assortiment

Une boîte unitaire comme unité de vente contient quatre portions donc quatre sphères. Une portion correspond donc à une sphère de 28,5 grammes. Ainsi, la portion est facilement identifiable toujours dans ce but de praticité.

Une extension de gamme est imaginée pour apporter une diversification aux niveaux des goûts avec d'autres superfood tels que les baies d'açaï, le schisandra, le curcuma, l'hibiscus, les baies de Gogi, etc. L'extension de gamme avec des formes plus diverses : triangles, losanges, carrés, etc. est également possible.

### 3.1.4.3 Conservation et DDM

Afin de conserver au mieux le produit, celui-ci devra être rangé dans un endroit sec, à l'abri de l'humidité, de la lumière, des odeurs et à T° ambiante.

Le produit possède une date de durabilité minimale (DDM) et non une date limite de consommation car celui-ci est non microbiologiquement très périssable. La mention « à consommer de préférence avant le... » est obligatoire sur l'étiquette.

La législation ne dit pas explicitement quels aliments sont soumis à une date limite de consommation ou date de durabilité minimale (DDM). C'est aux opérateurs de la chaîne alimentaire de trancher. Un grand principe du paquet hygiène est la responsabilité des opérateurs, c'est donc à eux de trancher entre une DDM ou DLC mais quoique les opérateurs choisissent, quel que soit la durée de conservation, ceux-ci en sont juridiquement responsables. Des méthodes pour valider une durée de conservation en prenant une marge de sécurité existent.

Dans un premier temps, la DDM visée est de 4 mois en comparaison avec les produits des concurrents indirects (cafés solubles, thés, matcha, ...). Les tests de vieillissement montrent que le produit alimentaire présente une bonne stabilité oxydative par rapport aux autres matières grasses, que la couleur du produit s'altère avec le temps et que l'humidité augmente. Néanmoins, ces tests n'étant pas réalisés dans des conditions optimales, des analyses plus approfondies devraient être envisagées, notamment avec le produit emballé dans son packaging final. Actuellement, une DDM de 2 mois a été fixée.

### 3.1.5 Satisfaction

Le produit alimentaire innovant proposé doit séduire les consommateurs. Pour évaluer l'appréciation du latte sous forme de sphère en chocolat blanc contenant de la poudre de moringa, un test de satisfaction a été élaboré mais non réalisé. La mesure de la satisfaction est ainsi effectuée à deux moments différents : sur la sphère avant dissolution et lors de la dégustation de la boisson chaude.

#### 3.1.5.1 Texture de la sphère et de la boisson chaude

Selon la norme ISO 5492:2008, la texture se définit comme un « 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, de la première bouchée jusqu'à l'avalement » (153). Le tableau 22 reprend les différentes propriétés de texture, les paramètres ainsi que les descripteurs sensoriels spécifiques.

Propriétés	Paramètres	Descripteurs
Mécaniques	Dureté	Mou, ferme, dur
	Cohésion	Fracturabilité (cohésif, friable, croquant, cassant, craquant, croustillant), masticabilité, broyabilité (sablé, farineux, pâteux)
	Viscosité	Fluide, lié, onctueux, visqueux
	Élasticité	Plastique, malléable, élastique
	Adhérence	Pâteux, adhérent, collant, gluant
Géométriques	Densité	Léger, épais
	Granulosité	Lisse, sableux, perlé, granuleux, grossier
	Structure	Cellulaire, cristallisé, fibreux, feuilleté, soufflé
De surface et de corps	Humidité	Sec, humide, mouillé, juteux, aqueux
	Lipidité	Huileux, gras, gras

Tableau 22 : Description des différentes propriétés de texture (ISO, 2008).

Ainsi, les descripteurs des paramètres souhaités pour le latte instantané sous forme de sphère sont :

- Dur pour la dureté
- Cohésif pour la cohésion
- Sec pour l'humidité

De plus, d'autres descripteurs des paramètres sont également désirés lors de la dégustation de la boisson chaude :

- Fluide pour la viscosité
- Léger pour la densité
- Lisse pour la granulométrie

Ces mots descripteurs du latte sous ses deux formes permettent ainsi de caractériser la qualité au niveau de la production mais aussi de tester l'évolution de la texture en fonction de temps de conservation.

Pour étudier la texture du latte, deux tests ont été mis en place : la texturométrie et la rhéologie. Tout d'abord, l'étude de la texture de la sphère grâce à un texturomètre permet de caractériser la résistance à la rupture de celle-ci. En effet, les sphères, et plus précisément la coque en chocolat blanc, ne doivent pas casser dans l'emballage.

Plusieurs facteurs affectent la texture du chocolat. Tout d'abord la composition du chocolat, notamment la teneur en cacao, la quantité et le type de matière grasse telle que le beurre de cacao mais aussi la proportion de sucre, de lécithine et d'autres ingrédients ajoutés influencent la structure, la texture et la résistance du chocolat (154,155).

De plus, la cristallisation et le tempérage affectent également sa friabilité. En effet, une cristallisation correcte du beurre de cacao est essentielle pour obtenir une texture homogène. Le tempérage du chocolat vise à obtenir la forme cristalline la plus stable (cristaux  $\beta$ ) pour assurer une bonne casse. Ainsi, un chocolat bien tempéré présente une structure cristalline stable, influençant directement sa friabilité et son éclat. Le taux de refroidissement après le tempérage peut également affecter la formation des cristaux et, par conséquent, la structure et la fragilité du chocolat (154,155).

Enfin, les conditions environnementales comme la température et l'humidité ont également un impact sur la texturométrie. La température peut affecter la consistance et la fragilité du chocolat : un chocolat à température plus élevée sera plus souple, tandis qu'à température plus basse, ce dernier sera plus cassant. L'humidité peut aussi influencer la texture du chocolat en modifiant la teneur en eau et la structure cristalline (154,155).

Pour un chocolat noir bien tempéré, la force de rupture peut varier entre 30 et 70 N, selon la teneur en cacao et le processus de fabrication. Le chocolat au lait et le chocolat blanc, contenant plus de matières grasses et de sucre, peuvent avoir des valeurs de force de rupture légèrement inférieures, typiquement entre 20 et 50 N, qui est la tranche de valeurs (154,155).

Dans un deuxième temps, l'analyse de la viscosité de la boisson chaude via un rhéomètre permet également d'étudier la texture du latte instantané reconstitué cette fois.

### **3.1.5.2 Activité de l'eau et teneur en eau de la sphère**

Comme expliqué au point 3.1.1.2, l'activité de l'eau du latte instantané sous forme de sphère dépend de ses constituants et doit se situer théoriquement dans la tranche entre 0,2 et 0,4. Cette faible valeur permet de donner cet aspect sec à la sphère et réduit considérablement les risques de développement de micro-organismes et d'oxydation des lipides.

De plus, la teneur en eau ou encore l'humidité doivent être maîtrisées sinon elles risquent également d'altérer la conservation et la texture du latte instantané. Ainsi, l'isotherme de sorption est utilisé pour déterminer le lien entre l'activité de l'eau et la teneur en humidité d'un produit en fonction de la

température. Ces deux facteurs sont ainsi corrélés. L'activité de l'eau a été analysée à l'aide d'un analyseur d'humidité absolue comme expliqué au point 4.3.1.6 et déterminer le pourcentage d'humidité grâce au « Sartorius MA150 ». Si ces facteurs augmentent alors cela influence négativement les qualités organoleptiques du produit alimentaire comme une modification de texture de la sphère ou une augmentation de l'oxydation des lipides ou encore des risques microbiologiques.

### 3.1.5.3 Le goût du latte instantané

Plusieurs paramètres influencent le goût d'un produit alimentaire et tout d'abord, les ingrédients utilisés. En effet, la qualité, la fraîcheur et la proportion des ingrédients utilisés ont un impact direct sur le goût (156,157).

De plus, la texture comme décrite plus haut avec la sensation en bouche et la consistance jouent également sur le goût perçu. Un autre point crucial, sont la saveur et les arômes du produit alimentaire. En effet, les composés chimiques présents dans les aliments (sucre, sel, acides, amers, umami) contribuent aux différentes saveurs perçues et les composés volatils libérés par les aliments, responsables des arômes, jouent aussi un rôle crucial dans la perception du goût (156,157).

Puis, la température de l'aliment lors de la consommation, le niveau d'humidité ou encore le pH mais aussi le processus de fabrication et les matériaux d'emballage avec les conditions de conservation peuvent affecter le goût (156,157).

Enfin, les interactions chimiques entre les différents ingrédients peuvent modifier le profil de saveur global et la perception individuelle avec les préférences et sensibilités gustatives de chacun influencent également la perception du goût (156,157).

Ainsi, avant de mettre un produit sur le marché, les performances organoleptiques du produit alimentaire proposé doivent être évaluées à travers des tests sensoriels réalisés par des consommateurs cibles. Une analyse sensorielle comme décrite au point 3.1.5.6 a été réalisée.

Le goût du latte instantané est un point important dans le projet puisque celui-ci a vu son objectif totalement changé. Tout d'abord, mettre en avant le goût du moringa et de ne pas le cacher par d'autres ingrédients était l'objectif. Néanmoins, au vu des difficultés techniques et du goût fort prononcé de la plante, une coque en chocolat blanc a été ajoutée au produit.

Les arômes de la poudre de moringa brute ont été analysés et décrits au point 5.1.1.5.

L'analyse quantitative de l'étude marketing montre que le chocolat blanc a permis de rendre les personnes moins dubitatives concernant le produit innovant, de base contenant uniquement de la poudre de moringa peu connue de la population. Néanmoins, cette coque en chocolat blanc a également créé un débat au niveau de la composition nutritionnelle finale du produit innovant. En effet, celle-ci est perçue comme gourmande et attirante pour la majorité mais repoussante et inintéressante pour une petite partie des participants.

### 3.1.5.4 La couleur de la sphère et de la boisson

La couleur d'un produit alimentaire est l'un des premiers facteurs pris en compte lors de sa consommation, celle-ci suscite les premières impressions critiques sur l'appréciation du produit.

Concernant la sphère et la boisson, l'objectif premier était que celles-ci soient vertes représentant ainsi la plante de moringa. Pour ce faire, de la poudre de moringa a été ajoutée dans la coque de chocolat blanc pour que cette couleur soit produite de manière naturelle avec les ingrédients de base sans ajouter d'autres composants. L'analyse colorimétrique de la sphère broyée et des différents ingrédients de base a été réalisée à l'aide d'un spectrocolorimètre comme décrit au point 4.1.8. Ce paramètre est mesuré par les coordonnées colorimétriques Lab\*, où L\* représente la clarté, et a\* et b\* les composantes de

chromaticité. La couleur de la boisson reconstituée a également été étudiée. Les résultats sont donnés dans le tableau 23.

Échantillons	L*	a*	b*
Boisson	51,55 ± 1,25	-2,44 ± 0,35	31,43 ± 0,52

Tableau 23 : Résultats de l'étude de la couleur de la boisson.

De plus, l'analyse quantitative de l'étude de marché montre que la couleur mais également la forme de la sphère sont perçues comme inhabituelles et surprenantes mais ludiques et fun par les répondants du questionnaire.

### 3.1.5.5 Mesure et analyse de la réponse sensorielle

À côté du goût, la vue, l'odorat, le toucher et même l'ouïe sont des sens sollicités lors de la dégustation d'un aliment et participent aux perceptions sensorielles liées à sa consommation. Ainsi, l'analyse sensorielle permet grâce à ces cinq sens de définir les propriétés organoleptiques d'un produit. Cependant, plusieurs méthodes d'analyses sensorielles existent comme les analyses discriminatives, descriptives et hédoniques.

Organiser minutieusement l'analyse sensorielle est essentiel afin d'obtenir des informations pertinentes. Effectivement, les réactions d'un même individu lors d'un test sensoriel peuvent différer d'un jour à l'autre en fonction des conditions du test. En outre, les panélistes ont souvent du mal à exprimer verbalement leurs perceptions. Choisir l'évaluation la plus adaptée aux expérimentateurs et les soutenir est donc primordial afin de produire des résultats qui correspondent aux objectifs de l'analyse (158).

Différentes méthodes d'analyse sensorielle existent. Une méthode objective est toute méthode dans laquelle les effets des opinions personnelles sont minimisées alors que la méthode subjective est basée sur les opinions personnelles (153).

### 3.1.5.6 Analyse hédonique et sensorielle

#### Objectifs

L'analyse hédonique et sensorielle vise à comprendre et évaluer la perception des consommateurs envers le produit innovant. Les principaux objectifs de cette analyse sont multiples.

Dans un premier temps, l'évaluation hédonique permet d'évaluer l'acceptabilité globale du produit en mesurant le niveau de satisfaction des consommateurs en déterminant si le produit est apprécié ou non. Permettant de comprendre la réaction générale des consommateurs face au produit. L'évaluation hédonique est subjective, basée sur les préférences individuelles des consommateurs. Pour ce faire, un test d'acceptabilité sensorielle a été sélectionné. Ce test permet d'évaluer les réactions des consommateurs en fonction des caractéristiques sensorielles telles que l'apparence, la viscosité, la saveur et l'acceptabilité générale. De plus, ce test permet de recueillir des informations pour améliorer les caractéristiques sensorielles du produit.

L'analyse sensorielle vise également à caractériser de manière objective les attributs spécifiques du produit, tels que le goût, la viscosité, la texture, l'apparence, l'odeur. Deux types de tests sensoriels existent : les tests descriptifs et les tests discriminatifs. Les tests descriptifs ont pour objectif de décrire au mieux le produit, tandis que les tests discriminatifs ont pour objectif de mettre en lumière une ou des différences entre les produits.

Dans le cas du produit alimentaire innovant, des tests sensoriels descriptifs sont intéressants à réaliser afin de caractériser le produit. La méthode du profil flash d'un produit a été envisagée. Etant donné que le produit est peu connu, ce qui serait intéressant est de dresser une liste de descripteurs le décrivant au mieux. L'avantage du profil flash est que cela repose sur les perceptions immédiates et globales des juges concernant les attributs sensoriels du produit. De plus, contrairement aux méthodes plus traditionnelles comme l'Analyse Descriptive Quantitative (ADQ), qui nécessitent une formation approfondie des juges, le profil flash peut être mis en œuvre rapidement avec un panel non spécialisé.

Etant donné que le produit n'a pas de concurrent direct, des produits similaires au produit innovant sont inexistantes donc des tests discriminatifs sont compliqués à mettre en place. Toutefois, des tests discriminatifs en variant les quantités de moringa dans la sphère peuvent être envisagés.

Ainsi, la mise en œuvre de ces évaluations permet de recueillir les avis des consommateurs sur le produit innovant et également de vérifier l'acceptabilité du moringa auprès du consommateur.

### **Sélection des participants**

La sélection des participants est un point important. En effet, afin que les résultats soient représentatifs, les participants doivent être minutieusement sélectionnés. Les participants doivent être représentatifs du marché cible du produit. Des testeurs naïfs seront sélectionnés. Le nombre de participants peut varier, un échantillon typique se situe entre 25 et 70 personnes.

Dans le but de sélectionner au mieux les participants, un questionnaire a été réalisé et se trouve en annexe 2. La sélection du panel permet de valider que le participant est un usager du produit et également que le produit suscite son intérêt. Afin de sélectionner le panel de participants, lors de l'enquête quantitative, la question avait été posée afin de savoir si les participants étaient enclins à goûter le produit. Grâce à cela, un questionnaire a pu être envoyé aux personnes intéressées.

### **Élaboration des questionnaires**

Le questionnaire est composé de plusieurs parties. Tout d'abord, celui-ci contient une introduction permettant de mettre en contexte le but du test et ensuite, une partie sur les instructions du test. La troisième partie concerne les questions fermées. Afin de mesurer l'appréciation du consommateur, chaque question sera évaluée grâce à une échelle de satisfaction. Finalement, la dernière partie du questionnaire est composée de questions ouvertes afin de recueillir des descripteurs qui permettront par la suite de décrire au mieux le produit. Finalement des questions concernant l'amélioration du produit sont également posées. Le questionnaire se trouve à l'annexe 3.

### **Organisations des séances**

Une fois que le panel a été sélectionné, les séances de dégustation doivent être organisées. Pour cela, les dégustations ont lieu dans un endroit neutre. L'idéal est de réaliser les tests dans des box dédiés à l'analyse sensorielle. Etant donné que ce genre de box n'est pas disponible, la dégustation aura lieu dans un endroit neutre existant. La présentation du produit se fera de manière homogène. Une seule sphère sera distribuée aux participants. Une tasse d'eau chaude ainsi qu'une cuillère seront également distribuées. Afin que les participants puissent juger au mieux l'aspect du latte une fois reconstitué, la tasse sera transparente. Ainsi, les participants pourront au mieux apprécier la dissolution du produit. Au vu de la complexité de réaliser un grand nombre de sphères, l'idéal serait d'organiser plusieurs séances allant de 8 à 10 personnes. La difficulté en plus de la réalisation des sphères est la distribution de la tasse d'eau chaude. En effet, la sphère se dissout au mieux dans 200 ml d'eau à 80 °C, les séances doivent être organisées afin que l'eau reste à cette température.

### 3.1.5.7 Conclusion du point satisfaction

Le tableau 24 reprend les paramètres et valeurs cibles souhaitées des différents points discutés dans la section satisfaction pour le latte instantané sous forme de sphère contenant de la poudre de moringa.

Paramètres	Valeurs cibles
Texturométrie	$\leq 20 - 50 \text{ N}$
Activité de l'eau Teneur en humidité	$\leq 0,2 - 0,4 \%$ $\leq 2,2 \%$ humidité
Goût	Aussi apprécié que les produits des concurrents indirects du marché. Résultats satisfaisants de l'étude hédonique.
Colorimétrie	$L^* = 61,89 \pm 0,18$ $a^* = -1,27 \pm 0,11$ $b^* = 25,65 \pm 0,08$

Tableau 24 : Paramètres et valeurs cibles de satisfaction souhaitées.

### 3.2 Fiche produit

FICHE TECHNIQUE



Informations générales	
Nom de la société	T.GREEN SPRL
Adresse	Av de la Faculté d'Agronomie 41/13, 5030 Gembloux

Description du produit	
Nom du produit	T.GREEN
Logo du produit	Voir ci-dessus.
Dénomination légale	Latte instantané chocolaté sous forme de sphère à base de moringa
Description du produit	Sphère qui sous l'effet de l'eau chaude se dissout formant un latte instantané à base de moringa et de chocolat blanc.
Liste des ingrédients	Poudre de lait écrémé 0 % en poudre (44 %), chocolat blanc (44 %) (Sucre, beurre de cacao min 30 %, poudre de lait entier, émulsifiant : lécithine de soja, extrait de vanille), moringa en poudre (11 %), mycryo (0,01 %).
Poids du produit	28,5 g.
Allergènes	Lait et soja conformément au Règlement (CE) n°1169/2011.
Origine des ingrédients	Poudre de lait française, chocolat blanc belge et poudre de moringa provenant d'Inde.
Valeur nutritionnelles	Voir tableau des valeurs nutritionnelles.
Forme et dimension du produit	Sphère de 4 cm de diamètre.
Couleur du produit	Vert naturel provenant du moringa.
Mode de production	Voir diagramme de production.
Consommation	Se dissout instantanément en moins de 30 secondes dans de l'eau chaude à 80 °C, dans un contenant, à l'aide d'un ustensile.
Condition de conservation recommandées	À l'abri de l'humidité, de la lumière, des odeurs et à température ambiante.
Durée de conservation	2 mois.
Prix	7,99 euros l'unité de vente comportant 4 sphères.

<b>Description sensorielle</b>	
<b>Couleur</b>	Vert clair naturel.
<b>Goût</b>	Chocolat blanc, lait et moringa.
<b>Odeur</b>	Moringa prédominant.
<b>Texture</b>	Sphère dure.

<b>Information concernant le packaging primaire</b>	
<b>Type de packaging</b>	Boîte sous forme de tiroir en carton recyclé.
<b>Forme et dimension du packaging</b>	Parallélépipède de 21cm x 6cm x 6cm.
<b>Poids du packaging</b>	28,8 g.

*Tableau 25 : Fiche produit.*

La fiche produit est un document détaillé qui présente de manière structurée et précise les caractéristiques, les propriétés et les spécifications d'un produit. La fiche produit décrite au tableau 25 est ainsi bien plus complète que celle du produit innovant réalisée dans le projet transversal, se trouvant à l'annexe 4.

# 4 Matériels et méthodes

Ce chapitre est consacré à la réalisation de la sphère. L'objectif est que le produit respecte les critères établis dans le cahier des charges décrit dans le chapitre précédent.

La première partie de ce point est tout d'abord consacrée aux matières premières utilisées et aux divers équipements manipulés pour réaliser le produit innovant imaginé. Ensuite, les différentes méthodes de caractérisation des matières premières, du produit innovant et de la boisson chaude sont détaillées.

Dans un deuxième temps, les différentes techniques réalisées jusqu'à l'obtention de la sphère finale sont décrites et illustrées. Enfin, le diagramme de fabrication final est présenté et comparé à celui qui était exposé dans le projet transversal.

## 4.1 Matières premières

Les matières premières utilisées dans la formulation du produit innovant sont listées dans le tableau 26.

Ingrédients	Marque	Poids par unités (g)
Poudre de moringa	Purasana	200
Poudre de lait écrémé 0 %	Isigny Sainte-Mère	10000
Chocolat blanc Obsession 30	Veliche	10000
Mycryo	Callebaut	600

Tableau 26 : Matières premières utilisées lors de la formulation du produit innovant.

### 4.1.1 Poudre de moringa

La poudre de moringa provient de la parapharmacie « Medi-Market », celle-ci est issue de l'agriculture biologique et est sans gluten, sans lactose et sans soja. La poudre provient soit d'Inde soit d'Afrique. Plusieurs lots ont été achetés dans des doypacks de 200 g et mélangés entre eux pour une homogénéisation maximale du mélange. Les poudres homogénéisées ont été placées dans des nouveaux sachets scellés de 100 g.

#### 4.1.1.1 Valeurs nutritionnelles

Energie (kJ)	1287
Energie (kcal)	309
Matière grasse total (g)	7,5
Matière grasse saturée (g)	3
Glucides total (g)	21

<b>Sucres (g)</b>	9,2
<b>Fibre total (g)</b>	33
<b>Protéines (g)</b>	23
<b>Sel (g)</b>	0,01
<b>Calcium (mg)</b>	185 (23,1 %*)
<b>Phosphore (mg)</b>	112 (16 %*)
<b>Fer (mg)</b>	4 (28,6 %*)
<b>Potassium (mg)</b>	337 (17 %*)
<b>Magnésium (mg)</b>	147 (39,2 %*)

Tableau 27 : Valeurs nutritionnelles pour 100 g de la poudre de moringa « Purasana ».

\*Apport de référence pour un adulte-type

#### 4.1.2 Poudre de lait écrémé

La poudre de lait écrémé 0 % de la marque « Isigny Sainte-Mère » a été achetée chez « Bruyère » et est vendue en sac de 10 kg. La poudre été séparée en sachets mis sous vide de 100 g.

##### 4.1.2.1 Valeurs nutritionnelles

<b>Energie (kj)</b>	1530
<b>Energie (kcal)</b>	360
<b>Matière grasse total (g)</b>	1,00
<b>Matière grasse saturée (g)</b>	1
<b>Glucides total (g)</b>	53
<b>Sucres (g)</b>	53
<b>Protéines (g)</b>	35,0
<b>Sel (mg)</b>	1,12

Tableau 28 : Valeurs nutritionnelles pour 100 g de la poudre de lait écrémé 0 % « Isigny Sainte-Mère ».

### 4.1.3 Chocolat blanc belge

Le chocolat blanc belge Obsession 30 de la marque « Veliche » est produit par la marque « Cargill » et provient du magasin « Bruyère », celui-ci est vendu en sac de 10 kg refermable par un zip et a été conservé à température ambiante dans son paquet d'origine. Le chocolat est présenté sous forme de dots de 11 à 14 mm et peut être conservé jusqu'à 18 mois après la date de conservation stocké dans un local frais et sec (10-20 °C, avec une humidité relative de l'air < 60 %), à l'abri des odeurs et de la lumière directe du soleil.

Sur la liste d'ingrédients figure les éléments suivants : sucre, beurre de cacao, poudre de lait entier, émulsifiant : lécithine de soja, extrait de vanille. Le chocolat contient donc deux allergènes : le lait et le soja.

#### 4.1.3.1 Caractéristiques chimiques et physiques

<b>Matière grasse totale</b>	Minimum 36 %
<b>Humidité</b>	Max 1,5 %
<b>Finesse</b>	Max 22 µm
<b>Viscosité à 40 °C</b>	0,6 - 1,1 Pa.s
<b>Limite d'écoulement</b>	5 - 14 Pa

Tableau 29 : Caractéristiques chimiques et physiques du chocolat blanc belge Obsession 30 « Veliche ».

#### 4.1.3.2 Valeurs nutritionnelles

<b>Energie (kJ)</b>	2420
<b>Energie (kcal)</b>	580
<b>Matière grasse total (g)</b>	37,6
<b>Matière grasse saturée (g)</b>	22,8
<b>Glucides total (g)</b>	54,5
<b>Sucres (g)</b>	53,3
<b>Fibre total (g)</b>	0,0
<b>Protéines (g)</b>	5,9
<b>Sel (mg)</b>	218,38

Tableau 30 : Valeurs nutritionnelles pour 100 g du chocolat blanc belge Obsession 30 « Veliche ».

#### 4.1.4 Mycryo

Le mycryo de la marque « Callebaut » a été acheté au magasin « Bruyère ». Ce dernier est vendu en boîte de 600 g refermable. Sur l’emballage, la recommandation est de le conserver dans un local frais et sec (12-20 °C), à l’abri des odeurs et de la lumière directe du soleil. Le mycryo a été ainsi conservé à température ambiante dans sa boîte d’origine.

##### 4.1.4.1 Valeurs nutritionnelles

<b>Energie (kJ)</b>	3766
<b>Energie (kcal)</b>	900
<b>Matière grasse total (g)</b>	100
<b>Matière grasse saturée (g)</b>	60
<b>Glucides total (g)</b>	0,0
<b>Sucres (g)</b>	0,0
<b>Fibre total (g)</b>	0,0
<b>Protéines (g)</b>	0,0
<b>Sel (mg)</b>	0,0

Tableau 31 : Valeurs nutritionnelles pour 100 g du Mycryo « Callebaut ».

## 4.2 Équipements

Les équipements nécessaires à la conception du produit innovant sont listés dans le tableau 32.

<b>Équipements</b>	<b>Marque et modèle</b>	<b>Utilisation</b>
Balance trébuchet	KERN PCB (Max : 8000 g -d = 0,1 g)	Pesée des ingrédients
Balance trébuchet	KERN PCB 2000-2B (Max : 2010 g – d = 0,01 g)	Pesée des ingrédients
Balance analytique	Sartorius AX224 (Max : 220 g – d = 0,1 mg)	Pesée des ingrédients
Tamiseur (tamis de 150 µm)	Fritsch Analysette 3 PRO	Tamissage de la poudre de moringa
Lyophilisateur	Martin Christ Gamma 2-16 LSCplus	Lyophilisation du mélange
Bain-marie avec agitation	GFL 1083	Tempérage du chocolat

Tableau 32 : Équipements utilisés lors de la conception du produit innovant.

Les divers équipements utilisés lors des analyses chimiques, physiques et physico-chimiques sont listés dans le tableau 33.

Équipements	Marque et modèle	Mesure
Spectrocolorimètre	Elscolab – HunterLab - ColorFlex EZ avec Glass Sample Cup 64 mm	L*a*b*
Texturomètre	Stable Mico Systems TAXT2i - PLUS-UPGRADE	Texture et Fracturabilité (N)
Mesure d'activité d'eau	Decagon - Aqualab –CX3	A <sub>w</sub>
Granulomètre	Anton Paar PSA 1190	Granulométrie d (0,1) - d (0,5) - d (0,9)(µm)
Analyseur Dumas	Elementar Rapid-N-Cube	Dosage de l'azote - Protéines (%)
Four à moufle	Nabertherm – L5/12/C6	Cendres (%)
Soxtherm	Gerhardt SOX 6-place	Matières grasses (%)
Chromatographe en phase gazeuse	Agilent GC 7890 SP 5973	Composés volatiles
Rancimat	Metrohm 743	Stabilité oxydative (h)
Etuves	Memmert UN30 et UF110	Matière sèche (%)
BactoBox	BactoBox SBT	Comptage des microorganismes (Particules/ml)
Rhéomètre	Anton Paar – Modular Compact Rheometer 302	Viscosité (Pa.s)
GC-MS	Agilent GC 7890 et SP 5973	Indices de rétention
Balance infrarouge	Satorius – MA150Q	Matière sèche (%) / Humidité (%)
Agitateur mélangeur / secoueur orbital	Fisher Bioblock Scientific – KL2	Homogénéisation des échantillons
Centrifugeuses	Beckman Coulter Avanti® J-E	Centrifugation des échantillons
	Jouan – C3-12	
Évaporateur rotatif + pompe + bain	Büchi – Rotavapor R-210 Büchi - Vacuum Pump V-700 Edmund Bühler UKT 3	Extraction de la matière grasse
Bain-marie	Fisher Scientific polystat 71	Chauffer les échantillons
Agitateur	VWR – VOS 60 C S40	Agitation des échantillons

Tableau 33 : Équipements utilisés lors des analyses chimiques, physiques et physico-chimiques.

### **4.3 Méthodes de caractérisation des matières premières et du produit fini**

Avant d'entamer tout essai de formulation, étudier les matières premières et caractériser les différents échantillons de poudres de moringa et de lait écrémé était important. En effet, chaque poudre possède des caractéristiques qui lui sont propres et qui vont conditionner sa qualité finale. Ainsi, une analyse minutieuse des poudres utilisées constitue une étape primordiale pour l'obtention de résultats optimaux.

En outre, la littérature comportant peu d'études sur la poudre de moringa, une analyse granulométrique ainsi qu'une analyse de ses caractéristiques physiques et chimiques devaient être réalisées. Ces études ont donc été faites simultanément sur la poudre de lait écrémé.

Par ailleurs, après avoir obtenu la formulation finale du produit innovant et avoir établi le diagramme de fabrication de la sphère, le produit final a été étudié en utilisant les mêmes analyses afin de le caractériser au mieux.

#### **4.3.1 Analyse chimique**

L'analyse chimique consiste à étudier la composition exacte des échantillons. Ainsi, les analyses du pourcentage de matière sèche, des cendres, des protéines, des matières grasses ainsi que de l'activité de l'eau ont été réalisées. Une étude des composés aromatiques dans la poudre de moringa brute a également été effectuée.

##### **4.3.1.1 Matière sèche**

L'analyse de la matière sèche des poudres de moringa et de lait a été réalisée par la méthode directe de gravimétrie. Pour ce faire, l'échantillon est pesé avant et après dessiccation à l'aide d'une balance analytique « Sartorius AX224 ». En effet, une prise d'essai de 5 g des différents échantillons de poudres placés dans des conserves ont été mis dans une étuve « Memmert UN30 » jusqu'à ce que la différence de poids après dessiccation soit plus faible que 0,005 g. Des paramètres de 130 °C pendant 2h45 pour la poudre de moringa et 70 °C pendant une nuit pour la poudre de lait ont été établis. Trois répétitions ont été réalisées par échantillon.

##### **4.3.1.2 Cendres**

L'analyse des cendres des poudres de moringa et de lait a également été réalisée par méthode directe de gravimétrie. Les cendres correspondant à la matière inorganique, composée principalement de minéraux, et résultent des résidus de la calcination des poudres. Pour ce faire, un four à moufle « Nabertherm – L5/12/C6 » a été utilisé. Une prise d'essai de 2,5 g des différents échantillons placés dans des creusets ont été mis dans le four à 600 °C pendant une nuit jusqu'à ce que la différence de poids soit stable. Les échantillons de poudres sont pesés avant et après calcination à l'aide d'une balance analytique « Sartorius AX224 ». Les échantillons doivent refroidir dans un dessiccateur avant d'être pesés. Trois répétitions ont été réalisées par échantillon.

##### **4.3.1.3 Protéines**

L'analyse des protéines a été effectuée en mesurant la quantité d'azote élémentaire à l'aide du Dumas « Elementar Rapid-N-Cube ». La méthode Dumas est un processus impliquant l'exposition de l'échantillon à une température élevée de 900 °C dans un environnement gazeux de combustion (oxygène). Cette combustion produit des gaz qui sont ensuite séparés, capturés et purifiés. Les

composés contenant de l'azote sont convertis en diazote gazeux. La quantité d'azote est déterminée en comparant la composition gazeuse de l'échantillon (azote et dioxyde de carbone) à celle du dioxyde de carbone issu de la combustion, qui n'a pas subi les mêmes étapes. Pour convertir la quantité d'azote en taux de protéines, un facteur de 6,25 est utilisé pour la poudre de moringa et un facteur de 6,38 pour la poudre de lait. Ces facteurs correspondent aux pourcentages d'azote compris dans les protéines de ces poudres. Trois répétitions ont été réalisées par échantillon (159).

#### **4.3.1.4 Matières grasses**

L'étude des matières grasses de la sphère a été réalisée grâce au Soxtherm « Gerhardt SOX 6-place » par la méthode à chaud. Cet appareil permet une extraction rapide et efficace de matières grasses et d'autres composés solubles dans divers échantillons. Cette méthode repose sur le principe de l'extraction par solvant, similaire à la méthode Soxhlet traditionnelle, mais avec des améliorations en termes de vitesse et d'automatisation.

L'échantillon mélangé à de l'acide chloridrique est chauffé à ébullition pendant une heure avant d'être refroidi puis filtré. Rincer le filtre jusqu'à disparition des ions chlore, puis le faire sécher une heure à 100 °C est important. Le filtre est ensuite placé dans une cartouche d'extraction en cellulose (type wathman) recouvert d'un carré d'ouate, elle-même placée dans un berlin d'extraction. L'éther de pétrole est ensuite utilisé comme solvant dans l'appareil Soxtherm. Le programme a une durée de 2h12 pour une température d'extraction de 150 °C. Trois répétitions ont été réalisées par échantillon.

#### **4.3.1.5 Composés aromatiques**

L'analyse des composés aromatiques a été effectuée sur la poudre de moringa brute uniquement. L'extraction des composés a d'abord été réalisée à l'aide la méthode SPME, c'est-à-dire de la microextraction en phase solide. Puis ceux-ci ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse couplé par spectrométrie de masse (GC-MS).

La SPME permet une extraction efficace des composés volatils présents dans un échantillon en les piégeant sur une fibre enrobée d'une phase stationnaire composée de carboxène, divinylbenzène et polydiméthylsulfide. Cette fibre, insérée dans l'échantillon, absorbe sélectivement les composés d'intérêt. Ensuite, la fibre est introduite dans le chromatographe. La chromatographie en phase gazeuse suivie de la spectrométrie de masse permet respectivement de séparer puis d'identifier les arômes volatiles.

Le chromatographe en phase gazeuse utilisé est de la marque « Agilent », module GC 7890 et modèle SP 5973. La colonne capillaire de type apolaire DB5-MS de 30m permet la séparation des molécules volatiles. Le gaz vecteur utilisé pour la séparation est l'hélium. Le programme de température utilisé est présenté dans le tableau 34.

Etape	Température (°C)	Vitesse (°C/min)	Temps de maintien (min)	Objectif
Température initiale	40	-	2	Volatilisation des composés.
Rampe de température 1	200	4	0	Séparation des composés de volatilité.
Rampe de température 2	300	20	5	Élution complète des composés les moins volatils et nettoyer la colonne.

Tableau 34 : Programme de température GS-MS.

L'identification des composés chimiques dans un échantillon chromatographique est facilitée par l'utilisation des indices de rétention de Kovats. Ceux-ci sont basés sur la rétention relative des composés par rapport à des hydrocarbures linéaires de référence sur une colonne chromatographique spécifique.

Les hydrocarbures linéaires sont souvent utilisés comme référence car ceux-ci ont des temps de rétention prévisibles et reproductibles. Ainsi, en calculant l'indice de rétention de Kovats pour un composé donné, sa position relative sur la colonne chromatographique peut être estimée par rapport à ces hydrocarbures de référence. Les indices de rétention de Kovats permettent de comparer les temps de rétention des pics des échantillons avec une base de données d'indices de rétention de Kovats, afin d'identifier les composés présents dans l'échantillon.

Cet indice  $I$  est calculé à partir du temps de rétention réduit de la substance ( $x$ ) à identifier  $t'_r(x)$  et des temps de rétention réduits  $t'_r(n)$  et  $t'_r(n+1)$  de 2 n-alcane linéaires respectivement à  $n$  et  $n+1$  carbonés, c'est-à-dire qui « entourent » la molécule à identifier. Dans ces conditions d'analyse :

$$I_{(x)} = 100 \cdot n + 100 \frac{\log t'_{r(x)} - \log t'_{r(n)}}{\log t'_{r(n+1)} - \log t'_{r(n)}}$$

Ensuite, les bases de données « Pherobase » et « Webbook NIST » ont été utilisées pour caractériser chaque composé volatil obtenu.

#### 4.3.1.6 Activité de l'eau

Les niveaux d'activité de l'eau des différents échantillons ont été mesurés à l'aide de l'« Aqualab Decagon CX3 ». Des échantillons de chaque poudre ont été placés dans de petits récipients en plastique munis de couvercles, remplis jusqu'à mi-hauteur. Ces échantillons ont ensuite été placés dans la chambre climatisée où se trouve l'Aqualab, pendant 30 minutes afin d'atteindre la même température que l'appareil. Avant utilisation, l'appareil a été étalonné avec de l'eau désionisée, visant une activité de l'eau de  $1 \pm 0,003$ . Ensuite, les échantillons ont été disposés sans couvercle un par un dans la chambre de l'Aqualab afin que l'appareil affiche l'activité de l'eau de l'échantillon ainsi que sa température. Trois répétitions ont été réalisées par échantillon.

### 4.3.2 Granulométrie

L'analyse granulométrique des échantillons de poudres de moringa et de lait a été réalisée en utilisant le granulomètre laser « Anton Paar PSA 1190 » par voie sèche. La technique de diffraction laser permet de mesurer les distributions granulométriques des particules en analysant la variation angulaire de l'intensité de la lumière diffusée lorsqu'un faisceau laser traverse un échantillon de particules dispersées. En effet, les particules de plus grandes tailles diffractent la lumière à de petits angles, tandis que les particules plus petites génèrent des intensités diffusées plus faibles à des angles plus importants. Les données sur l'intensité diffusée en fonction de l'angle sont ensuite analysées pour déterminer la taille des particules responsables de la diffraction, en utilisant la théorie de Mie. La taille des particules est ainsi définie comme étant le diamètre de la sphère équivalente possédant le même volume que la particule considérée. Trois répétitions ont été réalisées par échantillon (160).

### 4.3.3 Microscopie optique

L'étude microscopique effectuée a permis l'observation des divers échantillons de poudres à l'aide d'un microscope optique « Nikon E400 » avec un grossissement de X20. Cette analyse microscopique a permis d'examiner en détail les caractéristiques morphologiques des échantillons, telles que la taille, la forme et la distribution des particules. La lumière polarisée a également été utilisée afin de révéler des structures internes et des détails de la poudre de la sphère broyée qui ne sont pas visibles avec de la lumière non polarisée, permettant de voir ce qui est cristallisé et donnant un meilleur contraste. Trois répétitions ont été réalisées par échantillon.

### 4.3.4 Densité apparente et tassée

Une étude de la densité apparente et tassée des poudres utilisées comme ingrédients de base, c'est-à-dire la poudre de moringa brute non tamisée et de la poudre de lait écrémé a été réalisée. Celles-ci sont versées à ras du bord dans un cylindre gradué dont le volume est connu. Le montage est pesé avant de tasser la poudre en tapant le cylindre 100 fois sur une surface plane, le plus plat possible. La hauteur de la poudre dans le cylindre est notée. Trois répétitions ont été réalisées par échantillon.

La densité apparente se calcule en divisant le poids de la poudre par le volume du cylindre gradué dans lequel elle se trouve. Cela permet ensuite de déterminer la densité tassée en multipliant la densité apparente par le rapport de la hauteur totale et de la hauteur après tassement de la poudre.

Par la suite, deux indices peuvent être précisés via la détermination de ces densités : l'indice de Carr et l'indice de Haussner. L'indice de Carr est défini comme une grandeur physique sans dimension qui caractérise l'aptitude à la compressibilité d'une poudre alors que l'indice de Haussner caractérise l'aptitude à l'écoulement d'une poudre.

### 4.3.5 Colorimétrie

L'analyse de la couleur des poudres de lait et de moringa et de la sphère broyée a été réalisée avec le spectrocolorimètre « Elscolab – Hunterlab - ColorFlex EZ avec Glass Sample Cup 64 mm » et le logiciel « EZMQC » nécessaire à l'exportation des données du colorimètre. Trois répétitions ont été réalisées par échantillon.

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

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

- b\* allant du bleu au jaune avec des valeurs de -120 à + 120 respectivement.

### 4.3.6 Texturométrie

L'analyse de la texture du produit final a été réalisée grâce au texturomètre « Stable Mico Systems TAXT2i – PLUS-UPGRADE ». Cette étude vise principalement à détecter le pic de fracture de la coque en chocolat blanc afin de caractériser sa fragilité. En effet, cette étude permet ainsi de connaître la force mesurée en Newton appliquée sur la sphère qui casse la couche superficielle en chocolat de celle-ci. Pour ce faire, une sonde de type SMSP/35 est utilisée.

Les échantillons sont placés au centre des modules du texturomètre pour être analysés à chaque fois au même endroit. De plus, le niveau de l'instrument est ajusté pour être au plus proche du produit. Afin d'avoir un produit de référence, trois Kinder Surprise de la marque « Kinder » ont été analysés. Puis, dix répétitions de l'échantillon ont été réalisées.

Les paramètres sont préalablement encodés dans le logiciel « Exponent » afin d'assurer la reproductibilité des analyses. Toutes les données concernant les analyses réalisées sont rassemblées dans le tableau 35. Les configurations des tests de texture suivent les valeurs recommandées par le guide d'utilisation du texturomètre.

Systeme	Sonde SMSP/35
Position de l'échantillon sur le support	Sphère placée au centre du support
Distance de mesure	8,000 mm
Vitesse pré-test	1,00 mm/sec
Vitesse de test	2,00 mm/sec
Vitesse post-test	5,00 mm/sec

Tableau 35 : Paramètres utilisés pour étudier la texture de la sphère.

### 4.3.7 Rhéologie

La rhéologie, ou la science qui étudie le comportement des matériaux déformables sous l'effet d'une contrainte, a été utilisée pour caractériser la viscosité de la boisson obtenue après dissolution de la sphère dans de l'eau chaude à 80 °C. Pour ce faire, le rhéomètre « Anton Paar – Modular Compact rheometer 302 » a été utilisé. Les comportements des fluides sont traduits par des courbes d'écoulement. Cet appareil est utilisé avec un cône plat CP50-1 possédant un diamètre de 50 mm et 1 °C de pente. La température est établie à 30 °C qui correspond à la température de dégustation estimée. Le gap entre le produit et le cône est fixé à plus ou moins dix fois la taille des plus grandes particules du produit, soit un gap de 0,102 mm. La viscosité d'une boisson de référence de type café gourmand soluble de la marque « Nescafé » a tout d'abord été étudiée puis trois répétitions de l'échantillon ont été réalisées. Les paramètres de réglages utilisés sont présentés dans le tableau 36.

Système	Cône plat CP50-1
Intervalle	1
Variabilité de la durée de mesure des points	15 à 2 sec
Points mesurés	100
Taux de cisaillement	0,1 à 100 1/sec log

Tableau 36 : Paramètres utilisés pour étudier la viscosité de la boisson.

### 4.3.8 Analyse physique

L'analyse physique des poudres comme ingrédients de base mais aussi de la sphère comme produit final permet de mesurer les propriétés d'hydratation décrites dans le point 2.4.2 de l'état de l'art.

#### 4.3.8.1 Mouillabilité

L'étude de la mouillabilité des poudres de moringa et de lait a été réalisée en mesurant le temps que 2 g d'échantillon prennent pour couler dans une quantité de 100 ml d'eau dans un berlin. Le chronomètre est démarré après avoir tapoté les échantillons placés sur un verre de montre sur le rebord du berlin. Cette méthode d'analyse provient d'une présentation de l'« Innovation Summit 2016 ». Trois répétitions ont été réalisées par échantillon.

#### 4.3.8.2 Solubilité

L'étude de la solubilité des différents échantillons de poudres mais également de la sphère broyée a été déterminée à 24 °C par une méthode adaptée de la norme AACC International Method 56-11.02 initialement pour les farines. Pour ce faire, une prise d'essai de 1g de chaque échantillon mélangé avec 10 ml d'eau distillée est placée dans un bain-marie agité « GFL 1083 » pendant 30 minutes puis centrifugé à 3100 g à l'aide de la centrifugeuse « Beckman Coulter Avanti J-E » pendant un temps identique. Le surnageant est prélevé puis une matière sèche est réalisée dessus. Trois répétitions ont été réalisées par échantillon.

#### 4.3.8.3 Dispersibilité

L'analyse de la dispersibilité des poudres et de la sphère broyée a été étudiée grâce à un agitateur « VWR – VOS 60 C S40 » avec tête L42/56 de 100 à 450 T/min et une tige avec 2 pales de 5 sur 1 cm. Deux grammes de chaque échantillon sont poussés au fur et à mesure dans le bécher contenant 100 g d'eau dans lequel tourne la pale grâce à l'agitateur. Le mélange est laissé agiter pendant 30 secondes puis il est filtré sur un tamis en versant celui-ci d'une hauteur de 50 mm. La dispersibilité se calcule ensuite comme le pourcentage de matière sèche d'une solution qui passe à travers ce tamis de 1mm d'ouverture. La matière sèche se réalise sur sable en prélevant 10 ml du filtrat. Cette méthode d'analyse provient d'une présentation de l'« Innovation Summit 2016 ». Trois répétitions ont été réalisées par échantillon.

#### 4.3.8.4 Coulabilité

La coulabilité des échantillons de poudres de moringa et de lait est déterminée en même temps que la mesure de densité. En effet, via l'indice de Carr et l'indice de Haussner calculés à partir des densités apparente et tassée, il est possible de déterminer la coulabilité d'une poudre. L'analyse de ces deux densités est décrite au point 4.3.3. Le tableau 37 décrit le caractère du flux en fonction des deux indices.

Indice de Carr	Indice de Haussner	Caractère du flux
<10	1,00-1,11	Flux excellent
11-15	1,12-1,18	Flux bon
16-20	1,19-1,25	Flux juste
21-25	1,26-1,34	Flux passable
26-31	1,35-1,45	Flux pauvre
32-37	1,46-1,59	Flux très pauvre
>38	>1,60	Flux très, très pauvre

Tableau 37 : Caractère du flux en fonction des indices de Carr et Haussner.

#### 4.3.8.5 Analyse de la dissolution de la sphère

La dissolution du produit final, c'est-à-dire de la sphère, a été étudiée. Pour ce faire, chaque sphère a été lâchée dans un berlin contenant 200 ml d'eau chaude à 80 °C. Les paramètres étudiés sont le temps de dissolution complet de la sphère et le temps de sédimentation de la poudre de moringa tamisée et lyophilisée. Le temps de dissolution correspond ainsi au moment où la sphère est complètement dissoute dans l'eau chaude alors que le temps de sédimentation coïncide au moment où toutes les particules visibles de la poudre de moringa ont sédimenté au fond du berlin formant une fine couche verte. Une spatule représentant un ustensile utilisé par le consommateur a été utilisée afin d'aider la dissolution. Trois répétitions ont été réalisées par échantillon.

#### 4.3.9 Analyse de l'évolution de l'aspect visuel de la sphère

Dans le but d'étudier l'évolution de l'aspect visuel du produit innovant, 6 demi-sphères ont été placées dans endroits du labo ayant des températures différentes pendant 60 jours : à 21 °C sur la paillasse, à 15 °C dans la réserve et à 2 °C dans le frigo. Dans chaque condition de température, une demi-sphère a été placée dans une boîte en plastique fermée et une autre laissée à l'air libre. Celles-ci ont été analysées régulièrement jusqu'à 60 jours.

## 4.4 Conception du produit innovant

Après avoir étudié les différentes caractéristiques des poudres, la conception du produit innovant a pu être développée. Ce point reprend les grandes étapes de la fabrication de celui-ci.

### 4.4.1 Formulation

Etant donné que dans le cahier des charges du projet transversal, une concentration de 5 g de poudre de moringa brute a été déterminée pour 200 ml de lait dans le mélange initial humide, plusieurs tests permettant d'évaluer la justesse de cette valeur ont été réalisés. La préparation du matcha et de produits similaires a servi de base pour déterminer celle-ci. Par la suite, des essais-erreurs ont permis de définir les quantités exactes des différents ingrédients. La capacité du volume de 20 ml des demi-sphères du moule utilisé a également dû être prise en compte.

La quantité du mélange interne dans une seule sphère a été déterminée à 10 g. La concentration de poudre de moringa tamisée et lyophilisée sélectionnée pour le mélange interne a été étudiée par appréciation de la saveur des boissons reconstituées, ce qui a permis de conclure qu'une concentration adéquate de poudre de moringa dans le mélange interne était de 25 %, soit 7,5 g de poudre de lait et 2,5 g de poudre de moringa tamisée lyophilisée

À côté de cela, les quantités d'ingrédients pour la coque d'une sphère (donc deux demi-sphères) sont de 5 g de poudre de lait, 0,66 g de poudre de moringa tamisée lyophilisée et 0,33 g de mycryo. Cependant, plusieurs sphères sont toujours réalisées en même temps car cela facilite le tempérage du chocolat. Les quantités d'ingrédients sont donc la plupart du temps calculées pour minimum 300 g de chocolat blanc, ce qui permet de réaliser plusieurs sphères en minimisant les pertes au maximum.

De la sorte, une sphère a un poids moyen de 28,5 g. En soustrayant les quantités de poudre de moringa, de poudre de lait et de mycryo se trouvant dans le mélange interne mais également dans la coque, la quantité de chocolat blanc peut être calculée par sphère. La quantité de 12,5 g de chocolat blanc est donc déterminée pour la coque d'une sphère.

Le tableau 38 récapitule la quantité de chaque ingrédient dans une sphère.

Ingrédients	Quantité pour une sphère (g)
Poudre de moringa tamisée lyophilisée	Mélange interne : 2,5
	Coque : 0,66
Poudre de lait écrémée 0 %	Mélange interne : 7,5
	Coque : 5
Chocolat blanc	Coque : 12,5
Mycryo	Coque : 0,33

Tableau 38 : Formulation.

Dans un but d'homogénéisation de la boisson après dissolution dans 200 ml d'eau chaude à 80 °C, deux additifs émulsifiants ont été testés : le tri-potassium phosphate et le polyphosphate de sodium.

Selon le Règlement (CE) n°1333/2008, ces deux émulsifiants sont acceptés dans les produits tels que le lait en poudre et le lait écrémé en poudre à une concentration de 2500 mg/kg (161). Ainsi, étant donné qu'une quantité totale de 12,5 g de poudre de lait est estimée par sphère en prenant en compte les quantités dans la coque mais également dans le mélange interne, 31,25 mg de ces deux additifs sont autorisés par sphère.

Un test a donc été mené dans un but de sélectionner l'émulsifiant ayant le plus d'effet avec une quantité la plus faible possible.

## 4.4.2 Préparation des matières premières

La préparation des matières premières est la première étape primordiale dans le processus de conception du produit innovant. En effet, si les étapes de préparation décrites ci-dessous ne sont pas réalisées, cela aura un impact sur les caractéristiques du produit final.

### 4.4.2.1 Tamisage de la poudre de moringa

Dans le cadre du projet, le tamisage permet de concentrer les particules de poudre de moringa ayant une taille sous un certain seuil. Ainsi, seule une fraction des particules de la poudre de moringa étant tamisées est gardée pour la suite du processus. Le tamisage de la poudre de moringa est réalisé dans un objectif de diminuer la sensation de grumeaux en bouche. Cette technique de caractérisation de la taille des particules est plus amplement expliquée au point 2.5.1.

Le tamis utilisé pour tamiser la poudre de moringa possède une taille de maille de 150  $\mu\text{m}$ . Un test visant à sélectionner ce tamis a été réalisé. Celui se trouve en annexe 1. 100 g de poudre de moringa placés sur la partie supérieure du tamis, sont agités pendant un temps de 5 minutes, pendant 2 cycles avec 20 sec d'intervalle avec une amplitude de 2,3 mm, en utilisant le tamiseur « Fritsch Analysette 3 PRO ».



Figure 9 : Tamiseur de la marque « Fritsch ».

### 4.4.2.2 Mélange des poudres

Le mélange avec une bonne proportion des poudres de lait et de moringa est réalisé à l'aide d'une balance trébuchet « KERN PCB 2000-2B ». La quantité de chaque poudre doit être correctement pesée

car cela aura un impact au niveau gustatif. Dans un objectif de lyophiliser le mélange par la suite, un simple contenant comme des barquettes en aluminium de 21 cm x 16 cm x 4 cm est utilisé afin de réaliser le mélange. Ainsi, 12,5 g de poudre de moringa tamisée avec 37,5 g de poudre de lait pour un total de 50 g sont placés dans une barquette.

### 4.4.2.3 Lyophilisation

La lyophilisation du mélange des poudres de moringa et de lait est réalisée après le tamisage de la poudre de moringa mais également après le mélange des poudres à la bonne concentration. Cette étape de lyophilisation permet d'améliorer l'instantanéité des poudres utilisées, en particulier celle de la poudre de moringa. La théorie concernant cette technique est décrite en détail au point 2.5.2 de l'état de l'art.

La lyophilisation du mélange se fait à l'aide du lyophilisateur « Martin Christ Gamma 2-16 LSCplus ». Le mélange est lyophilisé dans des barquettes en aluminium de 21 cm x 16 cm x 4 cm, déjà utilisées pour réaliser le mélange des deux poudres dans les bonnes proportions. Plusieurs barquettes contenant le mélange de 50 g de poudres peuvent être lyophilisées en même temps. Cette quantité de poudre est adaptée en tenant compte du fait qu'un maximum de poudre entre en contact avec l'air.

## 4.4.3 Conception de la sphère

### 4.4.3.1 Tempérage du chocolat blanc

Après la préparation de tous les ingrédients nécessaires à la conception du produit, le tempérage du chocolat est tout d'abord effectué afin de réaliser les coques en chocolat blanc. Comme décrit au point 2.1.6.4, la courbe de tempérage doit être suivie afin d'obtenir un moulage optimal et des coques de chocolat de meilleure qualité possible. Comme expliqué dans le point concernant la formulation, une quantité de 300 g de chocolat blanc est souvent utilisée, ce qui permet de travailler au mieux le chocolat et d'obtenir plusieurs sphères en minimisant les pertes.

Pour ce faire, un premier bain-marie « GFL 1083 » est chauffé à 50 °C. Une quantité de 300 g de chocolat blanc est pesée sur balance classique et fondue pendant 35-40 minutes afin d'atteindre sa température de fonte à 45-50 °C. Puis, 6 g de poudre de moringa tamisée lyophilisée et 45 g de poudre de lait écrémé 0 % y sont introduites tout en mélangeant afin d'obtenir un mélange homogène de couleur verte.



Figure 10 : Ingrédients nécessaires : 300 g de chocolat blanc, 6 g de moringa, 45 g de poudre de lait écrémé 0 %, 3 g de mycryo.



*Figure 11 : Chocolat blanc fondu à sa température de fonte : 45-50 °C.*

La poudre de lait écrémé 0 % et la poudre de moringa tamisée lyophilisée sont rajoutées au chocolat fondu juste après l'avoir sorti du bain-marie. Ensuite, le mélange est refroidi à température ambiante jusqu'à 35 °C, où le mycryo est rajouté. La quantité de ce beurre de cacao correspond à 1 % de la quantité de chocolat. Le mélange est à nouveau refroidi, toujours à température ambiante, jusqu'à sa température de travail, c'est-à-dire 26,5-27,5 °C où celui-ci est coulé dans le moule.



*Figure 12 : Mélange du chocolat blanc fondu avec la poudre de moringa tamisé lyophilisée, la poudre de lait écrémé 0 % et incorporation du mycryo.*

#### 4.4.3.2 Moulage du chocolat blanc

Le moule utilisé pour réaliser les coques en chocolat blanc vendu par le magasin « Bruyère » est de la marque « Silikomart », porte le code SF005 et correspond à un tapis en silicone à base de platine flexible de couleur rouge comportant 15 demi-sphères. Les dimensions de celles-ci sont de 4 cm de diamètre et 2 cm de profondeur et ont une capacité de volume de 20 ml.

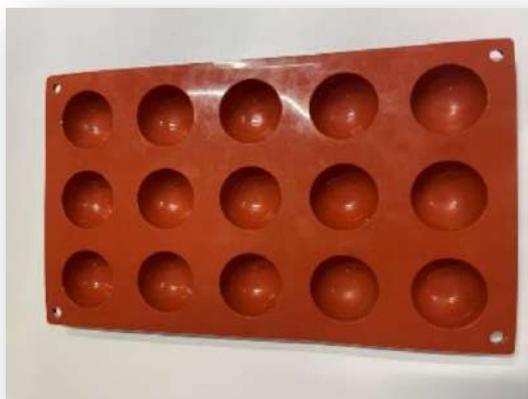


Figure 13 : Moule de la marque « Silikomart ».

Le chocolat est coulé de manière à remplir complètement les demi-sphères du moule. Ensuite, le moule est retourné sur du papier cuisson posé sur une grille pour laisser écouler l'excès de chocolat, ne conservant qu'une fine couche sur les parois des demi-sphères. Le chocolat est ensuite refroidi à 15-20 °C.

#### 4.4.3.3 Remplissage des demi-sphères

Une fois le chocolat durci, les coques de chocolat blanc peuvent être remplies du mélange réalisé en amont de poudres lyophilisées jusqu'à la surface de la demi-sphère. Pour rappel, le mélange interne d'une sphère correspond à 2,5 g de poudre de moringa tamisée et 7,5 g de poudre de lait écrémé 0 %.

#### 4.4.3.4 Fermeture des demi-sphères

Les demi-sphères de chocolat blanc remplies sont ensuite fermées par du chocolat blanc restant, afin d'obtenir des dômes fermés. En effet, le chocolat blanc a été réchauffé à sa température de fonte puis refroidi à sa température de travail avant d'être coulé.

Les dômes formés sont refroidis à température ambiante avant d'être démoulés. Ceux-ci sont finalement soudés en les passant sur une surface chaude telle que la face d'un moule en inox. En effet, le moule est plongé dans le bain-marie à 80 °C pendant 10 minutes puis séché avant d'être utilisé. Les dômes soudés ensemble, les sphères sont ainsi réalisées.

#### 4.4.3.5 Stockage, conditionnement et distribution

Les sphères réalisées sont ensuite stockées dans une pièce à 15-20 °C avant d'être utilisées pour les différentes analyses. Néanmoins, en dehors du cadre de ce travail, les sphères devraient être directement conditionnées dans un packaging adapté puis stockées dans des conditions optimales avant d'être distribuées.

#### 4.5 Diagramme de fabrication du produit innovant

Le diagramme de fabrication du produit innovant présenté à la figure 14 reprend toutes les étapes de la fabrication des sphères, de la réception des matières premières jusqu'au transport vers le lieu de distribution.

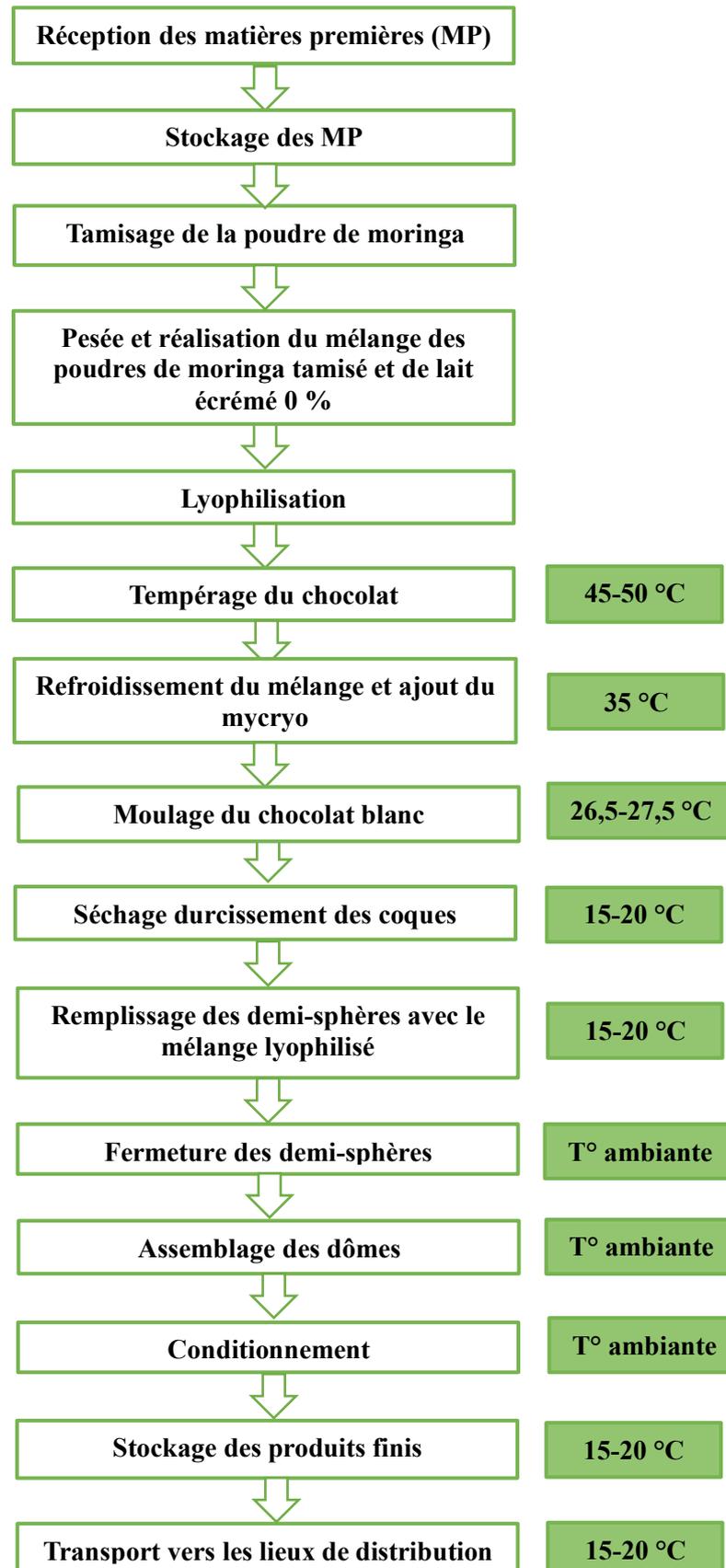


Figure 14 : Diagramme de fabrication du produit innovant.

# 5 Résultats et discussion

## 5.1 Caractérisation des matières premières et du produit fini

### 5.1.1 Analyse chimique

#### 5.1.1.1 Matière sèche

Les résultats de l'étude de la matière sèche des différents échantillons de poudres de moringa et de lait mais également de la sphère broyée se trouvent au tableau 40. Ceux-ci montrent clairement que la lyophilisation des différentes poudres augmente le pourcentage de matière sèche. Les détails des calculs sont décrits dans l'annexe 7. Les données sont en adéquation avec celles de la littérature (84,162,163).

Échantillons	Matière sèche (%)	Écart-type
Poudre de moringa brute non lyophilisée	90,8	0,1
Poudre de moringa brute lyophilisée	96,0	0,1
Poudre de lait brute non lyophilisée	97,1	0,1
Poudre de lait brute lyophilisée	99,3	0,0
Poudre de moringa tamisée non lyophilisée	89,4	0,1
Poudre de moringa tamisée lyophilisée	95,9	0,4
Mélange lyophilisé de poudre de lait et de poudre de moringa tamisée	99,4	0,0
Sphère broyée	97,9	0,1

Tableau 40 : Résultats de l'étude des teneurs en matière sèche.

#### 5.1.1.2 Cendres

Les résultats de l'étude des cendres des différents échantillons de poudres de moringa et de lait se trouvent au tableau 41. Ces données sont en adéquation avec celles de la littérature (84,164).

Cependant, la teneur en cendres de la poudre de moringa brute non lyophilisée est plus faible que les autres teneurs du fait que l'analyse a été réalisée sur un lot différent à une date antérieure que les autres échantillons. Les détails des calculs sont décrits dans l'annexe 7.

De plus, une légère augmentation des valeurs des échantillons lyophilisés est observée. Cela peut être expliqué par le fait que le pourcentage de cendres est calculé par rapport au poids total du produit sec, la réduction du poids total due à la perte d'eau conduit à une augmentation apparente du pourcentage de cendres. En d'autres termes, la concentration des éléments minéraux reste constante, mais comme l'eau a été retirée, le pourcentage relatif de ces minéraux par rapport au poids total sec augmente (57).

Échantillons	Cendres (%)	Écart-type
Poudre de moringa brute non lyophilisée	7,1	0,0
Poudre de moringa brute lyophilisée	10,4	0,1
Poudre de lait brute non lyophilisée	7,7	0,0
Poudre de lait brute lyophilisée	7,8	0,0
Poudre de moringa tamisée non lyophilisée	10,1	0,0
Poudre de moringa tamisée lyophilisée	10,8	0,0
Mélange lyophilisé de poudre de lait et de poudre de moringa tamisée	8,6	0,1
Sphère broyée	4,1	0,1

Tableau 41 : Résultats de l'étude des teneurs en cendres.

### 5.1.1.3 Protéines

Les résultats de l'analyse des teneurs en protéines se trouvent dans le tableau 42. Les détails des calculs sont décrits dans l'annexe 7. La lyophilisation et le tamisage n'ont pas d'impact sur les teneurs en protéines. Ces données sont en adéquation avec celles de la littérature (84,165). Néanmoins, une teneur de 20,0 % dans le produit final avait été calculée à partir des étiquettes des ingrédients utilisés détaillées au point 4.1 alors que seulement 16,93 % ont été réellement analysé dans la sphère broyée.

Échantillons	Protéines (%)	Écart-type
Poudre de moringa brute non lyophilisée	26,67	0,16
Poudre de moringa tamisée lyophilisée	27,55	0,56
Poudre de lait brute non lyophilisée	36,82	0,35
Poudre de lait lyophilisée	36,67	0,97
Mélange lyophilisé de poudre de lait et de poudre de moringa tamisée	33,93	0,38
Sphère broyée	16,93	0,41

Tableau 42 : Résultats de l'étude des teneurs en protéines.

### 5.1.1.4 Matières grasses

L'étude de la matière grasse a été réalisée uniquement sur le produit final, la sphère broyée. La matière grasse provient majoritairement du chocolat blanc et du mycryo. Une teneur de 18,5 % de matières grasses dans le produit final avait été calculée à partir des étiquettes des ingrédients utilisés, soit un peu moins que les pourcentages de matières grasses obtenu par analyse, c'est-à-dire de 20,24 %.

Échantillon	Matière grasse (%)	Écart-type
Sphère broyée	20,24	0,40

Tableau 43 : Résultat de l'étude de la matière grasse de la sphère broyée.

### 5.1.1.5 Composés aromatiques

L'analyse des composés aromatiques réalisée sur la poudre de moringa brute uniquement révèle un certain nombre de molécules détectées. Le tableau 44 récapitule toutes les informations concernant les arômes retrouvés dans la poudre, en détaillant tout d'abord le nom des différentes molécules retrouvées, leur numéro d'identification CAS ainsi que leur temps de rétention obtenu dans la colonne. Leur indice de rétention a été calculé à l'aide de la formule présentée au point 4.3.1.5 et comparé à un indice de rétention trouvé dans les mêmes conditions d'expérience dans la littérature scientifique sur la base de données « Webbook NIST ». De plus, la base de données « Pherobase » donne la note du goût ainsi que l'occurrence dans les plantes et les fleurs de chaque molécule.

N° molécule	Nom molécule (librairie/ID)	(RT-min)	CAS	IR (calculé)	IR (Bib.)	Note du goût (Pherobase)	Occurrence dans les plantes/fleurs (Pherobase)
2	Sulfure de diméthyle	4,28	75-18-3	656,41	533.7 Miller and Bruno, 2003	Gaz, Fruité, Soufre, Soupe de légumes, Chou, Moisi	Coriandre, oignon, géranium rosat, niaouli, truffe P rigord <a href="#">Composé végétal : Sulfure de diméthyle   C2H6S</a> (pherobase.com)
3	Benzaldéhyde	10,15	000100-52-7	898,51	936. Mevy, Bessiere, et al., 2006	Sucre brûlé, Amande, Boisé	Fenouil de mer, jonquille, taro... <a href="#">Composé végétal : Benzaldéhyde   C7H6O</a> (pherobase.com)
4	6-méthyl-5-hepten-2-one (sulcatone)	10,09	110-93-0	960,94	986 Lucero, Fredrickson, et al., 2006	Champignon, Terreux, Vinyle, Caoutchouteux, Boisé, Cassis, Fruits bouillis	Coriandre, iris florentin, Tazette <a href="#">Composé végétal : 6-méthyl-5-hepten-2-one   C8H14O</a> (pherobase.com)
5	1,3-diméthyltrisulfane	10,38	003658-80-8	904,79	978. Lozano P.R., Drake M., et al., 2007	Nourriture pourrie, Soufre, Poisson, Chou-fleur, Chou, Oignon	Coriandre, oignon, ail, caroube... <a href="#">Composé végétal : 1,3-diméthyltrisulfane   C2H6S3</a> (pherobase.com)
6	Acide acétique	12,90	64-19-7	1034,87	646 Lozano P.R., Drake M., et al., 2007	Aigre, vinaigre, piquant	Taro, arbre à persil, orchidée samouraï... <a href="#">Plant Compound: Acetic acid   C2H4O2</a> (pherobase.com)
7	Octan-1-ol	14,43	000111-87-5	1074,21	1078. Ramarathnam, Rubin, et al., 1993, 2	Métallique, Soufrée, Allumettes brûlées, Pain grillé, Herbacé, Gras, Vert, Floral	Coriandre, fenouil de mer, Panais, Iris florentin ... <a href="#">Composé végétal : Octan-1-ol   C8H18O</a> (pherobase.com)
8	1,2,4-Trithiolane	14,92	000289-16-7	1085,93	1127. Madruga and Mottram, 1998	Rôti de bœuf	Palmiers <a href="#">Le composé floral de la phérobase : 1,2,4-trithiolane (C2H4S3)</a> (pherobase.com)

15	Acide isovalérique	18,07	503-74-2	1169,20	867 Scheidig, Czerny, et al., 2007	Sueur, fromageux, rance	Plantes exotiques (banane, papaye, mangue) <a href="#">Plant Compound: 3-Methylbutanoic acid   C5H10O2</a> (pherobase.com)
9	2,3,5-trithiahexane	16,37	042474-44-2	1124,06	1147. Cajka, Hajslova, et al., 2007	/	Palmiers <a href="#">Le composé floral de la phérobase : 2,3,5-trithiahexane (C3H8S3)</a> (pherobase.com)
10	1,3-diméthoxybenzène	17,75	000151-10-0	1161,04	1181.9 Tret'yakov, 2008	Doux, Médicinal, Résineux, Boisé, Noisette	Joewood et barbasco <a href="#">Le composé floral de la phérobase : 1,3-diméthoxybenzène (C8H10O2)</a> (pherobase.com)
11	4-Éthylbenzaldéhyde	17,99	004748-78-1	1167,17	1730. Schirack, Drake, et al., 2006	Fruité, Anis, Menthe	Camomille et Pervenche de Madagascar <a href="#">Composé végétal : 4-éthylbenzaldéhyde   C9H10O</a> (pherobase.com)
12	Tétradécane	25,48	000629-59-4	1374,59	1399. Adams RP et al, 1995	Doux, à base de plantes, sucré, semblable à un fusel	Moutarde brune, Persil, Valériane... <a href="#">Plant Compound: Tetradecane   C14H30</a> (pherobase.com)
13	Alpha-ionone	26,52	000127-41-3	1403,90	1429. Nickavar, Salehi-Sormagi, et al., 2002	Floral, Violette, Boisé, Fruité	Céleri, Thym, Basilic, Vassoura... <a href="#">Composé végétal : (E)-4-(2,6,6-Triméthylcyclohex-2-ényl)-3-butène-2-one   C13H20O</a> (pherobase.com)
14	2(4H)-benzofuranone, 5,6,7,7a-tétrahydro-4,4,7a-triméthyl-	30,06	015356-74-8	1513,85	1537. Ansorena, Astiasarán, et al., 2000	Doux, Floral, Thé, Tabac	Coriandre, mélisse... <a href="#">Composé végétal : (R)-5,6,7,7a-tétrahydro-4,4,7a-triméthyl-2(4H)-benzofuranone   C11H16O2</a> (pherobase.com)

Tableau 44 : Résultats de l'étude des composés aromatiques de la poudre de moringa brute.

### 5.1.1.6 Activité de l'eau

Les résultats de l'étude de l'activité de l'eau des différents échantillons de poudres de moringa et de lait se trouvent au tableau 45. Les résultats montrent que la lyophilisation des différentes poudres réduit leur activité de l'eau. Ainsi, ces résultats sont à mettre en lien avec l'analyse microbiologique mais également avec les tests de vieillissement du produit innovant. En effet, l'activité de l'eau de la sphère broyée correspond bien ici à la mesure au temps 0.

Échantillons	A <sub>w</sub>	Écart-type	Température (C°)
<b>Poudre de moringa brute non lyophilisée (lot3)</b>	0,33	0,02	22,8
<b>Poudre de moringa brute lyophilisée</b>	0,07	0,00	23,1
<b>Poudre de lait brute lyophilisée</b>	0,07	0,00	23,1
<b>Poudre de moringa tamisée non lyophilisée</b>	0,42	0,01	22,6
<b>Poudre de moringa tamisée lyophilisée</b>	0,07	0,00	22,9
<b>Mélange lyophilisé de poudre de lait et de poudre de moringa tamisée</b>	0,07	0,00	22,7
<b>Sphère broyée</b>	0,21	0,00	23,0

Tableau 45 : Résultats de l'étude de l'activité de l'eau.

La valeur de l'activité de l'eau de la poudre de moringa tamisée non lyophilisée est plus haute que les autres valeurs, à 0,42, comme le tableau précédent le montre. En effet, le tamisage peut augmenter l'activité de l'eau d'une poudre en raison de plusieurs facteurs. Ce processus réduit la taille des particules, augmentant ainsi la surface spécifique et facilitant une plus grande interaction avec l'humidité ambiante. En brisant les agglomérats et redistribuant l'humidité de manière plus uniforme, de nouvelles surfaces internes sont exposées, ce qui accroît l'adsorption d'eau. De plus, l'aération provoquée par le tamisage favorise encore l'absorption de l'humidité (57).

### 5.1.2 Granulométrie

Les résultats de l'analyse granulométrique des différents échantillons de poudres de moringa et de lait se trouvent au tableau 46. Ceux-ci montrent que le tamisage de la poudre de moringa avec un tamis dont les pores ont une taille de 150  $\mu\text{m}$  réduit bien la taille moyenne des particules. La lyophilisation n'a aucun effet sur ce paramètre. Ces données sont en adéquation avec celles de la littérature (84,165).

Une hypothèse émise pour améliorer l'instantanéité de la poudre de moringa était de choisir une autre marque de poudre ayant une plus faible granulométrie. Néanmoins, la poudre de moringa de la marque « Iswari » achetée chez « Biocap » n'a pas donné de meilleurs résultats et cette piste a donc été abandonnée.

Échantillons	D10	D50	D90	Taille moyenne ( $\mu\text{m}$ )
Poudre de moringa brute non lyophilisée (Médi-Market)	8,41 $\pm$ 0,10	79,67 $\pm$ 1,08	231,60 $\pm$ 1,89	109,76 $\pm$ 1,09
Poudre de moringa brute non lyophilisée (Biocap)	7,83 $\pm$ 0,05	63,42 $\pm$ 0,67	234,27 $\pm$ 0,63	102,82 $\pm$ 0,55
Poudre de moringa brute lyophilisée	9,42 $\pm$ 0,08	52,81 $\pm$ 0,19	208,10 $\pm$ 1,38	90,21 $\pm$ 0,45
Poudre de lait brute non lyophilisée	34,41 $\pm$ 0,27	88,21 $\pm$ 0,22	161,71 $\pm$ 0,50	97,83 $\pm$ 0,29
Poudre de lait brute lyophilisée	34,90 $\pm$ 0,05	88,12 $\pm$ 0,14	160,81 $\pm$ 0,39	97,62 $\pm$ 0,17
Poudre de moringa tamisée non lyophilisée	8,57 $\pm$ 0,03	43,17 $\pm$ 0,07	119,15 $\pm$ 0,27	57,29 $\pm$ 0,10
Poudre de moringa tamisée lyophilisée	8,50 $\pm$ 0,12	41,85 $\pm$ 0,10	115,85 $\pm$ 0,59	55,74 $\pm$ 0,17
Mélange lyophilisé de poudre de lait et de poudre de moringa tamisée	13,53 $\pm$ 0,02	67,73 $\pm$ 0,04	144,18 $\pm$ 0,12	77,36 $\pm$ 0,05

Légende : Moyenne  $\pm$  2 écarts-types.

Tableau 46 : Résultats de l'analyse granulométrique des matières premières.

### 5.1.3 Densité et coulabilité

Les résultats de l'étude de la densité et de la coulabilité des échantillons de poudres de moringa et de lait se trouvent au tableau 47. Ces données sont en adéquation avec celles de la littérature (84,165).

Échantillons	Densité apparente	Densité tassée	Indice de Carr	Indice de Haussner	Coulabilité
Poudre de moringa brute non lyophilisée	0,3814	0,4924	26,5467	1,2909	Passable
Poudre de lait brute non lyophilisée	0,4983	0,5671	12,1333	1,1384	Bonne

Tableau 47 : Résultats de l'étude de la densité et de la coulabilité des matières premières.

### 5.1.4 Colorimétrie

Les résultats de l'étude de la couleur des différents échantillons de poudres se trouvent au tableau 48. En fonction du lot de poudre de moringa acheté, la couleur pouvait varier. De plus, entre les marques, la poudre de moringa peut également avoir une couleur différente. En effet, la poudre de moringa de la marque « Iswari » achetée au magasin « Biocap » n'a pas les mêmes valeurs colorimétriques que la poudre de moringa de la marque « Purasana » achetée au magasin « Médi-Market ». Référencer ces valeurs de colorimétrie au schéma présenté à l'annexe 11 est nécessaire pour positionner les couleurs exactes des poudres et les comparer entre elles.

Le tamisage et la lyophilisation n'ont pas de conséquence sur la couleur des poudres.

La couleur de la boisson a également été analysée.

Échantillons	L*	a*	b*
<b>Poudre de moringa brute non lyophilisée (lot1 Médi-Market)</b>	53,31 ± 0,04	-6,28 ± 0,01	30,62 ± 0,01
<b>Poudre de moringa brute non lyophilisée (lot2 Médi-Market)</b>	51,97 ± 0,08	-4,84 ± 0,01	30,46 ± 0,04
<b>Poudre de moringa brute non lyophilisée (Biocap)</b>	50,35 ± 0,09	-7,49 ± 0,02	31,42 ± 0,01
<b>Poudre de moringa brute lyophilisée</b>	49,43 ± 0,03	-0,7 ± 0,015	34,04 ± 0,092
<b>Poudre de lait brute lyophilisée</b>	93,96 ± 0,02	-3,34 ± 0,02	17,29 ± 0,12
<b>Poudre de moringa tamisée non lyophilisée</b>	49,87 ± 0,17	-0,73 ± 0,03	34,22 ± 0,56
<b>Poudre de moringa tamisée lyophilisée</b>	49,82 ± 0,05	-0,71 ± 0,01	42,74 ± 0,01
<b>Mélange lyophilisé de poudre de lait et de poudre de moringa tamisée</b>	59,64 ± 0,11	-0,99 ± 0,01	27,39 ± 0,05
<b>Sphère broyée</b>	61,89 ± 0,18	-1,27 ± 0,11	25,65 ± 0,08
<b>Boisson</b>	51,55 ± 1,25	-2,44 ± 0,35	31,43 ± 0,52

Tableau 48 : Résultats de l'étude de la couleur.

Légende : Moyenne ± 2 écarts-types.

### 5.1.5 Texturométrie

La texturométrie a été étudiée uniquement sur le produit final, c'est-à-dire sur la sphère. Les résultats de texturométrie se trouvent dans le tableau 49. Etant donné que l'analyse est peu reproductible, 10 répétitions de l'analyse ont été réalisées. Cela est clairement visible au vu de la non-précision des résultats et du large écart-type calculé. Une explication possible serait que les sphères n'ont pas toutes la même épaisseur de chocolat étant donné la difficulté de la réalisation manuelle du coulage du chocolat dans les moules de demi-sphères. Le résultat de la sphère n°1 a été enlevé de la moyenne étant donné sa valeur trop basse et écartée comparée aux autres.

La force à appliquer pour casser la coque en chocolat des sphères est plus élevée que celle pour briser le produit référent, c'est-à-dire les trois « Kinder Surprises ». Cela peut s'expliquer par exemple par la couche plus épaisse de chocolat coulée dans les moules.

Plusieurs facteurs affectent néanmoins la texturométrie du chocolat et peuvent expliquer les différences entre la texture du produit référent et du produit innovant.

Tout d'abord la composition du chocolat, notamment la teneur en cacao, la quantité et le type de matière grasse telle que le beurre de cacao mais aussi la proportion de sucre, de lécithine et d'autres ingrédients ajoutés influencent la structure, la texture et la résistance du chocolat (154,166).

De plus, la cristallisation et le tempérage affectent également la friabilité. En effet, une cristallisation correcte du beurre de cacao est essentielle pour obtenir une texture homogène. Le tempérage du chocolat vise à obtenir la forme cristalline la plus stable (cristaux  $\beta$ ) pour assurer une bonne casse. Ainsi, un chocolat bien tempéré présente une structure cristalline stable, influençant directement sa friabilité et son éclat. Le taux de refroidissement après le tempérage peut également affecter la formation des cristaux et, par conséquent, la structure et la fragilité du chocolat (154,166).

Enfin, les conditions environnementales comme la température et l'humidité ont également un impact sur la texture. La température peut affecter la consistance et la fragilité du chocolat : un chocolat à température plus élevée sera plus souple, tandis qu'à température plus basse, il sera plus cassant. L'humidité peut aussi influencer la texture du chocolat en modifiant la teneur en eau et la structure cristalline (154,166).

Pour obtenir une meilleure idée des résultats, comparer les valeurs typiques d'un chocolat bien tempéré et de haute qualité est utile. Pour un chocolat noir bien tempéré, la force de rupture peut varier entre 30 et 70 N, selon la teneur en cacao et le processus de fabrication. Le chocolat au lait et le chocolat blanc, contenant plus de matières grasses et de sucre, peuvent avoir des valeurs de force de rupture légèrement inférieures, typiquement entre 20 et 50 N (154,166).

Etant donné que le but de cette étude de texturométrie est d'étudier la fragilité des sphères dans l'optique de les protéger au maximum dans leur packaging, évaluer la force nécessaire à appliquer lorsque celles-ci sont conditionnées pourrait être intéressant.

Échantillon	Force (N)	Distance (mm)	Temps (sec)
Référence 1	31,04	2,09	1,04
Référence 2	32,03	1,98	0,99
Référence 3	36,78	2,068	1,035
Sphère 1	41,51 (pas pris en compte dans la moyenne car trop basse et différente des autres)	1,179	0,59
Sphère 2	77,92	1,219	0,61
Sphère 3	100,22	1,209	0,605
Sphère 4	78,20	1,368	0,685
Sphère 5	111,58	0,709	0,355
Sphère 6	66,69	2,218	1,11
Sphère 7	98,82	1,219	0,61
Sphère 8	112,62	1,369	0,685
Sphère 9	85,30	0,899	0,45
Sphère 10	73,62	1,858	0,93
<b>Moyenne</b>	<b>89,44 ± 16,87</b>		

Tableau 49 : Résultats de l'étude de la texture de la sphère.

### 5.1.6 Rhéologie

Seuls les graphiques de la viscosité ont été repris du logiciel. Ceux-ci se trouvent à la figure 15. Les résultats de la rhéologie de la boisson finale après dissolution de la sphère dans de l'eau chaude à 80 °C montrent que la boisson reste très liquide à 30 °C.

Les valeurs du premier graphique démontrent comment la boisson devient moins visqueuse à des taux de cisaillement plus élevés. Sa viscosité change en fonction de la force appliquée ou du changement de température ce qui correspond ainsi à la définition d'un fluide non-newtonien. Les valeurs de viscosité moyennes en Pa·s pour différents taux de cisaillement sont de 45 Pa·s à 0.5 Pa·s.

Le deuxième graphique compare la viscosité de la boisson avec celle de la boisson référente. La viscosité initiale du liquide est plus élevée que celle du produit de référence. Ainsi, le graphique indique que bien que les deux échantillons présentent un comportement similaire de diminution de la viscosité avec le taux de cisaillement. La boisson étudiée a néanmoins une viscosité légèrement plus élevée à des taux de cisaillement plus élevés que la référence. Afin de pouvoir comparer les résultats obtenus, les valeurs de viscosité du lait écrémé à 30°C ont été reprises du logiciel étant donné que celui-ci a déjà pu être étudié précédemment par un autre étudiant. Les valeurs se trouvent dans le tableau 50 pour un taux de cisaillement de 0,1 1/s. La viscosité du chocolat blanc de la marque « Veliche » figure également sur sa fiche technique.

<b>Boissons (30°C)</b>	<b>Viscosité à un taux de cisaillement de 0,1 1/s (Pa·s)</b>
Lait écrémé (Moyenne des trois échantillons « hot milk 30 »)	1483,6
Boisson (Moyenne des trois échantillons « moringa »)	166,2
Référence (Échantillon « référence 1 »)	46,5

Tableau 50 : Valeurs de viscosité à 30 °C.

De manière générale, plusieurs facteurs tels que la teneur en matières grasses ou la température affectent la viscosité d'une boisson. La viscosité augmente avec la teneur en matières grasses. Un lait entier (environ 3.5 % de matières grasses) est donc plus visqueux qu'un lait écrémé (moins de 0.5 % de matières grasses). De plus, la viscosité d'une boisson diminue avec l'augmentation de la température. Étudier la viscosité du latte instantané en fonction de la température aurait également été intéressant (167).

La comparaison des valeurs de viscosité à 30°C du tableau 50 révèle que la boisson est moins visqueuse et plus liquide que le lait écrémé. Une explication à cela est que le lait écrémé contient des protéines et des graisses contribuant à sa texture, tandis que la boisson, à base de poudre de lait ayant subi un processus de séchage, ne contient plus de graisse et a vu ses constituants modifiés.

D'autres explications pratiques aux valeurs ci-dessus sont la quantité d'eau ajoutée à la sphère et au produit de référence pour les diluer ou encore l'homogénéisation de la boisson avant l'analyse.

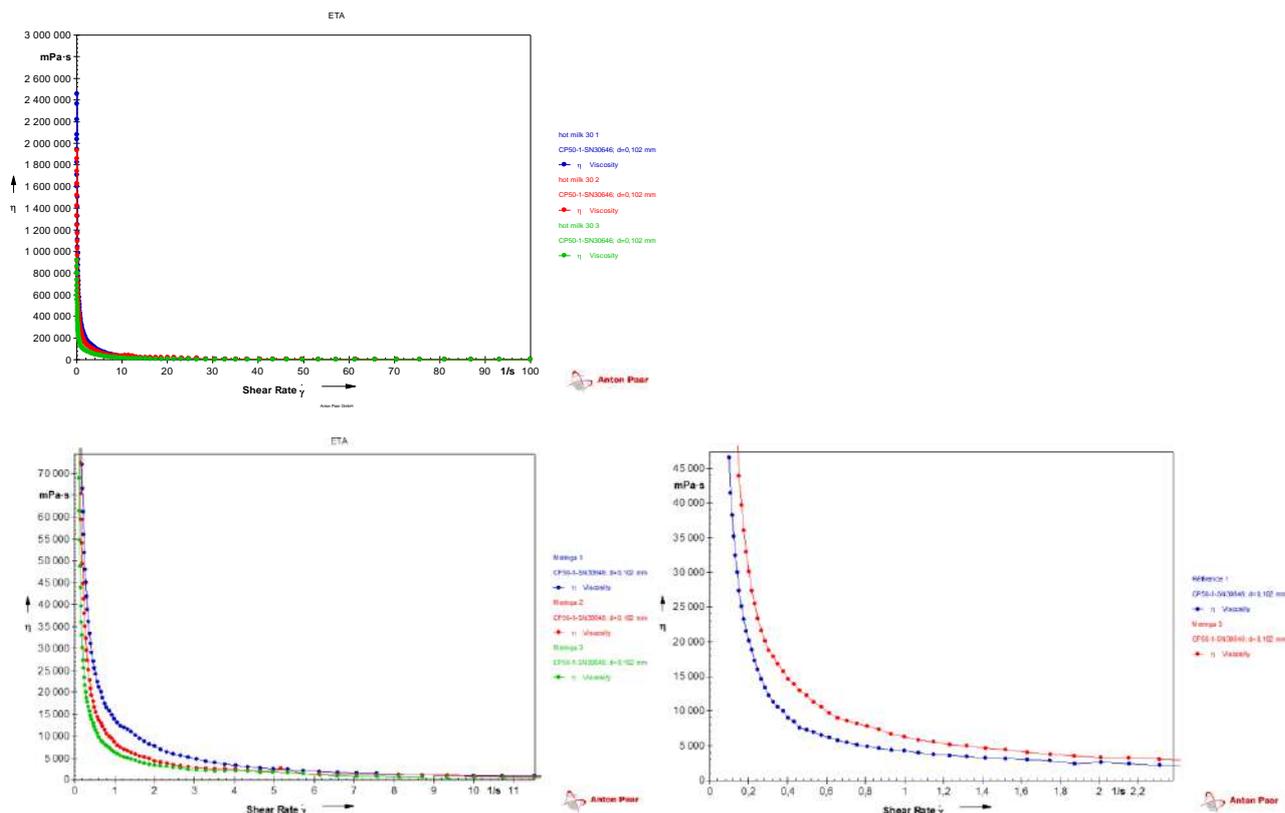


Figure 15 : Résultats de l'étude de la texture.

## 5.1.7 Analyse physique

### 5.1.7.1 Mouillabilité

Les résultats de l'étude de la mouillabilité des différents échantillons de poudres de moringa et de lait se trouvent au tableau 51. Ceux-ci montrent que la lyophilisation n'a pas d'impact sur la mouillabilité de manière générale, voire augmente le temps de mouillabilité de la poudre de lait. En effet, cette expérience est peu répétable car cette dernière comporte de nombreux biais. Ainsi, la mouillabilité du lait peut être considérée comme bonne. La mouillabilité du lait non lyophilisé est considérée comme meilleure que celle du lait lyophilisé.

De plus, la poudre de moringa tamisée n'a pas une meilleure mouillabilité que la poudre de moringa brute. Le tamisage n'a donc pas d'impact significatif sur la mouillabilité.

Enfin, la mouillabilité du mélange de poudres lyophilisées est surtout due à celle de la poudre de lait.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer pourquoi parfois la lyophilisation n'améliore pas la mouillabilité d'une poudre. Ces facteurs incluent la nature du matériau, les conditions de lyophilisation, la composition chimique, la gestion post-lyophilisation et les propriétés du liquide de réhydratation. Par exemple, une structure initiale dense, des paramètres de lyophilisation inappropriés, des modifications de surface rendant les particules hydrophobes, l'agglomération des particules ou une exposition à l'humidité après lyophilisation peuvent tous contribuer à une mouillabilité réduite (57).

Échantillons	Moyenne temps (sec)
Poudre de moringa brute non lyophilisée	>600 (10 minutes)
Poudre de moringa brute lyophilisée	>600 (10 minutes)
Poudre de lait brute non lyophilisée	17,53
Poudre de lait brute lyophilisée	30,60
Poudre de moringa tamisée non lyophilisée	>600 (10 minutes)
Poudre de moringa tamisée lyophilisée	>600 (10 minutes)
Mélange lyophilisé de poudre de lait et de poudre de moringa tamisée	>600 (10 minutes)
Sphère broyée	>600 (10 minutes)

Tableau 51 : Résultats de l'étude de la mouillabilité.



Figure 16 : Résultats de l'étude de la mouillabilité des matières premières dans l'ordre suivant : Poudre de moringa brute non lyophilisée, poudre de moringa brute lyophilisée, poudre de lait brute lyophilisée, poudre de moringa tamisée non lyophilisée, poudre de moringa tamisée non lyophilisée, poudre de moringa tamisée lyophilisée et mélange lyophilisé.

Le test de mouillabilité a également été réalisé sur de la poudre de moringa dans de l'eau à ébullition. Il en résulte que la poudre tombe plus rapidement mais en paquets dans le fond du berlin. Le test n'est pas concluant.



Figure 17 : Test de la mouillabilité de la poudre de moringa brute dans de l'eau à l'ébullition.

### 5.1.7.2 Solubilité

Les résultats de l'étude de la solubilité à 24 °C des différents échantillons de poudres se trouvent au tableau 52. Ceux-ci montrent que la lyophilisation de la poudre de moringa améliore sa solubilité de manière générale. En effet, la lyophilisation crée des particules avec une structure poreuse et une grande surface spécifique. Ces particules sont souvent plus solubles parce qu'elles permettent une meilleure interaction avec le solvant facilitant ainsi la dissolution. De plus, la structure poreuse permet au solvant de pénétrer plus facilement et de dissoudre la poudre de manière plus efficace. En outre, la lyophilisation étant un processus doux à basse température, ce dernier minimise la perte de composés solubles tels que les minéraux, vitamines et autres nutriments sensibles à la chaleur. De la même manière, la lyophilisation ne provoque pas de volatilisation significative des composés solubles (57).

La même manipulation a été réalisée à 95 °C mais la solubilité n'était pas significativement améliorée.

Échantillons	Solubilité (%)	Écart-type
<b>Poudre de moringa brute non lyophilisée (lot1)</b>	20,62	0,94
<b>Poudre de moringa brute lyophilisée</b>	32,51	2,79
<b>Poudre de lait brute non lyophilisée</b>	97,47	0,34
<b>Poudre de moringa tamisée non lyophilisée</b>	34,76	0,20
<b>Poudre de moringa tamisée lyophilisée</b>	35,19	0,74
<b>Mélange lyophilisé de poudre de lait et de poudre de moringa tamisée</b>	83,22	2,97
<b>Sphère broyée</b>	60,74	2,64

Tableau 52 : Résultats de l'étude de la solubilité.

### 5.1.7.3 Dispersibilité

Les résultats de l'étude de la dispersibilité des différents échantillons de poudres de moringa et de lait se trouvent au tableau 53.

Dans la logique où plus la matière sèche est élevée, plus la dispersibilité est meilleure, alors la lyophilisation améliore la dispersibilité de la poudre de lait et de moringa tamisée. La manipulation n'est cependant pas très reproductible, ce qui peut induire des résultats non souhaitables comme pour la poudre de moringa brute. En effet, la lyophilisation ne semble pas améliorer la dispersibilité.

La dispersibilité de la sphère broyée est plus faible que celle des poudres seules, ce qui pourrait être expliqué par l'ajout des autres ingrédients et des effets du mélange.

La lyophilisation n'améliore pas toujours la dispersibilité d'une poudre dans certains cas spécifiques. Cela peut se produire si les particules s'agglomèrent pendant ou après le processus, si la surface des particules devient hydrophobe, ou si les conditions de lyophilisation ne créent pas une structure poreuse optimale. De plus, la nature du matériau, une manipulation ou un stockage inadéquat (comme l'exposition à l'humidité), et des interactions interparticulaires telles que les charges électrostatiques peuvent également réduire la dispersibilité (57).

Échantillons	MS du filtrat (%)	Écart-type
<b>Poudre de moringa brute non lyophilisée</b>	1,8	0,0
<b>Poudre de moringa brute lyophilisée</b>	1,5	0,3
<b>Poudre de lait brute non lyophilisée</b>	1,2	0,2
<b>Poudre de lait brute lyophilisée</b>	1,9	0,0
<b>Poudre de moringa tamisée non lyophilisée</b>	1,1	0,3
<b>Poudre de moringa tamisée lyophilisée</b>	1,4	0,2
<b>Mélange lyophilisé de poudre de lait et de poudre de moringa tamisée</b>	1,8	0,0
<b>Sphère broyée</b>	0,6	0,0

Tableau 53 : Résultats de l'étude de la dispersibilité.

## 5.2 Formulation

### 5.2.1 Choix des additifs

Le test ayant pour but de choisir quel additif émulsifiant sélectionner montre que les dissolutions des sphères contenant du polyphosphate et du tri-potassium phosphate ne donnent pas des résultats plus satisfaisants que la sphère ne contenant aucun des deux. En effet, des phases plus jaunes et une formation de croûte après quelques minutes sont observées dans les berlines présentant les dissolutions des sphères contenant les deux additifs, voir la figure 19. Néanmoins, les additifs utilisés n'ont pas d'impact visuel sur les coques en chocolat blanc des sphères comme le montre la figure 18.



Figure 18 : De gauche à droite : Sphères témoin, sphère contenant du polyphosphate et sphère contenant du tri-potassium phosphate.



Figure 19 : De gauche à droite : Dissolution de la sphères témoin, sphère contenant du polyphosphate et sphère contenant du tri-potassium phosphate à 80 °C et formation d'une croûte après quelques minutes dans les berlines contenant les additifs.

## 5.3 Fabrication du produit innovant final

### 5.3.1 Tamisage de la poudre de moringa

Lorsque 100 g de poudre de moringa sont tamisés avec un tamis ayant une taille de pores de 150  $\mu\text{m}$ , le poids de la fraction de la poudre tamisée est de 65,7 g et le poids de la fraction non tamisée est de 34,4 g. Ainsi, le tamisage permet de garder 65,7 % de la poudre totale.



Figure 20 : Poudre de moringa tamisée (droite) et non tamisée (gauche) par un tamis ayant une taille de pore de 150  $\mu\text{m}$ .

### 5.3.2 Analyse de la dissolution

L'analyse de la dissolution de sphères a permis d'obtenir les résultats se trouvant dans le tableau 54 concernant le temps de dissolution et de sédimentation.

Cependant, un surnageant vert se forme instantanément dès la dissolution de toutes les sphères. Cette phase correspond aux particules insolubles de la poudre de moringa. De plus, sous cette phase apparaît une couche jaune correspondant à la matière grasse du chocolat blanc. En mélangeant après le temps de sédimentation ci-dessous, la couche jaune apparaît à la surface de la boisson cette fois-ci.

	Sphère 1	Sphère 2	Sphère 3
<b>Temps de dissolution (sec)</b>	50,26	55,45	54,23
<b>Temps de sédimentation (sec)</b>	9,32	10,35	10,46

Tableau 54 : Temps de dissolution et sédimentation.



Figure 21 : Dissolution de trois sphères identiques avec apparitions des différentes phases.

## 5.4 Changement du diagramme de fabrication de projet transversal

Revenir sur les nombreux changements apportés au diagramme de fabrication initialement proposé dans le projet transversal semblait important. En raison du manque de temps, la direction du projet a dû être modifiée pour respecter au mieux le cahier des charges. En effet, l'ajout de chocolat blanc afin de former une coque en chocolat a permis d'éliminer les étapes de compaction et d'enrobage. Néanmoins, de nombreux tests ont été réalisés avant de prendre cette décision.

Dans cette section, une bonne partie des tests réalisés mais non retenus pour la suite du projet sont plus amplement expliqués.

### 5.4.1 Extraction et tamisage

Pour pallier le problème de la mauvaise solubilité du moringa, des grumeaux dans la boisson mais également des grosses particules non agréables en bouche dans le mélange humide de départ, deux solutions avaient été envisagées : l'extraction et le tamisage.

La partie soluble de la poudre de moringa a d'abord été extraite à l'aide de deux différents Buchners. Un premier en verre possédant un filtre laissant passer les particules entre 100 et 160  $\mu\text{m}$  et un autre en plastique avec l'ajout d'un filtre de la marque « VWR » possédant une taille de pores de 40  $\mu\text{m}$ . La poudre de moringa a été précédemment infusée pendant cinq minutes dans une eau chaude à 80 °C et l'extraction a également duré cinq minutes. Plusieurs concentrations de poudre de moringa et différentes températures d'eau ont été testées (température ambiante et eau chaude à 80 °C). Les deux parties insolubles restant sur la partie supérieure des filtres sont humides et craquelées. De plus, le filtrat obtenu à l'aide du Buchner en verre est légèrement plus foncé et ce, à la même concentration. La boisson a ensuite été reconstituée en ajoutant suffisamment d'eau chaude pour atteindre un volume de 200 ml, ainsi que 20 g de poudre de lait écrémé.



Figure 22 : Extraction de la partie soluble du mélange de la poudre de moringa dans de l'eau.

De ces deux manipulations d'extraction de la partie soluble, aucune n'a été retenue. En effet, ni le goût ni la couleur de la boisson reconstituée à l'aide de la partie soluble uniquement n'étaient satisfaisantes. De plus, une étape de séchage est à ajouter par la suite, ce qui rallonge le processus.

Dans un deuxième temps, le mélange de poudre de moringa déjà dans de l'eau chaude à 80 °C a été tamisé avec un tamis ayant une taille de pores de 0,6 cm afin de récupérer le filtrat. La poudre de moringa avait précédemment été infusée pendant cinq minutes et le tamisage a également duré cinq minutes. Plusieurs concentrations de moringa ont été testées. Ce protocole n'a pas non plus été retenu.

## 5.4.2 Compaction

Une étape largement détaillée dans le projet transversal était la compaction du mélange de poudres. Pour rappel, l'objectif initial était de créer une sphère compacte contenant un mélange des poudres qui se dissolvait sous l'effet d'eau chaude à 80 °C. Plusieurs liants ont donc été envisagés comme l'amidon de pois ou de maïs ou encore le maltodextrine.

### Compaction manuelle :

L'université ne possédant pas de presse à cette échelle, les sphères ont d'abord été réalisées à la main avec les mélanges de poudres désirés. Selon le cahier des charges initial, des sphères de 3 cm de diamètre devaient être fabriquées, ce qui correspondait, après plusieurs tests, à une sphère contenant environ 20 g de poudre de lait et 3,5 g de poudre de moringa. Les sphères sont ensuite séchées à l'air libre.

Le premier liant utilisé était l'eau. Plusieurs quantités allant de 1 à 5 g d'eau ont été testées rendant les sphères moins friables, jusqu'à collantes et compliquées à manipuler. Dans un premier temps, la quantité d'eau retenue était entre 3,5 et 4 g. Cela devait être confirmé lors de la compaction à l'aide d'une presse industrielle.

La maltodextrine a été le premier additif testé comme liant. Une quantité de 0,21 g a été calculée sur la base de la quantité de matière grasse du lait entier (3,5 g de matière grasse pour 100 g). Selon le Règlement (CE) n°1333/2008, celle-ci peut substituer jusqu'à 30 % de la matière grasse du lait entier. Étant donné que 20 g de poudre de lait écrémé à 0 % étaient utilisés par sphère, sans matière grasse, les calculs ont été réalisés comme si la poudre était du lait entier.

Le maltodextrine est le résultat de l'hydrolyse d'un amidon (blé, maïs, pois) ou d'une fécule (de pomme de terre). Celui-ci est constitué de différents saccharides (D-glucose, maltose, maltotriose, oligosides et polysides) directement issus de cette réaction, dans des proportions qui dépendent du degré d'hydrolyse. Ce dernier est mesuré par le paramètre nommé dextrose équivalent (DE). Plus la valeur de DE est élevée, plus l'hydrolyse est poussée et donc plus la proportion en mono- et oligosaccharides composant le maltodextrine est grande. De plus, plus la valeur de DE est élevée, plus le goût sucré est élevé, plus la solubilité est élevée et la résistance à la chaleur est faible, l'hygroscopicité, douceur et compressibilité sont élevées aussi (168).

L'image 23 résume tous les paramètres cités ci-dessus et les différentes sphères réalisées.

La conclusion était que sans maltodextrine et avec différentes quantités d'eau (feuille du bas sur l'image), les sphères sont difficiles à manipuler, friables et il y a pas mal de pertes de poudre. Au contraire, avec le maltodextrine (feuille du haut sur l'image), les sphères sont plus faciles à manipuler, non collantes et il y a moins de pertes.

Néanmoins, le problème qui est ensuite survenu est la non-dissolution de ces sphères réalisées manuellement et séchées au four ou à l'air libre. En effet, les sphères dans l'eau chaude formaient alors un « caillou » impossible à dissoudre avec la formation d'un gel à leur surface. Après plusieurs hypothèses et différents tests réalisés (temps de séchage au four plus court, compaction sans eau ou quantités plus faibles d'eau, séchage de la poudre de lait seule sans eau...), le gel formé résulte en fait de la formation de ponts par les sucres, c'est-à-dire du phénomène de mottage. Ainsi, dans une poudre de lait, le sucre (lactose) n'est pas sous une forme stabilisée. Ce dernier peut cristalliser dans le cas d'une reprise d'humidité et/ou d'un stockage de la poudre à trop forte température. Ces évolutions conduisent au mottage en paquets de la poudre et à son brunissement (169).



Figure 23 : Feuille du haut : sphères avec maltodextrine. Feuille du bas : sans maltodextrine.

### Compaction à l'aide de presse :

Une première presse maison a tout d'abord été réalisée à l'aide de morceaux de bois, tuyaux PVC et d'étaux. La forme du moule en PVC permettait donc d'obtenir un palet compact du mélange des poudres. Néanmoins, le volume du mélange de poudres a dû être diminué pour faciliter le processus. Ainsi, par essai-erreur, la détermination d'un premier cylindre composé de 12 g au total présentait une bonne compaction dans la presse maison, correspondant ainsi à 2 g de poudre de moringa et 10 g de poudre de lait.



Figure 24 : Première version de la presse maison.



Figure 25 : Palets de poudre réalisés à l'aide de la presse maison première version. Premier palet de 25 g de poudre de lait, deuxième palet de 12 g de poudre de lait, troisième palet de 12 g de mélange de poudre de moringa et poudre de lait.

De cette première presse maison, une version supérieure plus résistante a été réalisée. Celle-ci a été réalisée à l'aide de l'appareil fermant les conserves qui se trouve dans le hall pilote du Terra. La structure en bois de la première version a été recrée à l'aide de tubes métalliques et des moules dessinés à l'aide d'intelligence artificielle ont également été conçus. Une soupape (provenant du texturomètre) a aussi été utilisée afin d'appliquer la pression sur les moules 3D. Comme le montre l'image 26, les palets sont visuellement plus agréables et présentent moins de perte que les palets produits par la presse maison première version.

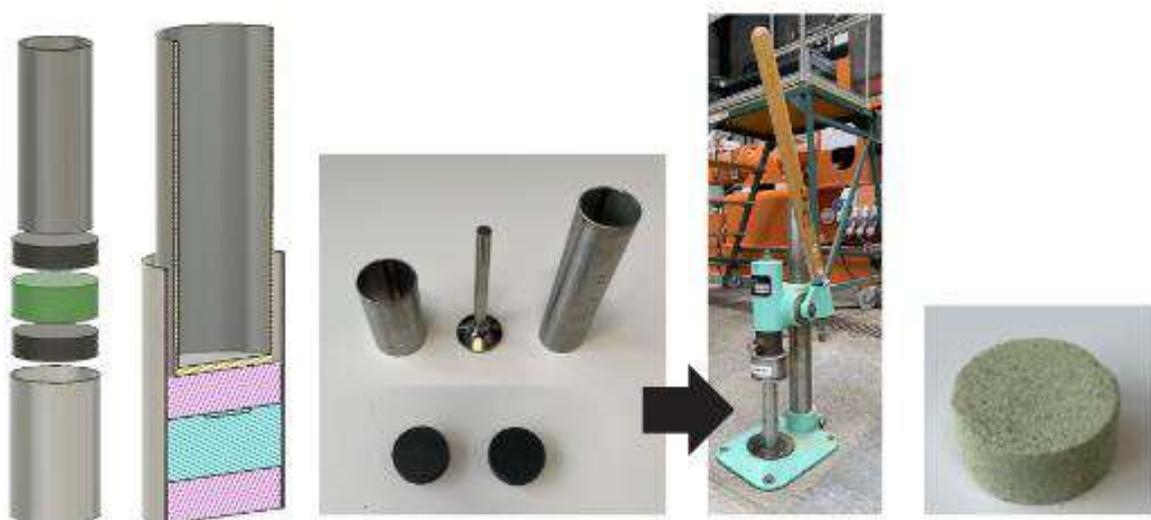


Figure 26 : Presse maison deuxième version.

Plusieurs additifs ont été rajoutés au mélange de poudres avant d'être compactés afin de déterminer leur effet liant. Dans un premier temps, 0,5 g de bicarbonate de soude et 0,25 g d'acide citrique ont été rajoutés puis le maltodextrine et l'eau ont également été additionnés.

La conclusion était toujours la même : la dissolution était compliquée lorsque l'eau était présente même en petite quantité. De plus, la dissolution était encore plus complexe lorsque la compaction était réalisée avec la presse maison version deux et encore davantage lorsque les paramètres d'eau et de presse étaient combinés. En effet, dès l'incorporation du palet dans l'eau chaude, celle-ci n'arrivait pas à rentrer dans le palet et à se faufiler entre les particules de celui-ci.

**Tableau récapitulatif des additifs testés (quantité pour une sphère de 15 g) :**

Additifs	Rôles	Quantités testées
Maltodextrine (0,21 g)	Liant	Petite mousse à la surface, bcp trop de grumeaux. Autres quantités testées : 0,10 g puis 0,6 g
Bicarbonate de soude (0,5 g)	Agent de charge, agent de levage, correcteur d'acidité	Réaction effervescente avec l'acide citrique lorsqu'ils entrent en contact avec de l'eau. Mousse importante après un temps d'attente. Autres quantités testées : 0,25 g puis 0,12 g
Acide citrique (0,25 g)	Correcteur d'acidité, régulateur de pH, antioxydant et séquestrant, utilisé aussi pour ses propriétés de saveur et d'arôme.	Réaction effervescente avec le bicarbonate de soude lorsqu'ils entrent en contact avec de l'eau. Autres quantités testées : 0,12 g puis 0,06 g
Fructose (1,7 g)	Liant	Mousse importante, grumeaux, surnageant épais.
Sirop de glucose-fructose (1,7 g)	Liant	Dissolution compliquée, grumeaux, surnageant épais. Autre quantité testée : 0,8 g
Sirop de glucose (1,7 g)	Liant	Dissolution plus facile que le sirop de glucose-fructose, grumeaux, surnageant épais.
Gomme xanthane (0,2 g)	Liant, stabilisant	Stabilisation des phases, dissolution facile, légère mousse plus agréable que les autres visuellement, plus de particules en solution. Couleur vert clair jolie.
Gomme guar (0,15 g)	Liant	Dissolution facile mais pas une homogénéisation de la solution comme le xanthane, plus de grumeaux, beaucoup de mousse, trois phases séparées.
Gomme xanthane – guar (50-50 % : 0,125 g-0,125 g)	Liant	Dissolution facile mais pas une homogénéisation de la solution comme le xanthane, plus de grumeaux, beaucoup de mousse, trois phases séparées.
Carbonate de calcium (0,25 g)	Régulateur de l'acidité, antiagglomérant, stabilisant, affermissant, colorant de surface	Ne s'est pas révélé concluant, trop de particules en solution.

Tableau 55 : Additifs testés.

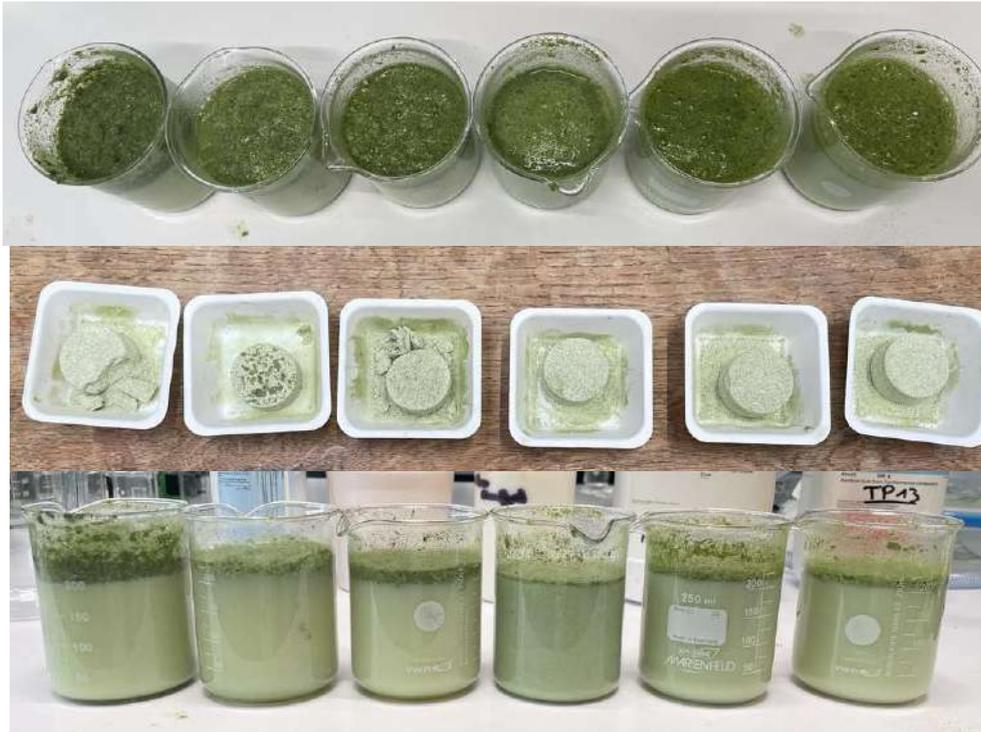


Figure 27 : Liants utilisés dans l'ordre : fructose, sirop de glucose-fructose, sirop de glucose, gomme de xanthane, gomme de guar, gomme de xanthane-guar.



Figure 28 : Sphères et dissolution. 1 : Sphère de lait réalisée à la main. 2 : Palet réalisé avec la presse version 2 contenant le mélange de poudres moringa et lait avec sirop de glucose-fructose. 3 : Sphère réalisé à la main contenant le mélange de poudres moringa et lait avec maltodextrine.

Le xanthane, le bicarbonate de soude et l'acide citrique ont ainsi été retenus pour la formulation finale étant donné les effets significatifs apportés. Les autres additifs n'ont pas été retenus. La première formulation validée est donc celle se trouvant dans le tableau 56. Le poids total d'un palet réalisé avec cette formulation à l'aide de la presse deuxième version est de 12,57 g sans tenir compte de la vanilline.

Ingrédients validés	Quantités (g)
Poudre de lait écrémé 0 %	10,0
Poudre de moringa	2,0
Bicarbonate de soude	0,25
Acide citrique	0,12
Gomme de xanthane	0,2
Vanilline	-

Tableau 56 : Ingrédients validés pour la première formulation.

Une amélioration de la formulation a cependant été faite au niveau de la poudre de moringa. En effet, les grosses particules n'étant pas très agréables dans la bouche, le tamisage de la poudre de moringa avec un tamis possédant des pores de 150  $\mu\text{m}$  permet de retenir uniquement les plus petites particules.

Cependant, la dissolution des palets réalisés avec la presse maison de deuxième génération n'est toujours pas concluante. En effet, la compaction est sûrement le problème puisque l'eau n'arrive pas à passer entre les particules de poudres trop agglomérées. La recherche sur la formulation concernant l'étape de compaction s'est donc arrêtée là.

### 5.4.3 Enrobage

Selon le diagramme de fabrication du projet transversal se trouvant à l'annexe 5, après la compaction, vient l'étape d'enrobage. Étant donné le travail est réalisé à flux poussé, c'est-à-dire que chaque étape dépend de l'étape précédente. L'étape d'enrobage dépend donc directement de la compaction. Comme expliqué ci-dessus, la conclusion de l'étape de compaction ne s'est pas avérée efficace sur différents points, surtout au niveau de la dissolution.

#### 5.4.3.1 Agents d'enrobage testés

Afin d'aller jusqu'au bout de la première idée, différents agents d'enrobage ont quand même été testés. Ceux-ci sont repris dans le tableau 57.

Additifs	Rôles	Quantités testées
Maltodextrine	Liant, améliore la solubilité	25 g de maltodextrine 50 g d'eau
Caséinates de calcium	Protection contre l'humidité et l'oxydation Gélifiant, texturant	1 g de caséinate 100 g d'eau
Agar-agar	Puissant gélifiant, stabilité thermique	2 g d'agar-agar 200 g d'eau

Tableau 57 : Agents d'enrobage testés.

Les différents agents d'enrobage ont directement été mélangés avec de l'eau. Les gels à base de maltodextrine et de caséinates de calcium n'ont pas été chauffés. Après avoir réalisé les mélanges, une attente d'une heure a été observée pour permettre la formation des gels. Seul le mélange à base d'agar-agar a été chauffé, porté à ébullition pendant deux minutes, puis laissé refroidir pendant une heure pour permettre la formation du gel. Les différents résultats des gels obtenus se trouvent à la figure 29.



Figure 29 : Différents gels obtenus de droite à gauche : maltodextrine, caséinates, agar-agar.

Ensuite, le mélange de poudre un fois compacté avec la presse de deuxième génération a été plongé dans les différents gels d'enrobage réalisés. Suite à cela, les palets gardaient leur forme, aucun problème de dissolution n'a été rencontré lors de l'introduction du palet dans le gel ; le résultat est présenté à la



figure 30.

Figure 30 : Palets trempés dans les gels, de droite à gauche : caséinates, maltodextrine et agar-agar.

Après avoir retiré les palets des gels, ceux-ci ont été séchés en les plaçant au four à 60 °C pendant 30 minutes. Les palets trempés dans le gel de maltodextrine et de caséinates de calcium présentaient un

aspect amélioré, avec une surface lisse et homogène, et ces derniers étaient également plus solides. En revanche, celui constitué d'agar-agar avait un aspect granuleux et non homogène.

Par ailleurs, lors de l'étape de dissolution, le même problème que pour l'étape de compaction persistait. La dissolution était difficile voire impossible sans casser le palet à l'aide d'une cuillère. La figure 31, illustre ces différents résultats.

Cela est dû au fait que chaque agent d'enrobage est soluble dans l'eau. En effet, la réalisation du gel est assez simple à mettre en œuvre mais lorsqu'une étape de séchage est exécutée, un réarrangement du réseau des molécules a lieu, ce qui rend la dissolution du produit compliquée.

Le gel à base de caséinates de calcium étant constitué à base de protéines, lors de l'étape de chauffage, le phénomène de réticulation des protéines a lieu. Cette étape est essentielle car elle permet de créer un réseau résistant, flexible et stable mais insoluble.

En ce qui concerne le gel de maltodextrine, lors du chauffage, les molécules de maltodextrine absorbent l'eau et se gonflent, formant ainsi un réseau gélifié en raison des interactions hydrophobes et des liaisons hydrogènes entre les chaînes de glucose (170).

Néanmoins, la solubilité du gel dépend de plusieurs facteurs, notamment la concentration de maltodextrine au départ ainsi que la température. Différents paramètres auraient pu être testés afin d'améliorer les caractéristiques des gels mais ces paramètres sont complexes et nécessitent beaucoup de temps.



Figure 31: Tests de dissolution des palets enrobés, de droite à gauche : maltodextrine, caséinates et agar agar.

Ensuite, réaliser des « coques » à partir des gels a été tenté. Mais ces derniers étant trop liquides, cela n'a pas été possible. L'idée était de créer une coque à partir d'un agent d'enrobage et ensuite de venir remplir la coque avec le mélange de poudres. Étant donné que les gels étaient trop liquides, ceux-ci n'adhéraient pas aux parois des moules.

Toutefois, même si l'étape d'enrobage n'a pas été concluante, celle-ci a permis d'envisager l'enrobage en chocolat. À partir des différentes conclusions, la suite du projet a pu être envisagée et a ainsi pris une tournure différente. Ces différentes étapes ont permis de réaliser les difficultés techniques et de rebondir afin de trouver des solutions pour le produit.

# 6 Mise en pratique du point sécurité

## 6.1 Analyse microbiologique

L'importance de réaliser une analyse microbiologique lors du développement d'un produit innovant ne peut être sous-estimée. Cette analyse est cruciale pour garantir la sécurité et la qualité du produit final. En identifiant et en quantifiant les micro-organismes présents, l'analyse microbiologique permet de détecter la présence éventuelle de pathogènes, de spores et d'autres contaminants microbiens qui pourraient compromettre la sécurité alimentaire. C'est particulièrement essentiel pour prévenir les intoxications alimentaires et les maladies liées à la consommation de produits contaminés. De plus, cette démarche aide à évaluer la durée de conservation du produit en déterminant la vitesse de croissance des micro-organismes au fil du temps. Cela permet de définir des conditions optimales de stockage et de transport, assurant ainsi que le produit reste sûr et de haute qualité jusqu'à la consommation. En fin de compte, l'analyse microbiologique est une étape indispensable pour répondre aux normes de sécurité et de qualité, protéger la santé des consommateurs et renforcer la confiance dans le produit innovant développé.

### 6.1.1 Généralités sur le BactoBox

Afin de réaliser le dénombrement microbiologique du produit, le dispositif microfluidique appelé le BactoBox a été utilisé. Cette méthode avancée a été conçue pour une analyse rapide et précise des bactéries dans divers échantillons. Il s'agit d'un appareil de cytométrie en flux par impédance miniaturisé, capable d'examiner les propriétés des objets microbiens, tels que les bactéries et les spores. Le système mesure les variations d'impédance électrique à mesure que les objets traversent le canal.

En principe, un flux de liquide contenant des bactéries est introduit dans un canal équipé de deux ensembles d'électrodes. La différence de tension entre ces deux ensembles est enregistrée au passage des objets et cela crée un signal différentiel.

L'image 32 reprend le principe du fonctionnement du BactoBox. Au départ, le courant est identique aux deux points de mesure donc le signal est nul. Ensuite, après le passage d'un objet, trois temps sont détectés. Le  $t_1$  est la mesure où un objet (une cellule) est présent au premier ensemble d'électrodes mais pas au second, créant ainsi un signal différentiel. Le  $t_2$  correspond au moment où l'objet est exactement entre les deux électrodes, rendant le signal différentiel nul. Finalement, lors du  $t_3$ , l'objet passe le second ensemble d'électrodes, le signal différentiel est alors opposé à celui du  $t_1$ .

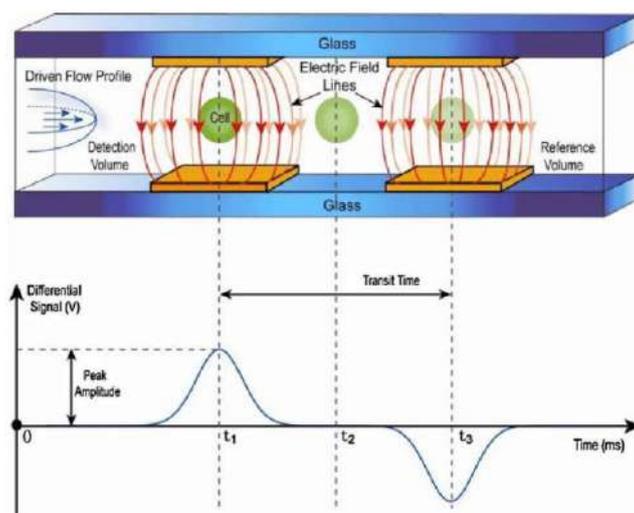


Figure 32 : Principe du BactoBox.

## 6.1.2 Préparation des échantillons

Pour préparer les échantillons à analyser, une sphère a été broyée afin d'obtenir une poudre relativement homogène afin de faciliter la dissolution. La poudre a été dissoute dans 500 ml d'eau distillée contenant 2 g de Tween 80 et 5 g de peptone dans le but d'obtenir une suspension dans de l'eau peptonée. Ensuite, la suspension a été filtrée avec un filtre de 0,45  $\mu\text{m}$ . Cette étape permet d'éliminer les débris ainsi que les particules non cellulaires présents dans l'échantillon. Cela assure que seules les bactéries et les particules d'intérêt sont analysées, réduisant ainsi les interférences et améliorant la précision des mesures. De plus, les débris et les particules de grandes tailles peuvent obstruer le canal de mesure du BactoBox. L'obstruction peut entraîner des erreurs de mesure voire endommager l'appareil.

Lors de la préparation de la suspension, tout a été réalisé sous flamme, ce qui permet de maintenir l'environnement stérile afin de prévenir la contamination des échantillons. Ces derniers ont été placés dans des Eppendorf stériles également.

Après avoir filtré la suspension, des dilutions ont été réalisées afin d'obtenir une densité optique de 1. Pour ce faire, 1,5 ml de suspension a été prélevé et a été dilué avec 1 ml de PBS (Phosphate-Buffered Saline). Le PBS est une solution tampon utilisée pour maintenir le pH et la stabilité des échantillons biologiques tels que les cellules. La densité optique a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à 600 nm. Une densité optique de 1 signifie que 100 % de la lumière incidente à la longueur d'onde donnée a été absorbée par l'échantillon.

Après avoir obtenu une densité optique de 1, une solution de PBS dilué 10 fois a été réalisée. La solution a ensuite été testée dans le BactoBox afin d'avoir un signal de  $1800 \pm 50 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Une fois que le signal a été validé, un échantillon a pu être introduit. Pour ce faire, 100  $\mu\text{L}$  de la solution mère avec a été diluée avec 5 ml de 0,1X PBS.

### 6.1.3 Analyse des résultats

Afin d'analyser les résultats obtenus, le BactoBox utilise deux concepts, l'amplitude et la phase. L'amplitude est mesurée en décibels (dB) sur une échelle logarithmique et représente la taille des cellules. La phase indique les propriétés éclectiques des objets, elle est mesurée en radian (de  $-\pi$  à  $+\pi$ ), elle est représentée sur une échelle continue. Elle permet de montrer la quantité de cellules vivantes/intactes (171).

L'annexe 17 reprend le graphe correspondant à l'amplitude normalisée qui mesure la taille des cellules présent dans l'échantillon. L'axe des X mesure l'amplitude (dB), les valeurs varient de -80 à -10. La majorité des données se situe entre -80 et -40 dB, avec un pic prononcé aux alentours de -70 dB. Après ce pic, la distribution décroît de manière plus ou moins continue avec quelques oscillations, jusqu'à environ -40 dB. Au-delà, de -40 dB, les valeurs sont très faibles, approchant zéro.

L'annexe 17 reprend le graphe correspondant à la quantité de cellules vivantes/intactes. L'axe des X mesure les valeurs de phase qui varient de -3 à 3 radians. Les valeurs mesurées se situent entre -2,8 et 2,8 radians avec un pic prononcé se situant à environ 1 radian. La valeur maximale sur cet axe est d'environ 4,5. Un total de 15000 cellules intactes/ ml sur un total de 1490000 particules/ ml dans la prise d'essai.

### 6.1.4 Discussion des résultats

Pour obtenir des résultats plus compréhensibles et précis, cela aurait été pertinent de chauffer l'échantillon à 60 °C pendant 30 minutes afin d'éliminer les bactéries vivantes présentes. Ce traitement thermique permettrait de tuer les bactéries vivantes dans l'échantillon et ainsi de différencier les cellules vivantes des cellules mortes. Par conséquent, cette méthode faciliterait la quantification des bactéries vivantes au moment de l'analyse, en éliminant les interférences des bactéries non viables, ce qui donnerait une image plus claire et plus précise de la charge bactérienne réelle de l'échantillon.

## 6.2 HACCP

L'HACCP est une méthode d'analyse qui a été mise en place par la NASA pour être certain que tout ce que l'on envoyait dans l'espace étant sain et sans danger. Ensuite, ce système a été repris dans l'industrie des armes et puis dans l'industrie agroalimentaire. Aujourd'hui, le plan HACCP est un système essentiel pour assurer la sécurité alimentaire. Ainsi, la mise en place de cette méthode est une obligation réglementaire pour toutes les entreprises alimentaires.

Pour réaliser le plan HACCP, le modèle classique en 12 étapes et 7 principes a été pris comme référence. Les étapes préalables à l'élaboration du plan HACCP ont été mise en place : déterminer l'équipe responsable, la description du produit et sa distribution, l'utilisation du produit et finalement construire et valider le diagramme de fabrication, les étapes préalables se trouvent en annexe 12.

### 6.2.1 Principe de la méthode HACCP

Les prochaines étapes de la méthode HACCP sont : l'analyse des dangers microbiologiques, chimiques, physiques, leur évaluation puis la détermination des points critiques et l'établissement des limites critiques pour chaque CCP mais également la mise en place d'un système de surveillance et l'établissement des actions correctives.

### 6.2.2 Description des matières premières

Nom	Poudre de lait 0 %	Poudre de moringa	Chocolat blanc
<b>Description</b>	Lait en poudre écrémé 0 % de la marque « Isigny Sainte-Mère »	Moringa Oleifera déshydraté de la marque « Purasana »	Chocolat blanc Belge de la marque « Veliche »
<b>Conditionnement</b>	Vrac	Vrac	Vrac
<b>Stockage avant mise en œuvre</b>	Stockage à température ambiante dans un endroit frais et sec et à l'abri de la lumière	Stockage à température ambiante dans un endroit frais et sec et à l'abri de la lumière	Stockage à température ambiante dans un endroit frais et sec et à l'abri de la lumière
<b>Température de stockage</b>	À l'abri de l'humidité, à température ambiante	À l'abri de l'humidité, à température ambiante	À l'abri de l'humidité, à température ambiante
<b>Conservation avant utilisation</b>	À l'abri de l'humidité, à température ambiante	À l'abri de l'humidité, à température ambiante	À l'abri de l'humidité, à température ambiante
<b>Quantité mise en œuvre</b>	Proportions variables dans les mélanges	Proportions variables dans les mélanges	Proportions variables dans les mélanges
<b>Notification</b>	Microbiologique et chimique Voir AFSCA	Microbiologique et chimique Voir AFSCA	Microbiologique et chimique Voir AFSCA

Tableau 58 : Description des matières premières principales du produit innovant.

### 6.2.3 Registre IN

Le registre d'entrée a pour objectif d'enregistrer les informations importantes concernant les matières premières. Les informations reprises sont la nature du produit définie par le fournisseur, le nom du fournisseur, le numéro de lot permettant l'identification interne du produit et son lien avec le fournisseur. Le numéro de lot est associé à la date de production et de conservation des marchandises. De plus, la quantité reçue doit être indiquée, dans ce cas-ci, en litres et en kilogrammes, ainsi que la date (jour/mois/année) et l'heure de réception afin de différencier les réceptions des matières premières. Enfin, le dernier élément à prendre en considération dans le registre d'entrée est l'origine géographique des matières premières.

### 6.2.4 Identification des dangers

Les différents dangers ont été détaillés dans le point sécurité du cahier des charges.

### 6.2.5 Évaluation des dangers

En fonction du risque, différents moyens de surveillance doivent être mis en place. D'abord, certains aspects sont surveillés de manière épisodique comme les bonnes pratiques d'hygiène (BPH) : par exemple, vérifier une fois par mois que les équipements sont dans un état correct, que le lavage des mains est respecté, que la fréquence de change est respectée. Cela correspond aux PRP qui correspondent à un risque faible et doivent être vérifiés de manière régulière et être appliqués en continu.

Si le risque est plus élevé (risque moyen), alors un PrPO (Point de requis opérationnel) est mis en place. Une étape précise du processus est ainsi contrôlée mais pas en continu, à une fréquence définie. En cas de dérive, un contrôle à l'instant T est effectué et des mesures correctives sont prises, sans conséquence grave sur le produit.

Si le risque est vraiment plus élevé, un CCP (risque fort) (Point de Contrôle Critique) est mis en place. Ce niveau implique de grosses conséquences sur la santé du consommateur et cela peut apparaître fréquemment. Par conséquent, le contrôler ce paramètre en continu, à une fréquence et avec une méthode de contrôle fixées est nécessaire. La conformité du CCP doit être assurée entre chaque contrôle. Par exemple, le détecteur de métaux garantit la conformité de tout ce qui est envoyé. Si le CCP est défaillant alors la commercialisation n'a pas lieu. Ainsi, le CCP est un paramètre qui doit être maîtrisé en continu et les contrôles effectués sont enregistrés précisément pour garantir la sécurité des produits aux clients (138).

Ainsi, pour mesurer le risque, donc évaluer un danger, la probabilité et la gravité du danger sont pris en compte. L'évaluation des dangers est basée sur le guide d'autocontrôle pour la production et la vente de produits laitiers à la ferme, ainsi que le règlement (CE) n°2073/2005 et (CE) n°1881/2006 (143).

L'établissement des CCP et des PrPO, est repris dans un tableau 59. Les dangers ont été repris pour chaque étape du processus de fabrication de la sphère. Pour chaque danger, l'origine a été étudiée selon la méthode des 5M. Afin de prévenir les dangers, les éliminer ou les garder à un niveau acceptable, leur origine doit être précisément connue. Parmi celles-ci se trouvent, la main d'œuvre, les méthodes de travail, le milieu, le matériel de travail ainsi que les matières premières.

La mesure des risques a été réalisée sur base des tableaux de gravité et de probabilité d'apparition d'un danger se trouvant dans le tableau 58. L'évaluation des différents dangers a été réalisée pour les étapes de réception des matières premières, le stockage des matières premières, la préparation du mélange de poudre, la réalisation des coques en chocolat, le conditionnement, le stockage et finalement le transport. Les PCC ont été identifiés grâce à l'arbre de décision se trouvant à l'annexe 13.

**Tableau : évaluation des risques**

Réception des matières premières (lait en poudre 0%, moringa oleifera, chocolat blanc)										
Produit	Danger	Type	Gravité	Probabilité	Risque	Q1	Q2	Q3	Q4	PrPO/CCP
Chocolat blanc, Poudre de lait Poudre de moringa	Contamination microbiologique initiale trop élevé	B	Grave	Rare	Mineur	Contrôle de la DDM et de l'emballage à la réception.  Garantie de la qualité microbiologique des MP par le fournisseur dans le cahier des charges	Non	Non	/	PrPO 1
Toutes les MP	Résidus de solvants de nettoyage et désinfection	C	Grave	Improbable	Mineur	Oui : entretien régulier du matériel et des équipements	Non	Non	/	Non
Toutes les MP	Corps étrangers (Toutes les MP)	P	Négligeable	Improbable	Acceptable	Oui : respect BPH Vérification des emballages Contrôle visuel à la réception	Non	Non	/	Non
Poudre de moringa	Alcaloïdes pyrrolizidiniques Perchlorate	C	Grave	Improbable	Mineur	Oui : respect des BPH Vérification de l'emballage	Non	Non	/	Non
Stockage des matières premières										
Produit	Danger	Type	Gravité	Probabilité	Risque	Q1	Q2	Q3	Q4	PrPO/CCP
Poudre de lait Poudre de moringa	Développement microbiologique dû à une humidité relative trop élevée	B	Catastrophique	Rare	Majeur	Garantie d'un local sec, enregistrement continu de l'humidité du local	Non	Non	/	PrPO 2
Toutes les MP	Développement microbiologique dû à une DDM dépassée	B	Grave	Improbable	Majeur	Mises en pratique de la méthode FIFO  Contrôle des DDM avant utilisation des MP	Non	Non	/	PrPO 3

Toutes les MP	Contaminations croisées dû à un environnement non-hygiénique ou par un emballage endommagé	B,C	Grave	Rare	Majeur	Mise au point et suivi du plan de nettoyage  Vérification de l'intégrité des emballages ainsi que de bonnes conditions de stockage	Non	Non	/	PrPO 4
Toutes les MP	Corps étrangers	P	Négligeable	Improbable	Acceptable	Oui : respect BPH Vérification des emballages	Non	Non	/	Non
Poudre de moringa	Alcaloïdes pyrrolizidiniques Perchlorate	C	Grave	Improbable	Mineur	Oui : respect des BPH Vérification de la zone de stockage (température et humidité) Vérification de l'emballage	Non	Non	/	Non
<b>Préparation du mélange de poudre (tamisage, pesée des poudres et lyophilisation)</b>										
Produit	Danger	Type	Gravité	Probabilité	Risque	Q1	Q2	Q3	Q4	PrPO/CCP
Poudre de lait écrémé 0% et poudre de moringa	Développement microbologique si mauvaise utilisation des ingrédients	B	Grave	Improbable	Majeur	Se référer aux bonnes pratiques de fabrication	Non	Non	Non	Non
	Corps étrangers	P	Grave	Improbable	Majeur	Contrôle visuel lors de la préparation du mélange de poudre  Bonne pratique d'hygiène	Non	Non	/	Non
	Contamination des poudres par des résidus de produit d'entretien Ou contamination croisée	C	Grave	Improbable	Majeur	Bon usage des produits d'entretien Bonnes pratiques de fabrication	Non	Non	/	Non

Réalisation des coques en chocolat blanc (tempérage du chocolat)										
Produit	Danger	Type	Gravité	Probabilité	Risque	Q1	Q2	Q3	Q4	PrPO/ CCP
Chocolat blanc	Développement microbiologique	B	Grave	Improbable	Majeur	Se référer aux bonnes pratiques de fabrication	Non	Non	Non	Non
	Blanchiment du chocolat	C	Grave	Improbable	Majeur	Bonnes pratiques de fabrication, vérification de la température lors du tempérage du chocolat	Non	Non	Non	Non
	Corps étrangers liés au personnel	P	Grave	Improbable	Majeur	Contrôle visuel lors de la préparation du mélange de poudre  Bonne pratique d'hygiène	Non	Non	/	Non
	Contaminations croisées Résidus de produit d'entretien	C, B	Grave	Improbable	Majeur	Bonnes pratiques de fabrication Bon usage des produits d'entretien	Non	Non	/	Non
Conditionnement										
Produit	Danger	Type	Gravité	Probabilité	Risque	Q1	Q2	Q3	Q4	PrPO/ CCP
Sphères	Développement microbiologique	B	Grave	Improbable	Acceptable	Garantie de la qualité microbiologique du lieu de production	Non	Non	/	Non
	Contamination des sphères par des produits d'entretien	C	Marginale	Improbable	Majeur	Bon usage des produits d'entretien	Non	Non	/	Non
Emballage primaire	Emballage non adapté aux denrées alimentaires	C	Marginale	Improbable	Acceptable	Respect des normes fixées avec le fournisseur dans le cahier des charges	Non	Non	/	Non
	Présence de corps étrangers du au personnel	P	Marginale	Improbable	Acceptable	Respect des BPH Vérification visuelle de l'absence de corps étrangers	Non	Non	/	Non

Emballage secondaire	Emballage non adapté aux denrées alimentaires	C	Marginale	Improbable	Acceptable	Respect des normes fixées avec le fournisseur dans le cahier des charges	Non	Non	/	Non
<b>Stockage du produit fini</b>										
Produit	Danger	Type	Gravité	Probabilité	Risque	Q1	Q2	Q3	Q4	PrPO/ CCP
Sphères	Développement microbiologique	B	Grave	Improbable	Acceptable	Garantie de la qualité microbiologique du lieu de production	Non	Non	/	Non
	Oxydation et/ ou blanchiment des sphères	C	Grave	Probable	Majeur	Stockage du produit fini entre 15 et 20°C Enregistrement de la température du lieu de stockage				Non
<b>Transport vers les lieux de distribution</b>										
Produit	Danger	Type	Gravité	Probabilité	Risque	Q1	Q2	Q3	Q4	PrPO/ CCP
Sphères	Contamination des sphères suite à un manque d'hygiène lors du transport ou d'un défaut d'emballage	B, P	Critique	Improbable acceptable	Acceptable	Respect des BPH  Vérification de l'intégrité des emballages	Non	Non	/	Non
	Contamination par des résidus de nettoyage	C	Marginal	Rare	Acceptable	Respect du plan de nettoyage des camions  Vérification de l'intégrité des emballages	Non	Non	/	Non

Tableau 59 : Évaluation des risques.

**Tableau récapitulatif des PrPO**

PrPO/CCP	Etape	Danger	Surveillance et fréquence	Actions correctives	Vérification	Enregistrement
PrPO 1 : Contamination microbiologique initiale trop élevée	Réception	Biologique	Contrôle des certificats de conformité à chaque livraison. Contrôle des lots par un laboratoire extérieur, une fois par an	Destruction des lots contaminés	Tester les nouveaux lots	Certificat de conformité, bulletins d'analyse
PrPO2 : Développement microbiologique dû à une humidité relative trop élevée	Stockage	Biologique	Contrôle de l'humidité relative de la zone de stockage. Enregistrement de l'humidité relative à chaque utilisation des MP	Destruction des lots contaminer	Contrôle de l'humidité relative de la zone de stockage	Humidité relative de la zone de stockage
PrPO 3 : Développement microbiologique dues à une DDM dépassée	Stockage	Biologique	Vérification des DDM à chaque utilisation des MP Méthode FEFO	Destruction des MP si DDM dépassée	Vérification de la DDM	Enregistrement des DDM
PrPO 4 : Contaminations croisées dû à un environnement non-hygiénique ou par un emballage endommagé	Stockage	Biologique	Vérification de l'intégrité des emballages à chaque utilisation des MP	Plan de nettoyage et de désinfection Destruction des MP contaminées	Vérification de l'intégrité de l'emballage Vérification du plan de nettoyage et de désinfection	Enregistrement farde HACCP

Tableau 60 : PrPO et actions correctives.

## 6.3 Analyse du vieillissement

### 6.3.1 Paramètres physiques

Afin d'analyser le vieillissement du produit alimentaire innovant, une étude approfondie sur une période de quatre semaines, en évaluant plusieurs paramètres physiques clés, a été réalisée. Tout d'abord, la texture du produit a été mesurée pour détecter tout changement dans sa consistance et sa fermeté. Parallèlement, une analyse colorimétrique pour observer les variations de couleur, indicatives de modifications chimiques ou de dégradation a été réalisée. Enfin, l'activité de l'eau, un facteur crucial influençant la stabilité et la qualité du produit a été surveillée. Cette approche multidimensionnelle d'analyses physiques permet de comprendre comment le produit évolue avec le temps et d'optimiser ses conditions de conservation. Les résultats de cette étude de vieillissement se trouvent dans le tableau 61.

L'activité de l'eau de la sphère broyée augmente au fur et à mesure du temps. Cela peut s'expliquer par le fait que les sphères étaient gardées à l'air libre dans la réserve à 15 °C et qu'elles ont donc réabsorbé en eau. Elles n'étaient donc pas dans des conditions de stockage optimales. Réaliser à nouveau cette étude sur l'activité de l'eau dans le temps des sphères emballées dans leur packaging et dans des conditions de stockage idéales est nécessaire.

De plus, les résultats montrent que l'analyse de texture de la sphère au cours du temps n'est pas reproductible, les écarts-types étant très grands. Par conséquent, cela est impossible de déterminer si la texture est impactée. La réalisation de plus de répétitions par échantillon aurait été nécessaire.

En outre, les résultats de l'analyse de colorimétrie sont similaires entre eux au cours des semaines. La couleur de la sphère broyée n'est donc pas impactée au fur et à mesure du temps. Néanmoins, l'étude de la couleur de la coque en chocolat et non de la sphère broyée aurait été intéressante.

	Activité de l'eau	Texturométrie (N)	Colorimétrie
J-0	Eau distillée : 0,99 à 22,2 °C	72,79 ± 29,50	L* = 61,89 ± 0,18
	Sphère broyée : 0,21 ± 0,00 à 23,0 °C		a* = -1,27 ± 0,11
			b* = 25,65 ± 0,08
J+7	Eau distillée : 0,99 à 21,7 °C	98,34 ± 39,66	L* = 61,64 ± 0,12
	Sphère broyée : ± 0,29 ± 0,00 à 23,1 °C		a* = -1,34 ± 0,01
			b* = 25,96 ± 0,02
J+14	Eau distillée : 0,99 à 21,3 °C	75,75 ± 12,94	L* = 62,06 ± 0,25
	Sphère broyée : 0,27 ± 0,00 à 22,8 °C		a* = -1,36 ± 0,01
			b* = 25,46 ± 0,29
J+21	Eau distillée : 0,99 à 21,5 °C	68,77 ± 25,89	L* = 62,38 ± 0,19

	Sphère broyée : $0,37 \pm 0,00$ à $22,6$ °C		$a^* = -1,43 \pm 0,15$
			$b^* = 25,92 \pm 0,23$
J+28	Eau distillée : $1,00$ à $21,3$ °C	$74,68 \pm 18,50$	$L^* = 61,80 \pm 0,14$
	Sphère broyée : $0,42 \pm 0,00$ à $22,8$ °C		$a^* = -1,28 \pm 0,015$
			$b^* = 25,62 \pm 0,08$

Tableau 61 : Analyse du vieillissement du produit innovant.

Bien évidemment, quatre semaines n'est pas la date de durabilité minimale souhaitée. De ce fait, réaliser un test sur une plus longue durée aurait été nécessaire.

D'autres paramètres auraient également pu être intéressants à analyser. En effet, pour étudier le vieillissement d'un produit alimentaire, en complément de ces trois analyses physiques, l'évaluation de la perte ou du changement dans les composés volatils responsables des arômes du produit innovant, la surveillance des variations de pH, ainsi que l'analyse des variations dans les teneurs en lipides, protéines et autres composés auraient été nécessaires.

De plus, cette étude de vieillissement devrait être réalisée à nouveau dans des conditions de stockage optimales, ce qui n'était pas le cas ici étant donné que le produit n'était pas emballé mais à l'air libre dans une pièce à  $15$  °C.

### 6.3.2 Analyse de l'évolution de l'aspect visuel

L'étude de l'évolution de l'aspect visuel, c'est-à-dire de la couleur et de la brillance après 7 jours montre tout d'abord que le froid du frigo à  $2$  °C a un impact négatif sur la couleur et la brillance mais aussi sur l'aspect. En effet, un blanchissement apparaît sur les sphères, de même que de petits cristaux et paillettes à la surface de celles-ci.

De plus, la sphère à température ambiante, c'est-à-dire à  $21$  °C, se trouvant dans le labo présente un effet grisé sur sa surface. Elle ne brille pas autant que celle placée dans la réserve à  $15$  °C mais garde néanmoins une petite brillance.

Cependant, les sphères conservées à  $15$  °C, qu'elles soient à l'air libre ou dans une boîte fermée gardent leur brillance et leur couleur d'origine.

Après 18 jours, les résultats sont similaires. Les deux sphères se trouvant dans la réserve à  $15$  °C, à l'air libre ou dans la boîte fermée, présentent toujours les meilleurs aspects visuels au niveau de la couleur et de la brillance. Pas de différence significative entre elles deux n'a été observée.

Après 35 jours, la sphère placée dans une boîte fermée dans la réserve présente toujours sa couleur et brillance d'origine alors que celle se trouvant à l'air libre a blanchi.

La conclusion après 60 jours était identique à la précédente : la sphère placée dans une boîte fermée dans la réserve présente le meilleur aspect visuel que ce soit au niveau de sa couleur ou de sa brillance.

Le descriptif détaillé des observations de chaque jour se trouve dans l'annexe 9.



Figure 33 : Comparaison de la brillance et de la couleur de sphères dans le frigo, à température ambiante et dans la réserve, une sphère à l'air libre et une dans une boîte, après 7 et 35 jours.

### 6.3.2.1 Paramètres physiques

#### Activité de l'eau :

Les paramètres physiques, c'est-à-dire la couleur et l'activité de l'eau de ces 6 sphères stockées dans les différentes conditions, ont été analysés de la même manière qu'au point 6.3.1, après 60 jours. Les sphères possédant les activités de l'eau les plus faibles sont les sphères étant restées à T° ambiante sur la pailleasse. Les sphères dans la réserve à 15 °C et dans le frigo à 2 °C présentent des activités de l'eau plus haute. Concernant les sphères à température ambiante, la sphère à l'air libre présente une activité d'eau plus faible que celle dans la boîte. Alors que dans les deux autres environnements, ces sont les sphères placées dans les boîtes qui montrent des activités de l'eau plus faibles.

Une explication fortement probable à ces valeurs d'activité de l'eau réside dans les conditions de stockage. La teneur en humidité est différente dans les trois environnements, plus faible dans le laboratoire que dans la réserve et le frigo. Plus l'humidité relative est élevée, plus le produit a tendance à absorber l'eau. De plus, la température affecte également la vitesse d'absorption de l'eau. En général, à des températures plus élevées, les produits peuvent absorber l'humidité plus rapidement, ce qui ne s'applique pas ici (167).

Le conditionnement, c'est-à-dire le type d'emballage, et sa capacité à protéger contre l'humidité jouent un rôle crucial. Des emballages hermétiques peuvent empêcher ou réduire la reprise en eau. Cet aspect n'est pas pris en compte dans cette étude. Réaliser une seconde fois celle-ci en prenant ce paramètre en considération serait nécessaire (167).

#### Texturométrie :

En ce qui concerne la texturométrie de ces sphères, c'est-à-dire l'analyse de la fragilité des coques en chocolat, les résultats ne montrent pas de tendance claire. Les sphères gardées à l'air libre à température ambiante et dans la réserve sont plus résistantes à la force appliquée tandis que la sphère placée dans une boîte dans le frigo est plus dure que celle à l'air libre dans le frigo. Les données recueillies ne révèlent donc aucune relation discernable entre les variables étudiées.

Les sphères ont été sorties dix minutes avant de procéder à l'analyse. Néanmoins, en temps normal, un chocolat à température plus élevée sera plus souple, tandis qu'à température plus basse, ce dernier sera

plus cassant. La plus haute valeur présentée par la sphère dans la boîte dans le frigo peut donc s'expliquer par cela.

Une explication à ces valeurs non cohérentes entre les environnements réside par exemple dans l'humidité qui peut affecter la texture du chocolat en modifiant la teneur en eau et la structure cristalline. Une autre possibilité est le procédé de fabrication avec un tempérage mal réalisé affectant la structure cristalline influençant directement sa friabilité ou un refroidissement mal géré affectant la formation des cristaux et, par conséquent, la structure et la fragilité du chocolat (154,155,167).

Ces deux analyses n'ont été réalisées qu'une fois, les résultats n'étant donc qu'une indication. L'incertitude associée aux mesures rend donc les résultats difficiles à interpréter. Pour cette raison, une DDM de 2 mois en attendant d'avoir des résultats de vieillissement plus approfondis a été fixée.

	Activité de l'eau	Texturométrie (N)
Demi-sphère T° amb. <b>air libre</b>	Eau distillée : 0,99 à 21,7 °C	64,21
	Demi-sphère broyée : 0,43 à 23,1 °C	
Demi-sphère T° amb. <b>boîte</b>	Eau distillée : 0,99 à 21,7 °C	49,71
	Demi-sphère broyée : 0,47 à 23,2 °C	
Demi-sphère réserve <b>air libre</b>	Eau distillée : 0,99 à 21,7 °C	79,09
	Demi-sphère broyée : 0,65 à 23,1 °C	
Demi-sphère réserve <b>boîte</b>	Eau distillée : 0,99 à 21,7 °C	44,82
	Demi-sphère broyée : 0,48 à 23,1 °C	
Demi-sphère frigo <b>air libre</b>	Eau distillée : 0,99 à 21,5 °C	66,71
	Demi-sphère broyée : 0,62 à 22,6 °C	
Demi-sphère frigo <b>boîte</b>	Eau distillée : 0,99 à 21,5 °C	93,6
	Demi-sphère broyée : 0,59 à 22,5 °C	

Tableau 62 : Résultats de l'étude de l'Aw et de la texturométrie des sphères dans différentes conditions après 60 jours.

### 6.3.3 Stabilité oxydative

Un dernier paramètre à ne pas négliger est l'évaluation de la stabilité oxydative qui permet de prévoir la durée de vie d'un produit avant que ce dernier ne devienne rance a également été étudiée. Pour ce faire, une extraction des matières grasses par la méthode Folch suivie d'une analyse de la stabilité oxydative a été réalisée.

La méthode Folch est une technique largement utilisée pour l'extraction de lipides, celle-ci consiste à utiliser un mélange de solvants chloroforme-méthanol dans un rapport de 2:1 (v/v) pour dissoudre les lipides présents dans l'échantillon. L'échantillon est d'abord homogénéisé dans ce mélange de solvants, puis la solution obtenue est filtrée pour enlever les particules solides. Ensuite, une solution saline est ajoutée pour induire la séparation en deux phases : une phase inférieure contenant le chloroforme avec les lipides dissous et une phase supérieure contenant le méthanol et l'eau avec les composants non lipidiques. Les lipides sont ensuite récupérés par évaporation du chloroforme. Pour ce faire,

l'évaporateur rotatif « Buchi – Rotavapor R-210 », la pompe « Buchi – Vacuum Pump V-700 » et le bain « Edmund Buhler UKT 3 » sont utilisés. Quatre répétitions de l'échantillon ont été réalisées.

L'évaluation de l'oxydation des lipides, qui peut entraîner un rancissement du produit a ainsi été étudiée grâce à l'équipement Rancimat « Metrohm 743 ». Les paramètres de réglage sont les suivants : flux d'air réglé à 10 L/h et température portée à 110 °C. L'application d'une température élevée couplée à un flux d'air accélère le processus d'oxydation. Ces conditions entraînent la formation de peroxydes et de produits secondaires volatils issus de la dégradation des acides gras. Ces molécules volatiles sont ensuite entraînées vers un récipient contenant de l'eau distillée, ce qui crée une conductivité. La mesure de cette conductivité détermine la stabilité oxydative des échantillons (172).

De cette manière, l'évaluation de la stabilité oxydative réalisée à l'aide du Rancimat donne un temps d'induction, correspondant au temps nécessaire pour atteindre le point où l'oxydation accélère de manière significative, de 29,53 h.

Le beurre de cacao, utilisé comme matière grasse principale dans le chocolat blanc, a une meilleure stabilité oxydative comparé à de nombreuses autres matières grasses végétales en raison de sa composition riche en acides gras saturés et de la présence de composés antioxydants naturels (172). En effet, l'oxydation a plus d'effets sur les acides gras insaturés. De plus, le temps d'induction du beurre de cacao mesuré est légèrement plus élevé que celui trouvé dans plusieurs études, entre 15 et 20h à des températures d'environ 110 °C à 120 °C. Ces résultats illustrent la résistance du beurre de cacao à l'oxydation, contribuant à sa durée de conservation prolongée et à sa popularité dans les applications alimentaires (172–174).

Échantillon	Température (°C)	Débit (L/h)	Temps (h)	Écart-type
Huile extraite de la sphère	110 °C	10	29,53	0,18

Tableau 63 : Stabilité oxydative du produit innovant.

Ainsi, une température inférieure à 20 °C est recommandée pour prolonger la stabilité. De plus, l'utilisation d'emballages hermétiques et opaques est préférable pour minimiser l'exposition à l'air et à la lumière qui accélèrent l'oxydation. De cette façon, le beurre de cacao peut avoir une stabilité oxydative de plusieurs mois à plusieurs années, en fonction des conditions de stockage.

# 7 Analyse marketing

## 7.1 Introduction

Cette partie du mémoire concerne l'analyse marketing du projet. Une analyse marketing est essentielle dans le cadre du développement d'un nouveau produit alimentaire pour prendre des décisions éclairées tout au long du processus de développement, augmentant ainsi les chances de succès sur le marché (175).

## 7.2 Objectifs

L'analyse marketing permet tout d'abord une meilleure compréhension du marché, de ses tendances ainsi que des préférences et des comportements d'achat des consommateurs. Cela aide à identifier des opportunités de marché et à adapter le produit pour répondre au mieux aux besoins et attentes.

Elle aide également à mieux segmenter le marché et ainsi à cibler précisément les segments les plus pertinents pour le nouveau produit alimentaire.

De plus, l'étude marketing permet l'élaboration d'une évaluation interne et externe de l'entreprise fictive en analysant les points forts, les points faibles, les menaces et les concurrents. L'étude de la concurrence existante est primordiale pour trouver des moyens de différencier le produit.

Ensuite, l'analyse marketing a aussi pour objectif de définir le positionnement de l'entreprise fictive ainsi que du produit innovant sur le marché, c'est-à-dire la manière dont le produit sera perçu par les consommateurs par rapport aux produits concurrents.

L'analyse aide également à définir les éléments du mix marketing (produit, prix, place, promotion) en fonction des attentes des consommateurs et des conditions du marché.

Enfin, une étude marketing permet de repérer les risques potentiels et ainsi d'identifier les opportunités pour maximiser le succès du nouveau produit (175).

## 7.3 Habitudes alimentaires en Belgique

Tout d'abord, établir une analyse les habitudes alimentaires des Belges en matière de consommation des boissons énergétiques : cafés, thés et boissons énergisantes est primordiale.

Selon l'enquête alimentaire réalisée en 2014, 61,9 % de la population âgée 3 à 64 ans boit chaque jour du café, du thé ou d'autres boissons chaudes (tisane, chicorée). En revanche, 18,2 % de la population déclare ne jamais consommer de telles boissons. Ces résultats révèlent que davantage de femmes (65,1 %) que d'hommes (58,5 %) consomment quotidiennement ce type de boissons (176).

Le pourcentage de la population belge qui consomme des boissons chaudes a tendance à augmenter en fonction de l'âge. En effet, 4,0 % des enfants les plus jeunes (de 3 à 5 ans) et environ 15 % des adolescents (de 10 à 17 ans) boivent ce type de boissons. Cela augmente ensuite jusqu'à 61,7 % chez les adultes de 18 à 39 ans et atteint même 91,7 % des adultes de 40 à 64 ans (176).

Le pourcentage de personnes consommant chaque jour des boissons chaudes est relativement similaire quel que soit le niveau d'éducation. Cependant, après standardisation de l'âge et du sexe, les personnes diplômées de l'enseignement supérieur sont significativement plus nombreuses à consommer du café, du thé ou d'autres boissons chaudes chaque jour par rapport à celles ayant un niveau d'éducation inférieur (176).

Les boissons énergisantes, quant à elles, sont largement consommées notamment par les adolescents. Une enquête réalisée en 2018 par le Service d'Information, Promotion, Education Santé de ULB (SIPES) auprès des élèves de l'enseignement secondaire belge francophone montre que 11 % des jeunes interrogés consomment des boissons énergisantes plusieurs fois par semaine, avec des proportions particulièrement marquées chez les garçons (34).

## 7.4 État des lieux du marché des boissons énergétiques

Au vu du produit alimentaire innovant, un état des lieux du marché des thés et tisanes, ainsi que des cafés et des cafés instantanés a été réalisé. Le marché des boissons énergisantes a également été étudié.

### 7.4.1 État des lieux du marché du thé et des tisanes

Le produit se rapproche le plus du marché des thés et des tisanes. Celui-ci est segmenté en fonction du type de thé (thé vert, thé noir et tisanes) mais aussi en fonction de la forme (thé en vrac ou sachet), du canal de distribution (hypermarchés, détaillants spécialisés, détaillants en ligne ou autre) et enfin en fonction de la géographie (Espagne, Royaume-Uni, France, Allemagne, Russie, Italie et le reste de l'Europe). La taille du marché en 2023 est de 51,26 milliards de dollars américain (USD United States Dollar). Le marché ayant la croissance la plus rapide est l'Europe (177).

Le marché du thé est un marché de premiumisation. En effet, les clients sont en quête d'une expérience de haute qualité et unique, ce qui permet aux fournisseurs de thés de se spécialiser. De plus, la demande pour les tisanes augmente, car une partie de la population substitue le thé par de la tisane en raison de l'absence de caféine. Les consommateurs de thés et de tisanes sont souvent sensibles aux bienfaits de ces boissons et soucieux de leur santé (177).

Le marché européen du thé est très concurrentiel, en partie en raison de la présence d'acteurs nationaux et internationaux dans le secteur. Les principaux acteurs de l'industrie sont Unilever PLC, Associated British Foods PLC, Dilmah Ceylon Tea Company PLC, Nestlé SA et Cafedirect PLC (177).

Parmi les thés, le matcha a gagné en popularité ces dernières années et est de plus en plus consommé. Cette boisson est particulièrement appréciée pour ses vertus, elle est très riche en composés antioxydants (19). En raison de cette popularité croissante, les importations de matcha en provenance du Japon ont également augmenté ces dernières années (20,21). Le Yerba Mate doit également être mentionné, largement consommé dans les pays d'Amérique latine. Cette boisson qui suscite un intérêt croissant a été introduite sur le marché mondial sous plusieurs formes telles que le thé ou directement sous forme d'ingrédient ajouté dans les aliments (24).

Toutes ces différentes boissons à base de thé ont vu leur popularité augmenter en raison de leurs bénéfices remarquables pour la santé, séduisant ainsi la nouvelle société occidentale du « je prends soin de moi ». Les Etats-Unis sont le premier importateur mondial de thé vert, suivis par Chine et la France (20).

### 7.4.2 État des lieux du marché du café

En ce qui concerne le café, la taille du marché est estimée à 126,17 milliards USD en 2023 et devrait atteindre 158,89 milliards USD d'ici 2028. Cette analyse mondiale de l'industrie du café inclut les grains de café entiers, le café moulu, le café instantané ainsi les dosettes et capsules de café (178).

De nombreux facteurs stimulent le marché du café, notamment la demande croissante de café certifié. De plus, au cours de ces dernières années, les consommateurs sont de plus en plus attentifs à leur mode de consommation et à la provenance de leurs achats (178).

Une enquête a été réalisée par l'Institut d'information scientifique sur le café (ISIC) a révélé que 68 % des personnes interrogées déclarent consommer du café en travaillant. Cette tendance est particulièrement marquée dans les pays comme l'Allemagne, l'Italie, l'Espagne et le Royaume-Uni. Le marché allemand des dosettes et capsules de café est dominé par Nespresso de Nestlé grâce à son large éventail de produits (178).

Néanmoins, le marché du café est très concurrentiel et est dominé par des acteurs comme « Nestlé », « JM Smucker Company », « Kraft Heinz Company » et « Starbucks Coffee Company ». À côté de

cela, les marques distributeur, comme « Massimo Zanetti Beverage Group » et « Tchiobo GmbH », cherchent à augmenter leurs parts de marché ainsi que leurs ventes mondiales et nationales (178).

L'intérêt pour le marché du café instantané est également important. Ce marché est d'abord segmenté par arômes, incluant le café instantané aromatisé et non-aromatisé. Ce dernier est également segmenté par type d'emballage, comprenant soit des sachets, soit des pots. Un autre point à prendre en considération est la technologie de production. En effet, le café instantané peut être soit lyophilisé, soit séché par atomisation. Ensuite, le canal de distribution peut passer par des supermarchés, des détaillants spécialisés, des canaux en ligne, ainsi que d'autres canaux de distribution. Pour finir la géographie, couvrant l'Amérique du Nord, l'Europe, l'Asie-Pacifique, l'Amérique du Sud, le Moyen-Orient et l'Afrique. Le marché du café instantané devrait enregistrer un taux de croissance annuel composé (TCAC) de 5,28 % entre 2023 et 2028 (27).

« Nestlé SA », avec sa marque « Nescafé », est considéré comme un des principaux acteurs internationaux détenant une part importante du marché mondial. Les autres acteurs de premier plan incluent « Starbucks Corporation », « Kraft Foods Inc. », « Tata Consumer Products Lfd » et « Unilever PLC ». De plus, ces entreprises investissent dans les canaux de distribution en ligne, visant à cibler les consommateurs à la recherche de commodité (27).

### **7.4.3 État des lieux du marché des boissons énergisantes**

Pour finir, le marché des boissons énergisantes a été analysé. Celui-ci est également segmenté en fonction du type d'emballage (bouteilles ou canettes), du canal de distribution (supermarchés, magasins spécialisés ou vente en ligne) et de la géographie (Royaume-Uni, Allemagne, France, Espagne, Italie, Russie ainsi que le reste de l'Europe). Le marché des boissons énergisantes connaît une croissance rapide en Europe. Les principaux acteurs du marché sont « Red Bull », « Monster », « Lucozade », « PepsiCo » et « Dr Pepper Snapple ». De plus, les marques utilisent un marketing agressif, avec l'utilisation de plus en plus importante des médias sociaux. Elles collaborent également avec des sportifs afin d'augmenter leur visibilité (179).

## **7.5 Analyse de l'univers concurrentiel**

Analyser les concurrents dans un marché tel que celui du produit alimentaire est un défi car celui-ci est totalement innovant. Par conséquent, une analyse de la concurrence directe est impossible vu que celle-ci est inexistante. L'analyse de l'univers concurrentiel se focalisera donc sur les concurrents indirects.

### **7.5.1 Concurrents directs**

Un concurrent direct est une entreprise qui propose un produit similaire à l'offre proposée (logique sectorielle), dans la même zone de prix (175). Etant donné le choix de se distinguer en innovant sur la forme ainsi que sur les superaliments utilisés dans le produit, aucun concurrent direct n'existe à l'heure actuelle. En effet, aucune boisson instantanée sous forme de sphère contenant du moringa n'est présente sur le marché. Cet ingrédient peu connu du consommateur belge se retrouve dans peu de produits.

### **7.5.2 Concurrents indirects**

Un concurrent indirect est une entreprise qui satisfait le même besoin, mais dans une catégorie budgétaire différente (logique d'usage) (175). De ce fait, plusieurs concurrents indirects existent.

Tout d'abord, divers concurrents indirects se trouvent au niveau de l'effet recherché du produit, qui est de procurer un boost d'énergie sans contenir de caféine. Parmi eux, différents types de thés, disponibles en vrac ou en sachets. Le thé apporte un certain boost d'énergie grâce à la présence de théine. De plus,

les consommateurs l'apprécient également pour ses bienfaits pour la santé. Les thés sont disponibles aussi bien dans les supermarchés que dans les magasins spécialisés.

Le thé matcha connaissant une popularité croissante est un concurrent indirect au niveau du produit étant donné que le matcha ressemble très fortement au moringa, si ce n'est que le produit innovant ne contient pas de caféine. Néanmoins, le matcha offre aussi des avantages similaires en termes de bienfaits pour la santé grâce à sa forte teneur en antioxydants. Étant principalement vendu sous forme de poudre, ce dernier nécessite une technique de préparation bien particulière. Ces dernières années, le matcha est de plus en plus populaire, donnant lieu à des déclinaisons telles que le matcha vanille ou encore le matcha fraise.

En outre, les tisanes sont également considérées comme concurrents indirects, se distinguant des thés car celles-ci ne contiennent pas de théine, et sont également consommées en vrac ou en sachets. Comme pour le thé, les consommateurs peuvent en trouver dans les supermarchés ainsi que dans des magasins spécialisés.

D'autres concurrents indirects sont les cafés instantanés et les cafés gourmands, qui partagent les mêmes caractéristiques. D'un côté, ceux-ci fournissent un boost d'énergie et offrent une certaine praticité pour les consommateurs et sont également disponibles en vrac ou en sachets. De plus, ces produits sont appréciés pour leur côté plaisir et réconfortant.

Pour compléter la gamme des boissons chaudes, le produit se rapproche également du chocolat chaud. Différentes variétés de chocolat chaud existent, en poudre ou encore sous forme de bâtonnet à dissoudre dans du lait chaud. Cette boisson est surtout recherchée pour son plaisir et son côté réconfortant.

Des concurrents indirects qui diffèrent un peu du produit innovant sont les boissons énergisantes. En effet, ces boissons apportent aussi un certain boost d'énergie mais celui-ci est plutôt chimique. Ainsi, elles s'éloignent de l'aspect santé en raison de leur contenu souvent riche en substances énergisantes et en sucre. Dans cette catégorie, les cafés froids prêts à boire peuvent également être classés.

En ce qui concerne les concurrents au niveau de l'aspect technologique, un concurrent indirect significatif est « Waterdrop ». Leur proposition de valeur est d'apporter un goût à l'eau afin d'inciter le consommateur à boire plus. Correspondant à des capsules aromatisées qui ne contiennent pas de sucre mais seulement des arômes. Cette entreprise est également considérée comme des concurrents indirects en raison de la similarité de leurs capsules avec la technologie de dissolution envisagée pour la sphère, permettant de reconstituer la boisson. De plus, leur gamme comprend des capsules ayant un effet énergisant et celles-ci contiennent de la caféine.

Enfin, « Coffee B » peut également être mentionné. Ces capsules de café compressés sont enrobées d'un film à base d'algue, permettant l'absence d'emballage autour du produit.

Le tableau 64 récapitule les différents concurrents indirects principaux.

**Tableau 64 : Récapitulatif des principaux concurrents indirects**

Concurrents indirects	Types de concurrents indirects	Endroits de distribution	Marques	Prix
Le thé en vrac ou en sachet	Concurrent au niveau de l'effet « boost » de la boisson.  Concurrent au niveau des bienfaits de la boisson.  Concurrent au niveau de la praticité des produits qui peuvent être consommés en vrac ou à l'unité.	Supermarchés : Lipton, Twinings	  	3,19 € pour 20 sachets (0,15 € l'unité)  2,79 € pour 25 sachets (0,11 € l'unité)
		Magasins spécialisés : Palais des thés		10,90 € pour 20 sachets (0,54 € l'unité)  10,50 € le sachet en vrac de 100g (0,42 € l'unité)
		Magasins spécialisés et parapharmacies : Teatower		9,50 € pour 20 sachets (1,05 € l'unité)  9,50 € le sachet de 50 g (0,76 € l'unité)
		Magasins Bio : Yogi Tea		3,59 € pour 17 sachets (0,21 € l'unité)

Le thé matcha	Concurrent au niveau <b>des bienfaits</b> mais contient de la caféine.  Concurrent au niveau <b>du produit</b> (matcha proche du moringa).	Magasins spécialisés : Palais des Thés		13,50 € pour 20 g (2,7 € l'unité)
		Magasins spécialisés et parapharmacies : Teatower		15,90 € pour 50 g (1,27 € l'unité)
		Magasins spécialisés en nutrition et parapharmacie : Purasana		19,95 € pour 75 g (1,06 € l'unité)
		E-commerce : Milia matcha		34,90 € pour 30 g (4,65 € l'unité)

		E-commerce : Anatae		22,90 € pour 30 g (3,05 € l'unité)
Le latte « Matcha et Moringa latte » de la marque Purasana : Mélange sous forme de poudre prêt à l'emploi.	Concurrent au niveau <b>du produit</b> .	Magasins spécialisés, parapharmacies et magasins bio : Médimarket, Biocap, Bioplanet		12,50 € pour 120 g (0,41€ l'unité)
Les tisanes en vrac ou en sachet	Concurrent au niveau <b>des bienfaits</b> et ne contient pas de théine.  Concurrent au niveau de la <b>praticité</b> des produits qui peuvent être consommés en vrac ou à l'unité.	Supermarchés : Lipton		3,19 € pour 20 sachets (0,15 € l'unité)
		Magasins spécialisés : Palais des thés		14,00 € pour 20 sachets (0,7 € l'unité)  14,90 € pour un sachet en vrac de 100 g (0,59 € l'unité)  18,40 € pour une boîte en métal contenant 100 g (0,73 € l'unité)

		Magasins spécialisés et parapharmacies : Teatower		7,90 € pour 80 g (0,39 € l'unité) 9,60 € pour 20 sachets (0,48 € l'unité)
Le café instantané	Concurrent au niveau de l'effet « boost » de la boisson. Concurrent au niveau de la praticité de la boisson (peut être consommé en vrac).	Supermarchés : Nescafé et marques distributeurs		6,19 € pour 100 g (0,24 € l'unité)
Le café instantané « gourmand » en vrac ou en sachet	Concurrent au niveau de l'aspect « plaisir et réconfort de la boisson » Concurrent au niveau de la praticité de la boisson.	Supermarchés : Nescafé et marques distributeurs		8,39 € pour 250 g (0,33 € l'unité)
				4,59 € pour 148 g (0,57 € l'unité)
Le café froid vendu individuellement déjà prêt	Concurrent au niveau de la praticité de la boisson. Concurrent au niveau de l'aspect « plaisir et réconfort de la boisson »	Magasins spécialisés : Starbucks		2,19 € pour 22 cl

	Concurrent au niveau de l'effet « <b>boost</b> » de la boisson.	Supermarchés : marques distributeurs		0,75 € pour 25 cl
Le chocolat chaud sous forme de poudre	Concurrent au niveau de l'aspect « <b>plaisir et réconfort</b> de la boisson ».	Supermarchés : Nesquik		3,19 € pour 500 g (0,10 € l'unité)
Chocolat chaud sous forme de bâton à tremper dans du lait	Concurrent au niveau de l'aspect « <b>ludique et originale</b> de la boisson ».  Concurrent au niveau de l'aspect « <b>plaisir et réconfort</b> de la boisson ».	Magasins spécialisés : Léonidas		2,30 € pour 36 g, correspondant à un bâtonnet
Les boissons énergisantes	Concurrent au niveau de l'effet « <b>boost</b> » de la boisson mais contient de la caféine et d'autres stimulants.	Supermarché : Red bull		2,49 € pour 47,3 cl
		Supermarché : Nalu		1,50 € pour 25 cl
		Supermarché : Monster		1,75 € pour 50 cl

<p>Waterdrop : Capsule qui se dissout dans l'eau permettant de donner un goût à l'eau. Déclinaison de la gamme au niveau des effets souhaités (boost d'énergie, capsule pour sportifs...).</p>	<p>Concurrent au niveau de la <b>technologie développée</b> (effet de dissolution).</p>	<p>E-commerce : vente en ligne directement sur le site Waterdrop.  Supermarchés et magasins de la marque également.</p>		<p>9,99 € pour 12 capsules (0,83 € l'unité)</p>
<p>Coffee B : Sphère de café enrobée dans une coque à base d'algue permettant de ne pas avoir d'emballage en plastique et ou métal autour.</p>	<p>Concurrent au niveau de la <b>forme</b>.  Concurrent au niveau de la <b>praticité</b> de la boisson.  Concurrent au niveau de l'<b>effet « boost »</b> que peut apporter ce genre de boisson.  Concurrent au niveau de l'<b>aspect « ludique et originale</b> de la boisson ».   Concurrent au niveau de <b>l'innovation et technologie développée</b>.</p>	<p>E-commerce : vente en ligne directement sur le site Coffee B.  Supermarchés également.</p>		<p>3,49 € pour 9 unités (0,38 € l'unité)</p>

Tableau 64 : Récapitulatif des concurrents indirects principaux.

## 7.6 Segmentation et Ciblage

Une entreprise ne pouvant s'adresser à tous les acheteurs potentiels de la même manière, la segmentation du marché est importante. Cela permet de cibler un ou plusieurs segments et enfin de développer un positionnement du produit pour chaque segment ciblé. Un segment correspond ainsi à des acheteurs potentiels avec un comportement homogène. Le marché a été segmenté à l'aide des critères de segmentation présentés dans le tableau 65, en utilisant des critères liés aux caractéristiques intrinsèques des consommateurs (175).

Socio-démographiques	Psychographiques	Géographiques
<b>Age</b> : 20-60 ans <b>Éducation</b> : bon niveau <b>Niveau de revenu</b> : élevé <b>Cycle de vie familiale</b> : célibataire, marié	<b>Style de vie</b> : actif ou sédentaire <b>Valeur</b> : sensibilisé à une alimentation par les plantes <b>Personnalité</b> : curieux, en quête de tester de nouveaux produits alimentaires	<b>Lieu de résidence</b> : Ville et périphérie de ville : Fédération Wallonie-Bruxelles (FWB) <b>Pays</b> : Belgique

Tableau 65 : Critères de segmentation utilisés pour segmenter le marché.

Après avoir segmenté le marché, le ciblage permet de mesurer l'attractivité de chaque segment puis de choisir celui ou ceux à cibler. Les personas créés au point 7.6.2, permettent de dresser des profils de clients types afin de mieux les cibler. Ainsi, le segment visé est les hommes et les femmes âgés de 20 à 60 ans, ayant un bon niveau d'éducation, un certain niveau de revenu et étant curieux de découvrir de nouveaux produits. Ce segment ciblé pourrait donc être sensible à une alternative originale et ludique aux boissons telles que le café, le thé, les tisanes, le chocolat chaud et les boissons énergisantes (175).

### 7.6.1 Positionnement et marketing mix (4P)

En fonction de la cible commerciale choisie, l'entreprise va pouvoir définir son positionnement marketing. Celui-ci vise à déterminer la place que la marque souhaite occuper dans l'esprit du consommateur, les valeurs qu'elle souhaite incarner et les promesses véhiculées par rapport aux offres concurrentes, cela correspond donc de l'identité de marque. Un bon positionnement est clair, simple, original, durable, crédible par rapport à l'offre commerciale proposée et cohérent avec la cible marketing visée par l'entreprise. Ainsi, le positionnement permet de créer de la valeur aux yeux du consommateur et d'influencer son attitude à l'égard de la marque (175).

Pour définir le positionnement, plusieurs étapes sont nécessaires. D'abord, l'identification de l'univers concurrentiel et l'analyse des concurrents comme réalisé au point 7.5 est crucial. Ensuite, identifier les points de différence et de similarité entre la marque et ses concurrents afin de déterminer son avantage concurrentiel est indispensable (175). Le produit innovant proposé se différencie des produits concurrents par sa forme, ses ingrédients et sa fonctionnalité.

Le positionnement se formule donc comme tel : « *Pour les personnes curieuses, ayant un certain revenu et un bon niveau d'éducation, souhaitant découvrir une nouvelle alternative aux boissons telles que le café, le thé, les tisanes, le chocolat chaud et les boissons énergisantes, nous offrons un produit à la fois original, ludique, tout en étant réconfortant. Notre produit innovant sous forme de sphère unitaire contenant du moringa permet au consommateur de déguster une boisson chaude originale n'importe où et à n'importe quel moment* ». Une stratégie de différenciation est adoptée afin de se distinguer du

positionnement des concurrents. L'offre commerciale est perçue comme unique, mettant l'accent sur l'avantage concurrentiel de la marque. Le positionnement se résume souvent par un slogan de marque. Un mantra pourrait donc se formuler comme « Une innovation végétale dans chaque gorgée ».

La dernière étape consiste à mettre en œuvre le positionnement et à faire percevoir aux clients ce que la marque veut leur offrir et les raisons de la choisir. La mise en œuvre du positionnement est donc déclinée dans toutes les actions marketing (aussi appelé marketing opérationnel ou mix) : Produit, Prix, Promotion (communication) et Place (distribution) (175).

### 7.6.1.1 Produit

La politique produit vise à définir les caractéristiques globales du produit et à mettre en avant ses avantages, en mettant particulièrement l'accent sur sa qualité et son conditionnement (180). Le latte instantané proposé n'est pas un produit d'achat courant mais se situe plutôt entre les catégories des produits de spécialité et les produits non recherchés. En effet, cela nécessite un effort d'achat particulier et présente des caractéristiques uniques, vu que c'est une innovation inconnue pour les consommateurs qui nécessite donc une stratégie marketing attentive (175).

Comme précédemment expliqué, une extension de gamme peut être envisagée, plus particulièrement une extension horizontale. En effet, celle-ci correspond à l'adjonction de nouveaux produits entre ceux existants, c'est-à-dire à de nouvelles lattes à base d'autres superaliments ou sous une autre forme que la sphère. Le risque associé à cette extension est la confusion dans l'esprit des clients, cannibalisation potentielle et des coûts élevés (175).

### 7.6.1.2 Prix

Le prix est la seule variable du marketing mix qui génère un revenu pour l'entreprise, permettant également de communiquer la valeur que l'entreprise souhaite conférer à sa marque et à ses produits. Cependant, c'est une décision complexe qui nécessite de prendre compte plusieurs éléments : l'entreprise, les clients, la concurrence, l'environnement marketing, la stratégie marketing, les marchés ciblés ou encore le positionnement (175).

Effectivement, le prix joue un rôle crucial dans la décision d'achat des consommateurs. Ces derniers évaluent et interprètent les prix en fonction de leur connaissance du produit (expériences d'achat antérieures) et des communications perçues (formelles et informelles) recueillies sur le lieu d'achat ou sur internet. Dans la psychologie des consommateurs, cela correspond donc au prix de référence interne (issu de la mémoire du consommateur) et au prix de référence externe (influencé par l'environnement du consommateur) (175).

Concernant le positionnement du prix du produit innovant proposé, un prix haut de gamme, comparable à celui d'un bon café ou thé de qualité est envisagé. Néanmoins, la fixation du prix est assez complexe. En effet, l'absence de concurrents directs rend difficile l'utilisation de la stratégie d'alignement des prix. Cela semblait donc plus pertinent de s'aligner avec certains produits comme le matcha ou les cafés gourmands, qui ciblent également une population proche de la cible visée. Les étapes du processus de fixation du prix se trouvent au point 7.10.

De plus, si le prix est trop élevé, les ventes risquent de diminuer, tandis qu'un prix trop bas, est souvent associé à un produit de faible qualité. Par conséquent, l'avis des consommateurs par rapport à la définition du prix via une étude de marché est intéressant.

Ainsi, dans l'étude de marché commentée au point 7.9, les personnes ayant répondu au questionnaire estiment un prix moyen de 2 € pour une sphère de 30 g correspondant à une boisson de 200 ml.

Néanmoins, ce prix doit également comprendre les coûts de production et des matières premières (175).

### 7.6.1.3 Place (distribution)

Le canal de distribution est l'ensemble des organisations indépendantes qui interviennent dans le processus par lequel les produits ou services sont mis à disposition des consommateurs et des utilisateurs. L'importance des canaux de distribution est considérable puisque ces derniers ont une incidence sur toutes les autres variables du mix. De plus, c'est une décision qui engage l'entreprise à long terme et les coûts de distribution sont généralement importants (175).

Le choix des intermédiaires est fondamental car ceux-ci incarnent l'entreprise aux yeux des clients. Les caractéristiques qui permettent de distinguer les meilleurs parmi tous les intermédiaires doivent être établies. Cela peut se faire par leur expérience, leur aptitude à coopérer, leur réputation, leur emplacement, ainsi que la taille et qualité de la force de vente ou encore le profil de leur clientèle... Ainsi, le fabricant ne doit pas se contenter de vendre par les intermédiaires, mais également aux intermédiaires. Le trade marketing correspond ainsi au marketing réalisé à l'intention du distributeur en le considérant comme un client et en lui appliquant l'ensemble de la démarche marketing (175).

Le changement de canal de distribution est possible en fonction des résultats obtenus, de l'évolution du marché et des comportements d'achat, de l'arrivée de nouveaux concurrents ou encore de l'émergence de nouveaux canaux de distribution (175).

Dans le cadre du produit alimentaire innovant, une stratégie pull et non push, c'est-à-dire que la stratégie adoptée se fonde sur la communication au consommateur et en particulier la publicité et non l'appui sur la distribution et la force de vente sera mise en place.

Le point concernant la distribution est décrit dans le Business Model Canvas (BMC) proposé au point 7.8. Ainsi, deux canaux sont intégrés : la distribution traditionnelle dans des épiceries, dans des cafés, dans des événements ou encore dans des spas. Via des collaborations mais aussi la vente en ligne sur internet. L'utilisation de deux canaux de distribution est complémentaire puisque cela présente plusieurs avantages comme l'obtention de services et de conseils d'utilisation, la possibilité de vérifier la disponibilité des produits chez les distributeurs en présents ou encore de commander en ligne et de récupérer en boutique. De plus, une distribution traditionnelle sélective est souhaitée, limitée à des distributeurs soigneusement sélectionnés.

Dans un premier temps, le pays de production et de distribution du produit innovant sera la Belgique uniquement. Néanmoins, l'évolution du circuit de distribution est importante, notamment en prenant en compte les conditions locales, les menaces et opportunités, les ressources et compétences, ou encore le cycle de vie du produit.

### 7.6.1.4 Promotion (communication)

La communication marketing correspond à tous les moyens employés par une entreprise pour informer et persuader les clients actuels et potentiels, directement et indirectement, sur les marques, les produits et les services qu'elle commercialise. La communication intégrée permet de combiner plusieurs outils de communication et de les faire varier en fonction des étapes de la campagne. Cela permet notamment de maximiser l'audience et l'impact.

Les canaux de communication choisis sont la publicité via du marketing mobile sur les réseaux sociaux, internet et des partenariats dans des événements (175).

## 7.6.2 Personas

Les personas sont des représentations fictives de clients types basées sur des données démographiques, comportementales et psychologiques réelles. Leur réalisation aide à mieux comprendre et cibler le public. En outre, les personas permettent de comprendre les besoins, les motivations, les préférences et les comportements des potentiels clients. Afin de produire des messages marketing pertinents, de développer des produits et des services qui répondent mieux aux besoins des clients et de concevoir des expériences personnalisées. De plus, les personas aident également à générer les hypothèses pour l'enquête qualitative qui sera réalisée (175).



25 ANS,  
CÉLIBATAIRE,  
JOURNALISTE,  
HABITE A BRUXELLES

# Mathilde

“SI TU AS LA CHANCE DE TROUVER LE MODE DE VIE QUE TU AIMES, TU DOIS TROUVER LE COURAGE DE LE VIVRE !”

## PERSONNALITÉ



**ORGANISÉE  
SOUCIEUSE  
DÉTERMINÉE**

## BUTS CLÉS

- Mathilde aimerait trouver une alternative au café.
- Elle désire découvrir de nouveaux produits sains et rapides.

## FRUSTRATIONS

- Mathilde a une vie chargée avec peu de temps pour se préparer des boissons chaudes le matin.
- Elle consomme beaucoup de boissons énergétiques telles que le café du au manque de sommeil. Elle aimerait trouver une alternative.

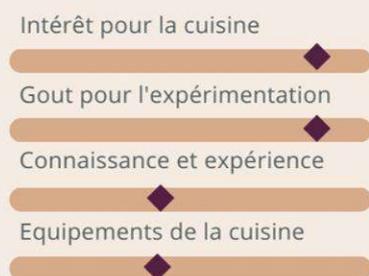
## HISTOIRE DE CUISINE

- Ayant une vie très active de par son boulot, elle recherche des produits pratiques, rapides et faciles à préparer.
- Elle aimerait également diminuer sa consommation de caféine car elle consomme énormément de boissons énergétiques.
- Elle est enclin à tester de nouveaux produits.

## TECHNOLOGIES



## COMPORTEMENTS



## MOTIVATIONS D'ACHAT



## MARQUES





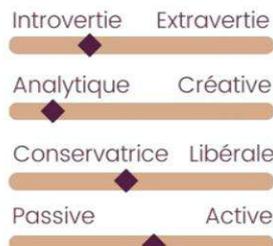
50 ANS,  
PERE CÉLIBATAIRE,  
2 ENFANTS,  
COMPTABLE EXPERT,  
HABITE EN PÉRIPHÉRIE  
DE BRUXELLES

# David

"IL FAUT TOUTE LA VIE POUR APPRENDRE À VIVRE !"

## PERSONNALITÉ

**SIMPLE,  
ATTENTIONNÉ,  
CURIEUX**



## BUTS CLÉS

- David est avide de découvrir des alternatives au cafés/thés car il s'en est lassé à son boulot.
- Il est sensible à son bien être mental et retrouver une vie de bonheur après sa rupture. Son bien être passe avant tout par une alimentation réconfortante.

## FRUSTRATIONS

- David ne trouve plus de plaisir à manger ni boire et cherche de nouveaux goûts susceptibles de lui plaire.
- Il a peur de vieillir et des problèmes de santé qui vont avec.

## HISTOIRE DE CUISINE

- David essaye de se reprendre en main après sa rupture. Il est à la recherche de nouveaux goûts car il ne trouve plus de plaisir en mangeant.
- De plus, étant un père célibataire de 45 ans, il aimerait faire découvrir de nouveaux produits à son fils.
- Suite à cela, il essaye de changer ses habitudes en se dirigeant vers des enseignes locales.

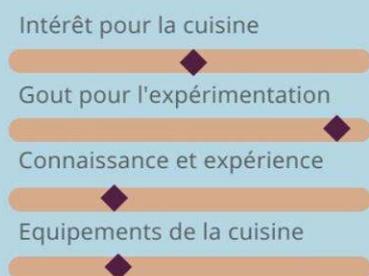
## MARQUES



## TECHNOLOGIES



## COMPORTEMENTS



## MOTIVATIONS D'ACHAT



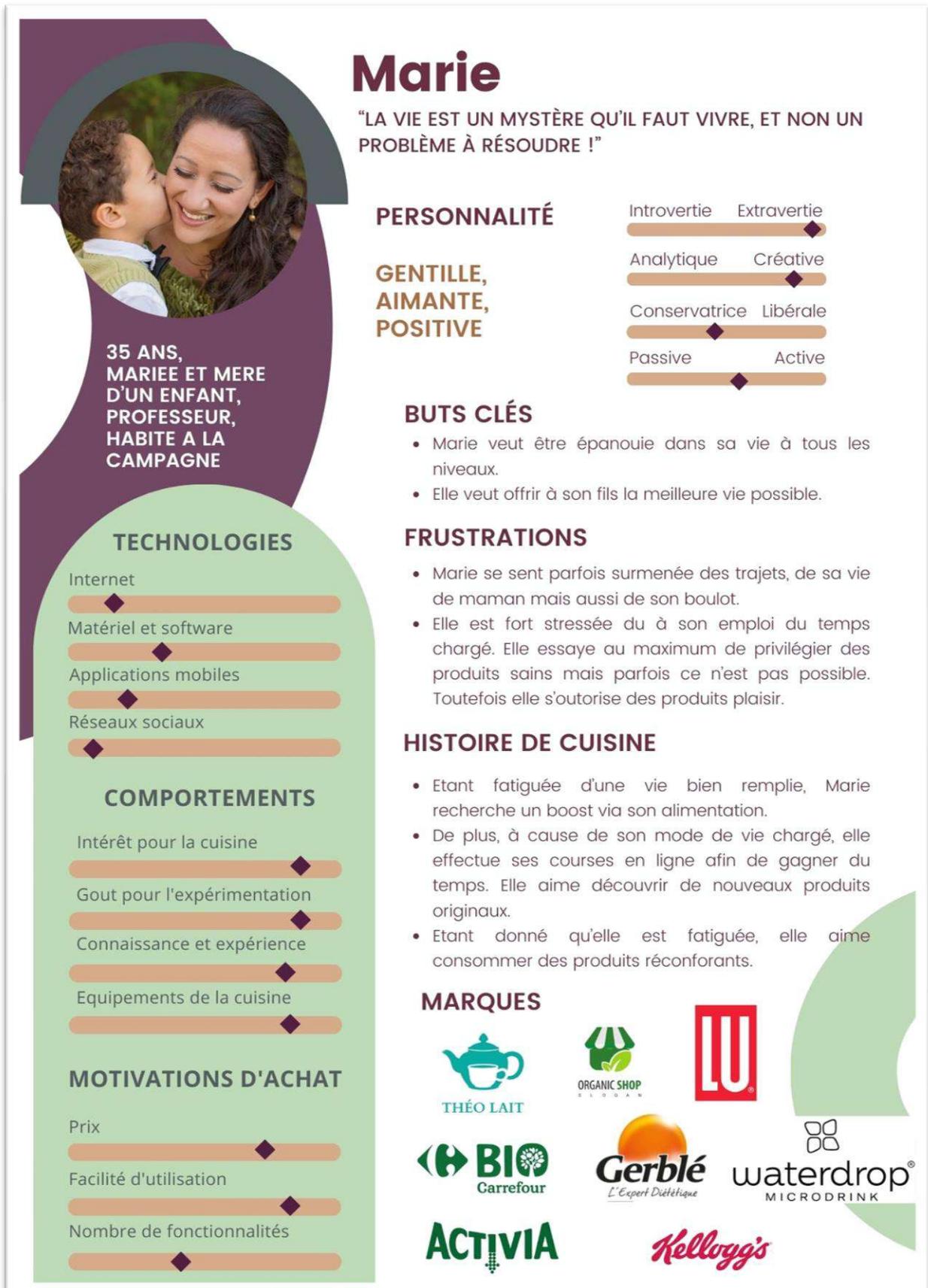


Figure 34 : Personas.

## 7.7 Carte d'empathie

La carte d'empathie est un outil collaboratif et visuel qui aide à mieux comprendre les pensées, les besoins, les désirs et les préoccupations des utilisateurs potentiels du produit alimentaire innovant. Elle se réalise sous forme d'une synthèse visuelle de toutes les connaissances disponibles au sujet de l'utilisateur ou du client. Traditionnellement, pour cartographier l'empathie, il faut créer une grille avec quatre cases et une représentation de l'utilisateur au centre. Ainsi les cases correspondent aux suivantes :

- **Dit** : ce que dit l'utilisateur face au produit, lors d'un entretien, ou dans un autre contexte (affirmer sa confiance dans telle marque, exprimer ses propres objectifs...).
- **Pense** : ce que l'utilisateur pense de l'expérience au moment où elle se déroule (parfois ses pensées rejoignent ses propos mais il peut aussi y avoir des contradictions).
- **Fait** : les actions entreprises (comparer les produits, demander conseil à un ami...).
- **Ressent** : l'état émotionnel de l'utilisateur ou du client (impatience, inquiétude, excitation...).

Ainsi, la carte d'empathie permet d'affiner la stratégie de marketing, de communication et de développement de produit (181). La carte d'empathie crée dans le cadre du projet se trouve à la figure 37.

## 7.8 Business model Canvas

Le Business model Canvas (BMC) représente tous les éléments qui permettent d'avoir une vision graphique autour du modèle d'affaire. Ce dernier souligne la valeur proposée par une entreprise qui constitue la réponse qu'elle apporte personnellement à un besoin identifié. Ainsi, le BMC présenté à la figure 38, permet d'établir une stratégie commerciale et de s'ajuster en fonction de la concurrence. Le BMC est un outil stratégique qui peut évidemment être ajusté en fonction de la réalité rencontrée sur le terrain.

### 7.8.1 Business model Canvas classique

Le concept classique du BMC peut être élargi à un modèle plus durable qui inclut les dimensions environnementales et sociales. Cette approche offre une perspective holistique du modèle commercial, mettant en avant une consommation réfléchie et répondant aux divers besoins de la société. Les trois niveaux du modèle de bien-être doivent être considérés de manière indépendante pour permettre une analyse intégrée de chaque approche. De plus, des liens verticaux peuvent être établis entre ces trois niveaux pour renforcer la proposition de valeur de l'entreprise (182).

### 7.8.2 Business Model Canvas Environnemental

Le modèle d'évaluation environnementale vise principalement à évaluer les impacts environnementaux des produits, à la fois positifs et négatifs. Généralement, dans l'analyse du cycle de vie d'un nouveau produit alimentaire, les étapes les plus impactantes sur l'environnement sont la production, le choix des matières premières et les moyens de transport utilisés (182).

### 7.8.3 Business Model Canvas Sociétal

En ce qui concerne le modèle sociétal, celui-ci établit la relation entre le produit et son environnement social, reposant sur une analyse du cycle de vie sociétal, c'est-à-dire les impacts sociaux et socio-économiques du produit tout au long de sa vie. Ces impacts se concentrent sur le capital humain, le bien-être humain, le patrimoine culturel et les comportements sociaux. Ils sont observés à travers différents groupes d'individus (employés, consommateurs, communauté locale, etc.) (182).

Les aspects mis en avant dans le cas du produit innovant incluent l'association du plaisir et de la santé, mais aussi la collaboration avec les partenaires locaux pour la promotion d'une alimentation plus saine.

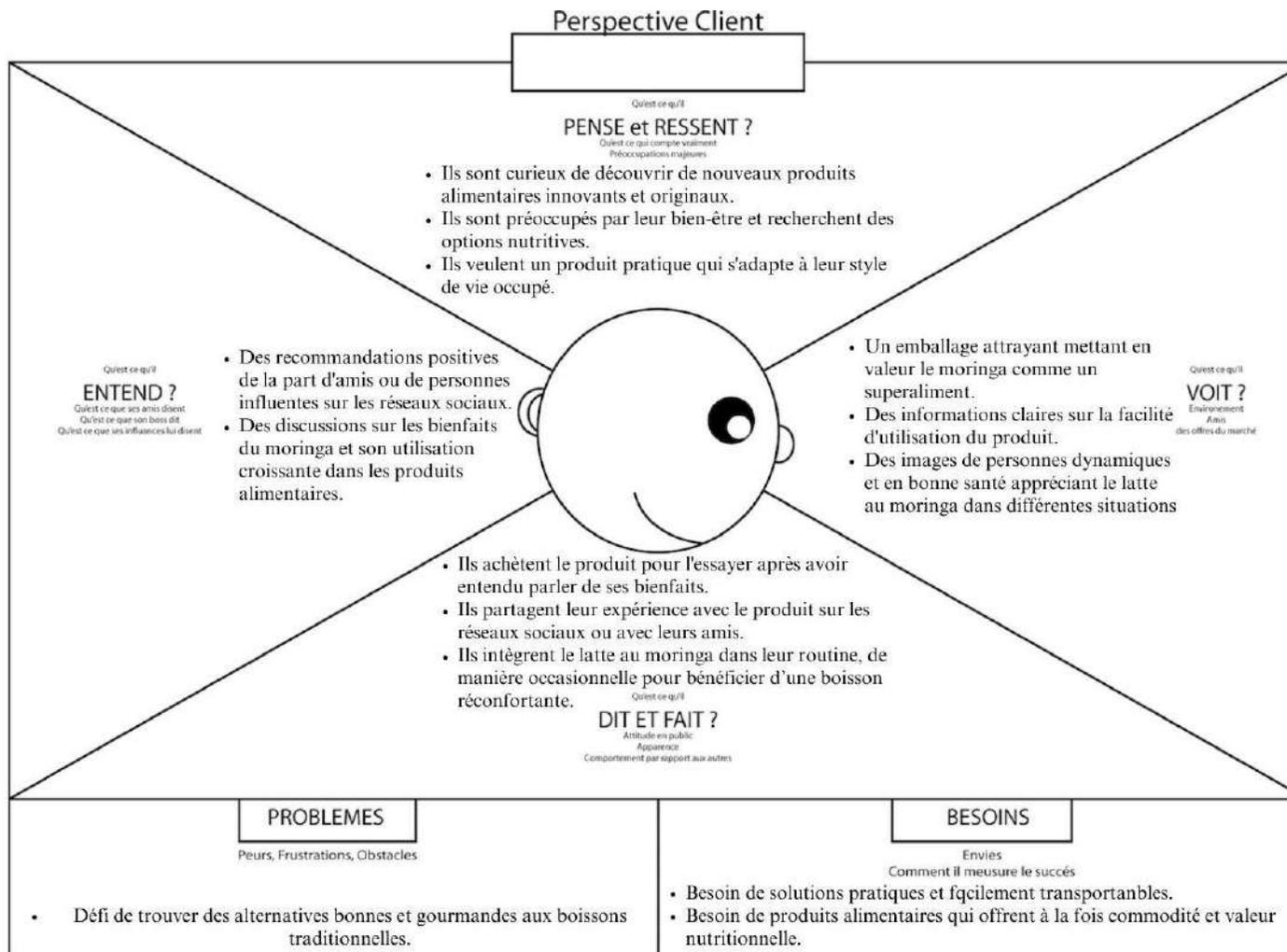


Figure 35 : Carte d'empathie.

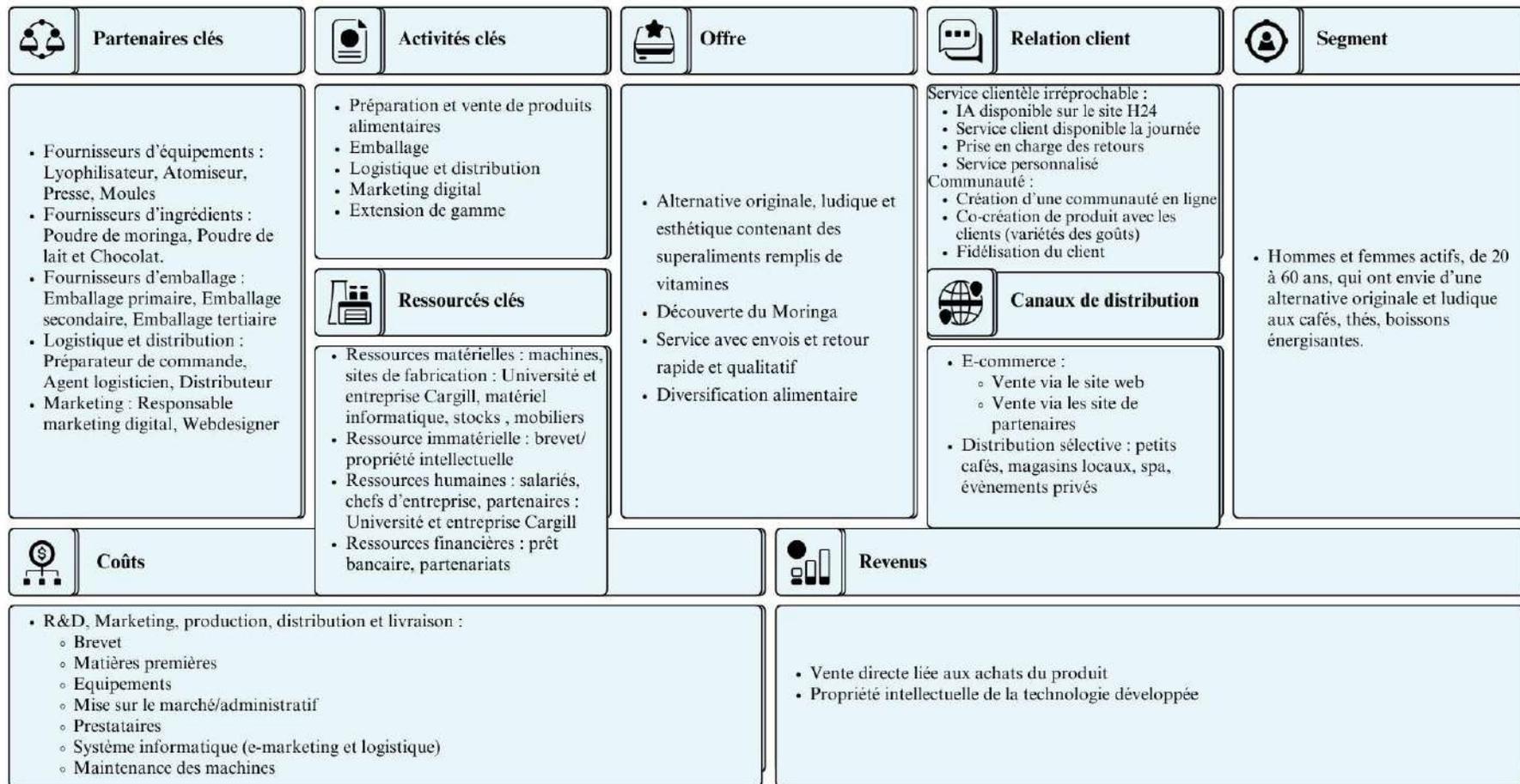


Figure 36 : Business Model Canvas Classique.

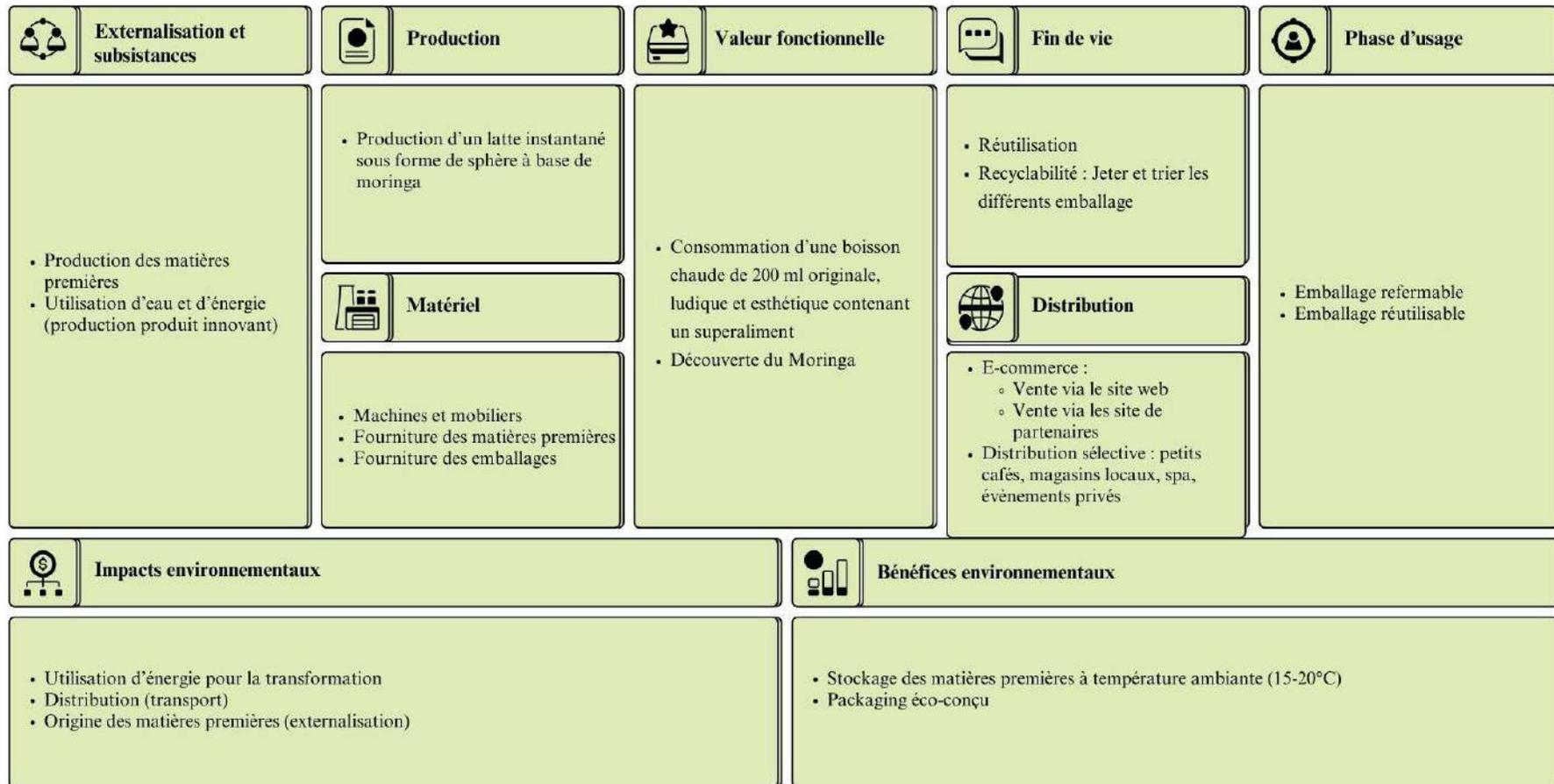


Figure 37 : Business Model Canvas Environnemental.

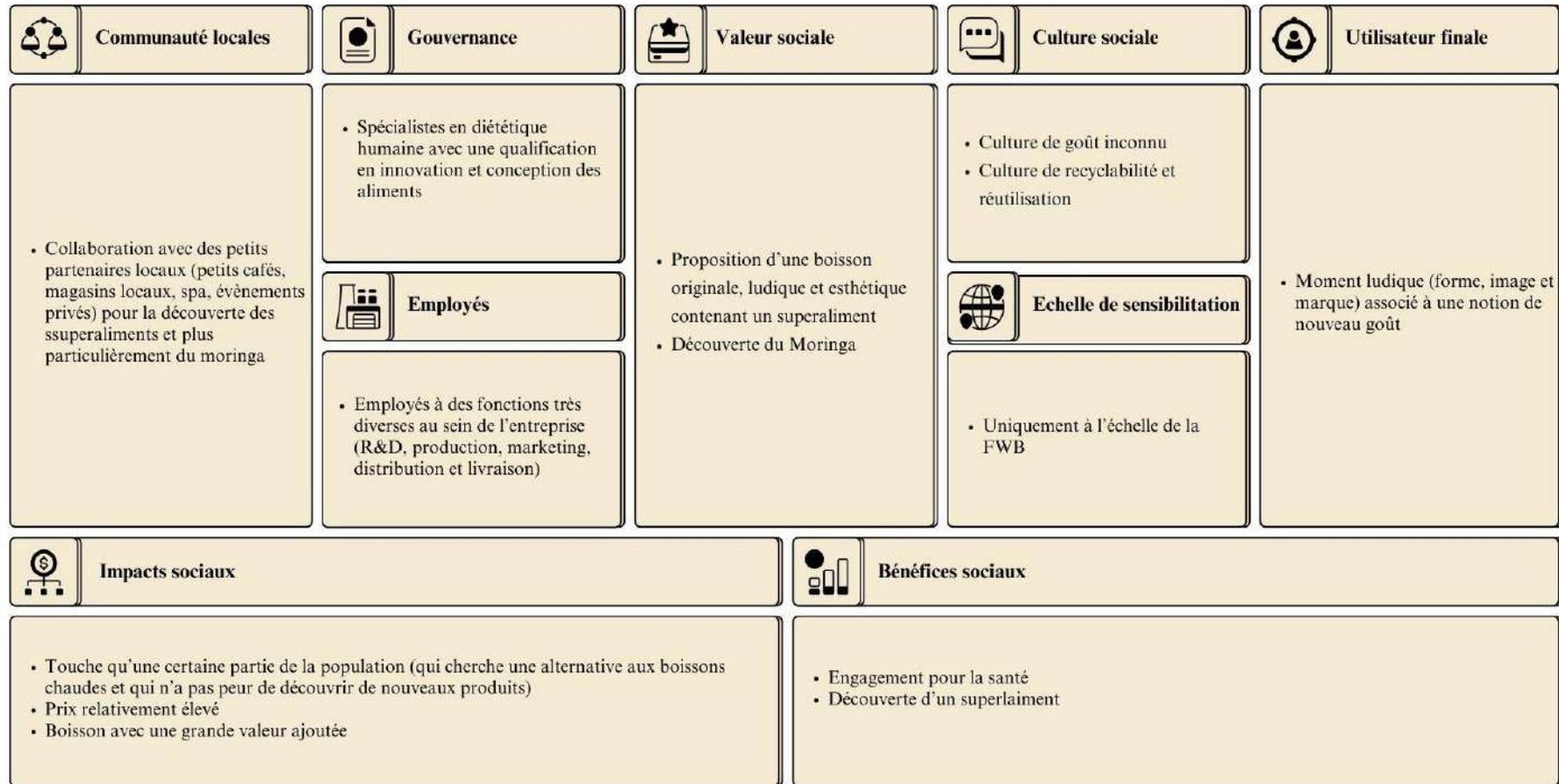


Figure 38 : Business Model Canvas Social.

## 7.9 Étude de marché

L'étude de marché a pour but principal de recueillir un maximum d'informations sur les consommateurs, les concurrents et les composantes de son environnement.

### 7.9.1 Pré-enquête

La pré-enquête, avant de procéder à l'étude quantitative en marketing, vise à approfondir la compréhension du domaine d'étude.

Tout d'abord, l'étude a été réalisée auprès de consommateurs déjà sensibilisés en allant directement dans un magasin local et dans un petit café, situés à Gembloux, tous deux susceptibles de vendre le produit alimentaire innovant.

Les données ont été récoltées via des entretiens face à face. Le produit leur a été exposé puis leur avis sur celui-ci a été pris en considération. Les retours ont offert des détails plus spécifiques sur les besoins, les valeurs, les motivations et les obstacles liés au produit. Les éléments essentiels identifiés au cours de ces conversations sont résumés dans le tableau 66.

<b>Besoin</b>	Nouvelle alternative ludique et esthétique aux boissons telles que le café, le thé, les tisanes, le chocolat chaud et les boissons énergisantes.
<b>Valeurs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Découverte d'un ingrédient de qualité : la plante de moringa</li> <li>- Produit original, ludique et esthétique</li> <li>- Produit réconfortant</li> <li>- Produit pratique et transportable</li> <li>- Produit rapide</li> <li>- Sans caféine</li> <li>- Tendances actuelles de la végétalisation</li> </ul>
<b>Motivations</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extension de gamme (via d'autres formes ou superaliments)</li> <li>- Packaging éco-conçu</li> <li>- Éducation alimentaire avec une sensibilisation aux superaliments</li> <li>- Partenariats possibles</li> <li>- Création d'une communauté autour du produit</li> <li>- Co-création de produits avec les consommateurs en tenant compte des envies</li> </ul>
<b>Freins</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consommation occasionnelle</li> <li>- Néophobie de la population</li> <li>- Aversion du goût et de la couleur</li> <li>- Ciblage de personnes aisées</li> <li>- Complexité du produit aux niveaux des techniques utilisées</li> <li>- Coût élevé du produit fini</li> <li>- Gamme peu diversifiée</li> <li>- Moringa peu présent dans les habitudes de consommation</li> <li>- Ciblage au niveau des canaux de distribution</li> <li>- Ciblage des consommateurs déjà sensibilisés</li> </ul>

Tableau 66 : Besoin, valeurs, motivations et freins mis en avant grâce à la pré-enquête.

## 7.9.2 Problématique et objectif de l'étude de marché

Le lancement de nouveaux produits sur le marché rencontre des défis complexes en apparence. L'analyse SWOT (Strengths-Forces, Weaknesses-Faiblesses, Opportunities-Opportunités, Threats-Menaces) est employée pour identifier les éléments internes et externes favorables ou défavorables à la concrétisation du projet. Cette approche a permis de mettre en lumière diverses difficultés en vue de les résoudre ultérieurement.

L'analyse SWOT permet ainsi de réaliser deux sous-analyses d'une entreprise : une analyse interne concernant les forces et les faiblesses de l'entreprise mais également une analyse externe concernant les opportunités et les menaces de l'environnement. Cette analyse reprend également les forces et les faiblesses du produit innovant. Le tableau 67 reprend l'analyse SWOT.

Strengths-Forces	Weaknesses-Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Absence de concurrent direct</li> <li>- Produit original, esthétique et ludique</li> <li>- Produit réconfortant</li> <li>- Sans caféine</li> <li>- Produit pratique, rapide, transportable</li> <li>- Découverte d'un goût nouveau : le moringa</li> <li>- Cible large (20-60 ans)</li> <li>- Ingrédient de qualité : le moringa</li> <li>- Packaging éco-conçu</li> <li>- Tendance actuelle de végétalisation de l'alimentation : produit similaire au matcha dont la consommation est en hausse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nouvelle marque, manque d'expérience</li> <li>- Faible image de marque et pas encore de clientèle</li> <li>- Néophobie de la population</li> <li>- Aversion du goût et de la couleur</li> <li>- Ciblage de personnes aisées</li> <li>- Complexité du produit au niveau des techniques utilisées</li> <li>- Coût élevé du produit fini</li> <li>- Gamme peu diversifiée</li> <li>- Moringa peu présent dans les habitudes de consommation</li> <li>- Ciblage au niveau des canaux de distribution</li> <li>- Ciblage des consommateurs déjà sensibilisés</li> </ul>
Opportunities-Opportunités	Threats-Menaces
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extension de gamme avec d'autres superaliments ou formes possibles</li> <li>- Éducation alimentaire avec une sensibilisation au superfood</li> <li>- Partenariats possibles</li> <li>- Création d'une communauté autour du produit</li> <li>- Co-crédation de produits avec les consommateurs en tenant compte des envies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombreux concurrents indirects sur le marché</li> <li>- Arrivée de concurrents directs</li> <li>- Connaissance du produit</li> <li>- Réglementation alimentaire</li> </ul>

Tableau 67 : Analyse SWOT.

Trois problématiques ressortent de cette analyse SWOT : la fixation du prix, l'appréciation de la plante de moringa par le consommateur mais aussi la place de la marque sur un marché innovant puisque aucun concurrent direct n'existe.

L'objectif de l'étude est le premier point à déterminer avant d'entamer des actions plus concrètes. Celui-ci doit répondre à la question suivante : « Quels sont les freins et les motivations des consommateurs susceptibles d'acheter ce latte instantané sous forme de sphère à base de moringa, et quelles sont les raisons pour lesquelles ceux-ci refuseraient ce produit ? ».

### 7.9.3 Hypothèses

Les hypothèses proposées répondant à la question précédemment citée, impliquent deux éléments liés de manière hypothétique. Chacune est mesurée par un ou plusieurs indicateurs. Ces indicateurs peuvent être de diverses natures : une opinion, une perception ou des données chiffrées. Les hypothèses relatives aux motivations d'achat des patients sont détaillées dans le tableau 68.

	Hypothèses	Indicateurs
1	Lien entre la classe sociale et la motivation d'achat Lien entre le revenu accordé à l'alimentation et la motivation d'achat	Revenu Intention d'achat
2	Lien entre le niveau d'éducation et la motivation d'achat	Niveau d'éducation (diplôme obtenu) Intention d'achat
3	Lien entre le secteur professionnel et la motivation d'achat Rem : dans les bureaux, plus susceptibles d'acheter	Secteur professionnel Intention d'achat
4	Lien entre la consommation de cafés, thés, boissons énergisantes et l'intention d'achat	Consommation de boissons énergétiques Intention d'achat
5	Lien entre les habitudes de consommation alimentaire et l'intention d'achat Lien entre les magasins fréquentés et l'intention d'achat Rem : faire ses courses dans un magasin local	Habitudes de consommation alimentaire Intention d'achat
6	Influence des critères d'achat sur l'intention d'achat Rem : critères sur la composition, la transformation	Critères de choix des produits Intention d'achat
7	Influence du caractère innovant sur l'intention l'achat Rem : plus pour les early adopters	Caractère innovant (forme et/ou goût) Intention d'achat
8	Influence du caractère ludique et esthétique sur l'intention d'achat	Caractère ludique et esthétiques Intention d'achat

Tableau 68 : Hypothèses et indicateurs.

### 7.9.4 Enquête qualitative et quantitative

Dans le cadre de l'étude de marché, deux enquêtes ayant deux objectifs et processus de fonctionnement totalement différents ont été menées : une première de nature qualitative et une seconde quantitative.

### 7.9.4.1 Enquête qualitative

L'étude qualitative a été réalisée selon la méthode traditionnelle du papier-crayon lors de discussions avec des consommateurs cibles. L'objectif de cette étude qualitative est donc l'explication en profondeur à l'aide de questions ouvertes. Ainsi, pour que celui-ci se déroule correctement, quelques indications doivent être suivies. Une préparation soignée à l'aide d'un guide d'entretien réalisé préalablement, un profilage réalisé de manière optimale en sélectionnant un groupe représentant la cible (early adopters), ou encore l'utilisation de la technique de l'entonnoir en démarrant avec un thème plus large et d'approfondir ensuite les questions ou de la technique des 5 pourquoi visant à identifier le problème majeur sont recommandés.

Les sujets abordés visaient à mieux comprendre les comportements vis-à-vis du produit alimentaire innovant. Ces entretiens individuels permettent donc de faire plus de liens entre les attitudes, les comportements, les opinions et les discours. De nouvelles hypothèses peuvent être générées, les confirmer ou les infirmer et fournir de nouvelles idées pour la conception du produit.

Les questions ainsi que les réponses résumées des participants se trouvent dans l'annexe 14. Après 6 entretiens menés et une analyse des résultats réalisée pour chaque participant, des observations principales ont été révélées. Les répondants consomment régulièrement du café et du thé pour leurs effets stimulants et relaxants, en accordant une grande importance à la qualité et au côté santé des produits. Ceux-ci sont ouverts à essayer des produits innovants comme le latte au moringa, à condition que ces derniers soient pratiques, attrayants et bénéfiques pour la santé. L'esthétique et le packaging influencent fortement leurs intentions d'achat et le prix acceptable pour une boisson de 200 ml se situe entre 2 et 3 euros.

Néanmoins, cette étude qualitative n'apporte pas de faits « quantifiés », n'est pas représentative statistiquement et n'est pas pertinente pour répondre à toutes les questions (ex : intention d'achat). Une étude quantitative doit donc être combinée avec cette dernière.

Certaines questions spécifiques permettent d'avoir une première réflexion sur certains aspects pas encore développés à ce moment-là, tels que le type de packaging et le nombre d'unités dans un conditionnement.

### 7.9.4.2 Enquête quantitative

L'enquête quantitative réalisée après l'étude qualitative permet de la compléter. En effet, l'objectif principal étant cette fois-ci la représentativité statistique, un grand échantillon est donc nécessaire. Celle-ci s'est menée à l'aide d'un questionnaire structuré et standardisé comportant beaucoup de questions fermées. Ce type d'enquête quantitative permet finalement de valider les hypothèses émises. L'étude quantitative a été effectuée via un questionnaire en ligne Google Forms, les questions se trouvant dans l'annexe 15.

### Échantillonnage

La méthode employée consiste en un type d'échantillonnage probabiliste avec lequel chaque individu de la population étudiée a une chance mesurable d'être sélectionné. L'échantillon sélectionné est ainsi représentatif de la population cible. Pour déterminer sa taille et calculer le nombre de répondants nécessaires à l'enquête quantitative afin d'obtenir des résultats statistiquement pertinents, le calculateur en ligne Check Market a été utilisé. Celui-ci prend en compte la taille de la population, le niveau de confiance, la marge d'erreur et le pourcentage attendu de réponses. Ces différents paramètres se trouvent dans le tableau 69.

Au premier janvier 2021, la FWB (Fédération Wallonie-Bruxelles) est estimée à 4.668.035 habitants. La population de la FWB est calculée en additionnant la population wallonne (de laquelle on soustrait la population des 9 communes de la Communauté germanophone) et 90 % de la population de la Région de Bruxelles-Capitale (183).

Etant donné que la cible correspond aux personnes actives âgées de 20 à 60 ans, cela représente environ 60 % de la population totale de la FWB, c'est-à-dire 2 800 821 personnes. Un facteur à prendre en compte est le fait que les personnes qui recherchent une alternative aux boissons chaudes et qui ne craignent pas de tester de nouveaux produits alimentaires innovants sont également la cible. Cependant, la dernière enquête de consommation réalisée par Sciensano datant de 2014-2015, les chiffres ne sont plus à jour au vu des nombreux changements dans l'alimentation des Belges ces dernières années. Cela a été estimé à 10 % de la population belge âgée de 20 à 60 ans. Ainsi, la population ciblée par l'enquête est composée d'environ 280 082 personnes.

Niveau de confiance	95 %
Marge d'erreur	5 %
Taille de la population	280 082 personnes
Taille de l'échantillon	385 personnes
Taux de réponses estimées	20 %
Nombre de questionnaires à distribuer	1925

Tableau 69 : Résultats obtenus grâce au calculateur Check Market.

Dans le but d'atteindre l'objectif de distribution de questionnaires, celui-ci a été envoyé sous forme de lien Google Forms via les réseaux sociaux (Instagram, Facebook), diffusé sur des groupes de partage d'entraide, et également envoyé par mail aux étudiants de la faculté, à des connaissances, ainsi qu'aux collègues de nos familles, etc. Le but étant d'atteindre le plus de personnes possibles dans cette large tranche d'âge, toutes les manières d'envois ont été envisagées. Les participants étaient ainsi invités à cliquer sur le lien du Google Forms et à répondre à l'enquête. Un message explicatif du projet ainsi que les instructions précédaient les questions. Enfin, les réponses ont été directement récoltées via la plateforme Google Forms.

### Élaboration du questionnaire et pré-test

Le questionnaire a été élaboré sur la base des hypothèses à vérifier émises au point 9.3 et des indicateurs qui y sont associés. Un pré-test a tout d'abord été réalisé dans le but d'évaluer la pertinence et la compréhension des questions qui y figurent. Ainsi, cinq personnes l'ont relu et commenté, dont un professeur de marketing. Après reformulation et amélioration du questionnaire, celui-ci a ensuite été envoyé à la population cible.

### Récolte des réponses

Après plusieurs vagues de partage, un nombre de réponses supérieur à la taille de l'échantillon visé, soit 407 réponses a été atteint. Les résultats présentés ci-dessous sont fiables avec une marge d'erreur de 4.86 % et un niveau de confiance de 95%.

## Analyse des résultats

### Informations générales de l'échantillon :

La population ayant répondu au questionnaire est composée de 66,6 % de femmes et 33,4 % d'hommes. Les tranches d'âge sont assez bien équilibrées avec 35,7 % de 18 à 25 ans, 16,9% de 26 à 45 ans, 12,1 % de 36 à 45 ans, 15,6 % de 46 à 55 ans et 10,5 % de 56 à 65 ans. Les situations professionnelles sont très diverses avec les plus représentées 32,5 % d'employés et 25,5 % d'étudiants. La région wallonne est la plus présente avec 85,7 % de répondants suivie de la région Bruxelles-Capitale représentée à 8,3 %.

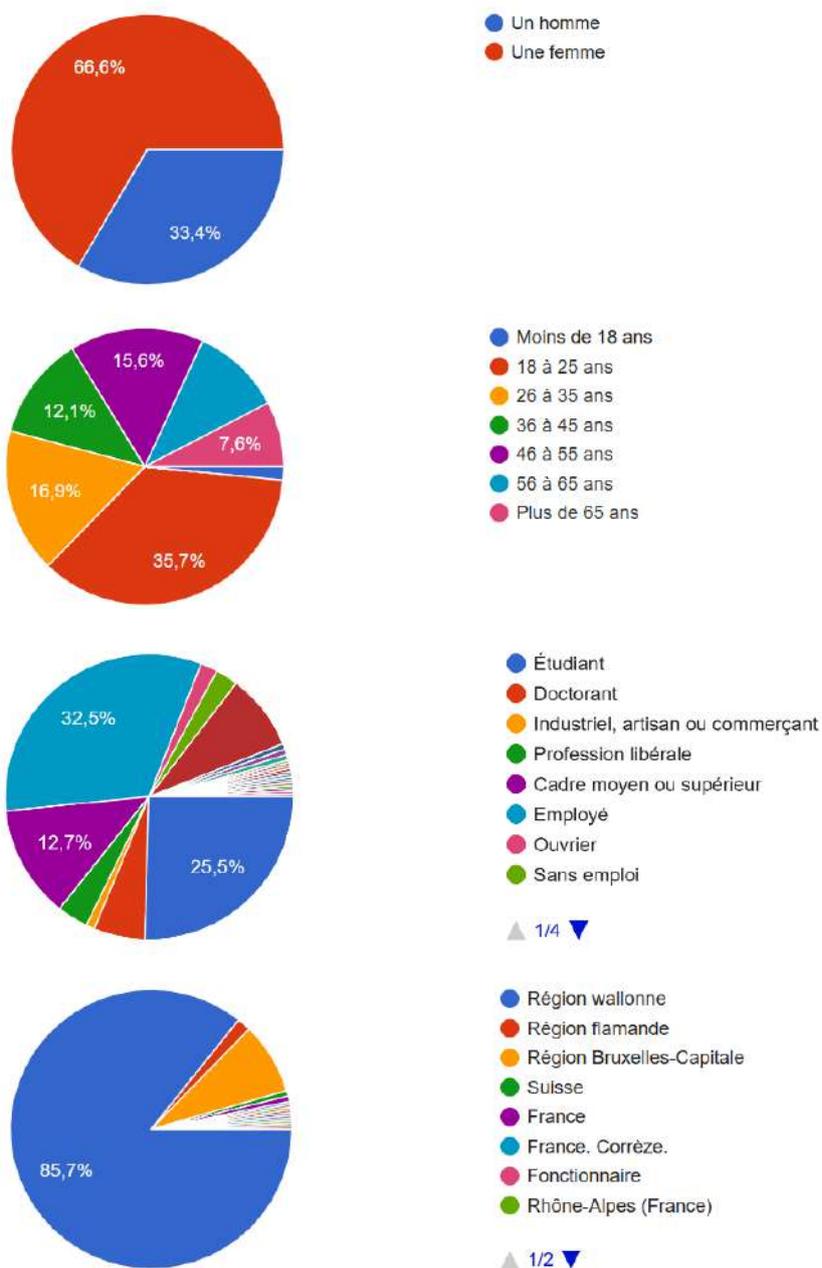


Figure 39 : Informations générales des personnes ayant répondu à notre questionnaire.

### Informations sur les habitudes de consommation :

Afin de connaître les habitudes de consommation des personnes ayant répondu au questionnaire, une liste de boissons a tout d’abord été établie. Parmi celles-ci figurent le café, le thé, la tisane, les boissons énergisantes, le thé matcha, le kombucha et le chocolat chaud. Les boissons les plus consommées de la liste sont le café et le thé suivi de la tisane et puis du chocolat chaud. A l’inverse, les boissons énergisantes, le thé matcha et le kombucha sont très peu consommés. Dans la suite de l’analyse des résultats du questionnaire, seules les boissons les plus représentées vont être étudiées.

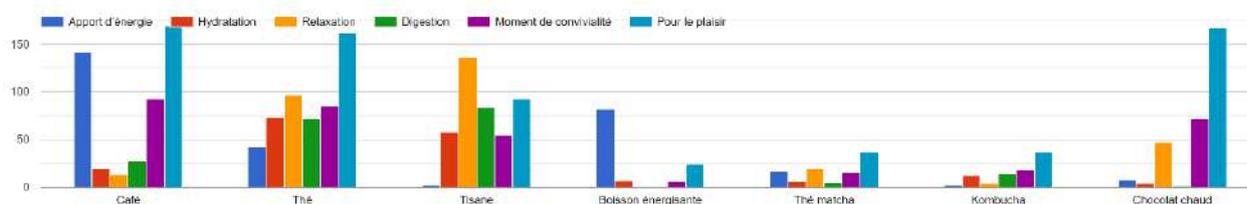
Le café, le thé et le chocolat chaud sont majoritairement dégustés pour le plaisir. Le café est également largement consommé dans un but d’apport d’énergie. Le thé et la tisane sont aussi appréciés pour se relaxer. De plus, le café, le thé et le chocolat chaud sont consommés lors de moment de convivialité.

De plus, les moments de consommation de ces boissons chaudes sont assez variables. Néanmoins, le café est majoritairement consommé le matin et la tisane le soir. Le thé et le chocolat chaud sont dégustés tout au long de la journée.

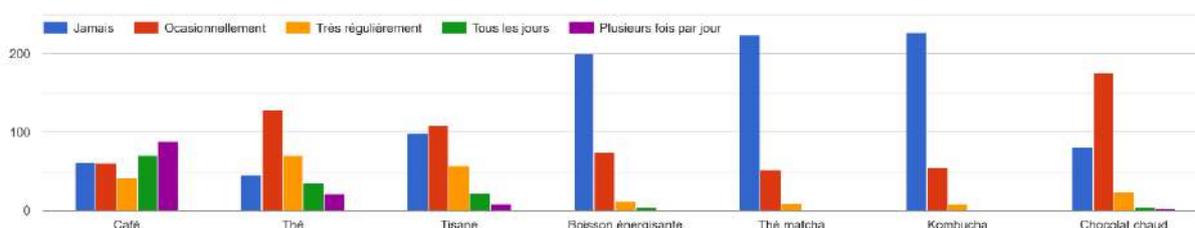
En outre, la majorité des personnes ayant répondu au questionnaire ne sont pas prêtes à remplacer le café, le thé et la tisane par une alternative. Néanmoins, 41 % des consommateurs de café sont disposés à le remplacer, 46 % des consommateurs de thé répondent positivement et 47 % des consommateurs de tisanes y adhèrent également.

Enfin, les marques les plus représentées sont : « Nespresso », « Lipton », « Douwe Egbert », « Nesquik » et les marques de magasins distributeurs. Ces boissons sont le plus souvent achetées dans les grandes surfaces, suivi des magasins locaux et enfin des magasins bio. De plus, 27,3 % des personnes ayant répondu au questionnaire réalisent leurs courses alimentaires sur internet et 72,7 % des personnes ne le fait jamais.

Si et seulement si vous consommez des boissons de la liste précédente, dans quel(s) but(s) les consommez-vous ? (Plusieurs cases peuvent être cochées).



Quel(s) type(s) de boisson(s) consommez-vous parmi celles-ci et à quelle(s) fréquence(s) ? (Plusieurs cases peuvent être cochées).



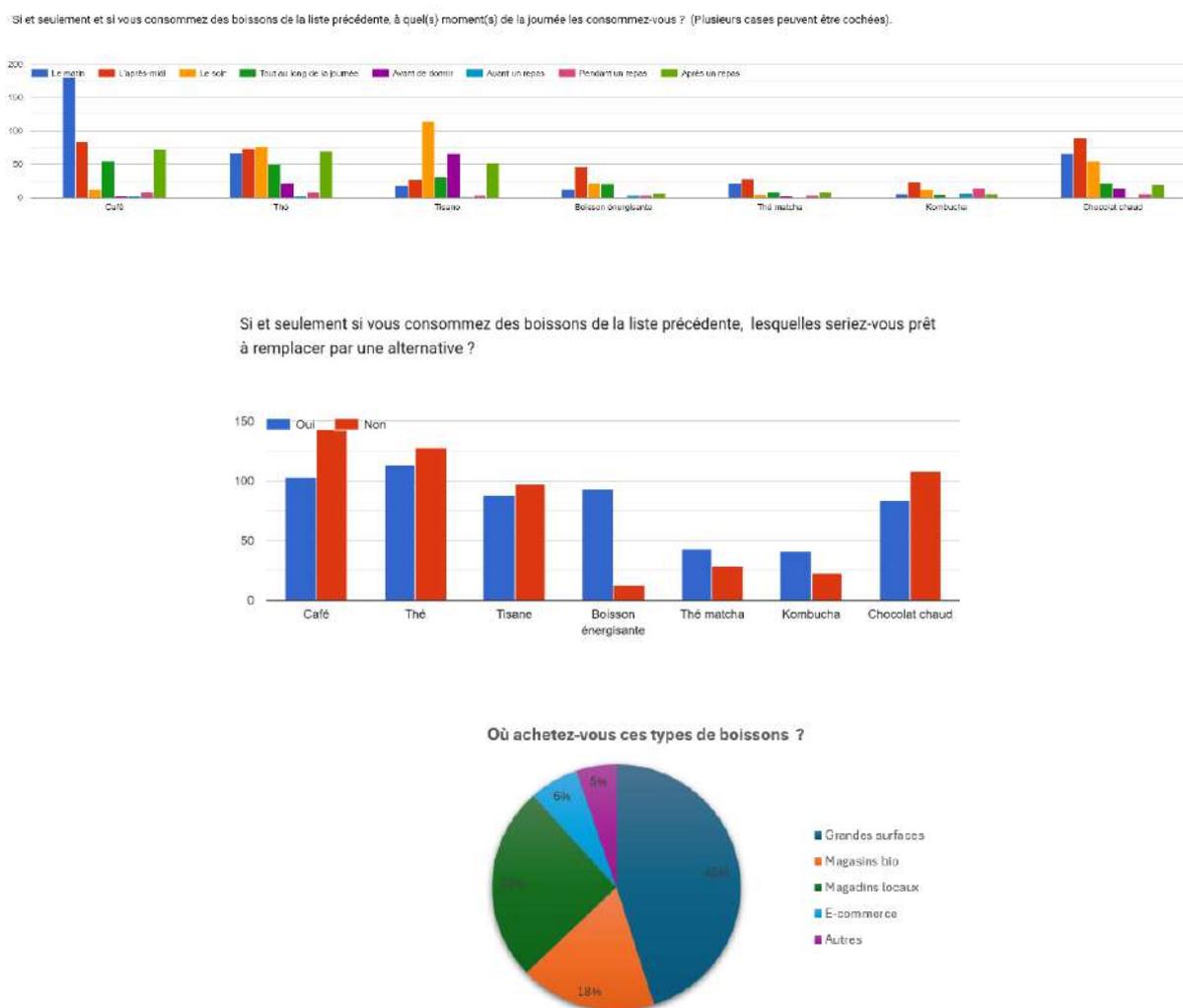


Figure 40 : Informations sur les habitudes de consommation des personnes ayant répondu au questionnaire.

**Avis des personnes concernant le produit innovant :**

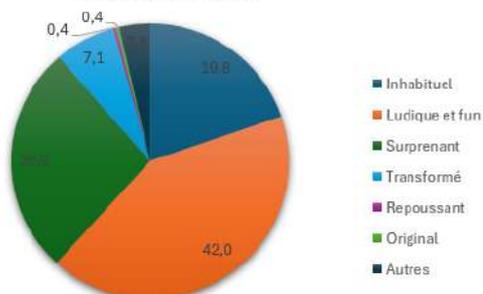
Les connaissances des personnes ayant répondu au questionnaire sur le moringa ont été testées. Seulement 18,1 % des personnes ont déjà entendu parler de cette plante et seulement 13,1 % en ont déjà consommé. Une grande diversité de réponses existe concernant les opinions sur le goût, les appréciations des bienfaits pour la santé et les utilisations dans divers domaines.

Néanmoins, même si peu de personnes connaissent le moringa, 85,7 % des répondants aiment découvrir de nouveaux produits.

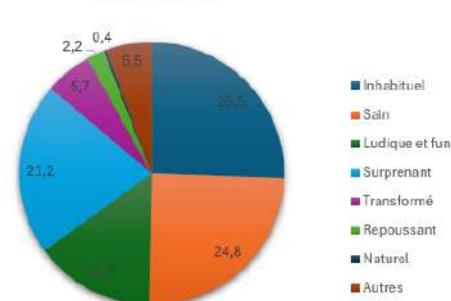
Après description du projet, les avis qui ressortent sont assez variés. En effet, la forme et la couleur verte de la sphère semblent à la fois inhabituelles et surprenantes mais également ludiques et funs. La coque en chocolat blanc est perçue comme gourmande et attirante pour la majorité des répondants mais repoussante et inintéressante pour une petite partie des participants. Ainsi, le produit suscite l'intérêt de 82,9 % des personnes ayant répondu au questionnaire mais seulement 49,5 % seraient prêts à en consommer régulièrement.

De plus, les répondants imaginent principalement ce produit en vente dans les magasins locaux, dans les grandes surfaces ainsi que dans les salons de thés et les cafés. Le prix moyen donné à une sphère de 30g correspondant à une boisson de 200 ml est relativement bas, avec une moyenne de 2 €.

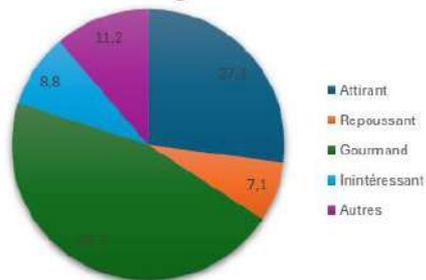
Que pensez-vous d'un produit qui a une forme de sphère ?  
Cela vous semble ...



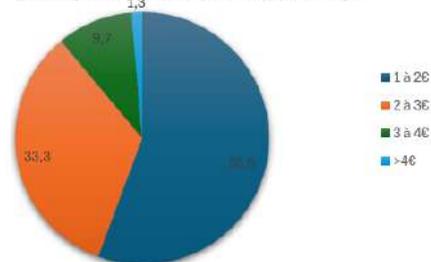
Que pensez-vous d'un produit qui a une couleur verte ? Cela vous semble ...



Que pensez-vous d'un enrobage en chocolat blanc ?



Quel prix seriez-vous prêt à payer pour une sphère de 30 grammes (correspondant à une boisson de 200 ml) ?



Où achèteriez-vous ce produit ?



Figure 41 : Avis des participants sur le produit innovant.

**Avis des personnes concernant le packaging du produit innovant :**

Les conditionnements les plus envisagés par les répondants sont la boîte en carton suivi du vrac et enfin de la boîte en métal, contenant plus de 4 unités.



Figure 42 : Avis des participants concernant le packaging.

**Conclusion de l'étude de marché**

En conclusion, les points qui ressortent et qui attirent l'attention dans les réponses des répondants sont : un jugement hésitant d'une partie des répondants sur le chocolat blanc, la consommation occasionnelle du produit et le prix faible donné à celui-ci.

## 7.10 Fixation du prix

La fixation du prix d'un nouveau produit alimentaire est un processus stratégique qui nécessite une analyse approfondie et une approche méthodique. En effet, plusieurs étapes clairement identifiées pour fixer le prix doivent être suivies.

### 7.10.1 Déterminer l'objectif

La première étape primordiale pour fixer un prix est de savoir quel est l'objectif derrière ce prix. Est-ce que celui-ci est par exemple la survie dû à un environnement concurrentiel défavorable, ou plutôt dans un but d'écouler la production et couvrir des coûts variables ? Ou est-ce que l'objectif est la maximisation du profit ou encore la maximisation de la part de marché (175) ?

Dans le cadre du produit innovant, on parle d'objectif d'écémage. L'innovation proposée, visant un segment qui valorise fortement le produit. L'objectif est donc de favoriser les marges unitaires plutôt que les volumes vendus. Ensuite, le prix sera progressivement réduit (175).

En outre, étant donné qu'un prix élevé comparable à celui d'un bon café de haute gamme est visé, un autre objectif fixé est l'image. En effet, un prix élevé confère une image de qualité.

### 7.10.2 Analyse des coûts

Plusieurs types de coûts existent : les coûts fixes et variables, le coût total ou encore le coût moyen. Ensemble, les coûts fixes et les coûts variables forment les coûts totaux. Le coût moyen est expliqué par le fait qu'à partir d'un certain niveau de production, produire plus va coûter moins cher, les coûts variables devenant très peu cher. Néanmoins, à partir d'un certain niveau de production, produire encore plus va contribuer à augmenter le coût moyen à court terme. Le défi pour une entreprise est donc de trouver le niveau de production/quantité produite qui va minimiser le coût moyen à court terme (177).

Tout d'abord, estimer tous les coûts associés à la production du produit alimentaire est essentiel. Cela inclut les coûts des matières premières, de la main-d'œuvre, des emballages, des transports, ainsi que les coûts indirects tels que les frais de marketing et les coûts administratifs. Une fois tous les coûts identifiés, le coût total de production par unité pour établir un prix de base doit être calculé (175).

### Coûts des matières premières

Matières premières	Prix par kilo (€/kg)
Moringa Purasana	71,8
Poudre de lait écrémé 0% Isigny Sainte-Mère	5,143
Chocolat blanc Veliche	8,040
Mycryo Callebaut	33,16

Tableau 70 : Coûts des matières premières.

## Coûts des emballages

Emballages	Prix (euros)
Carton FSC/PEFC (emballage secondaire)	1 à 3 € par kilo
Colle Intercol	10 € par litre
Encres Codipack	50 à 150 € par litre
Plateaux en polyester thermoformés	50 à 200 € pour 100 plateaux
Fin film	50 à 150 € par rouleau (500 mm x 150 m)
Carton FSC/PEFC d'envoi (emballage tertiaire)	1 à 3 € par kilo
Bac gerbable réutilisable	49,49 € par pièce

Tableau 71: Coûts des emballages.

Les deux éléments les plus importants concernant l'emballage qui sont donc pris en compte dans le calcul du prix estimé sont le carton et le polyester. En effet, les plateaux en polyester thermoformés sont très chers, jusqu'à 2 euros pour un plateau.

## Coûts de la chaîne de production

La chaîne de production est amplement décrite à la section 10 de ce travail.

Machines	Prix (euros)
Séparateur	23 000
Lyophilisateur de laboratoire	20 000 entre 100 000
Tempéreuse	10 000 à 30 000
Etuyeuse	30 000 à 100 000
Fardeuse soudeuse latérale	15 000 à 40 000

Tableau 72 : Coûts de la chaîne de production.

Le lyophilisateur de laboratoire est l'équipement de la chaîne de production qui coûte le plus cher et qui est également le moins utilisé de tous. Ce dernier est l'élément le plus limitant en termes de cadence. Ainsi, il serait intéressant de posséder plusieurs lyophilisateurs pour augmenter celle-ci et rentabiliser un peu plus les autres équipements.

### Coûts des transports

Matières premières	Transport	Provenance	Prix par kilo (€/kg)
Moringa Purasana	Bateaux + Camion	<p>Distance du Port de Mumbai ou Chennai (Inde) à Anvers via le canal de Suez : environ 8,500 à 9,500 miles nautiques correspondant à 15,700 à 17,600 km.</p> <p>Distance du port d'Anvers à Bruxelles en camion : 50 km.</p>	<p>Frais maritime : 4,5 €</p> <p>Droits de douanes (5%) : 0,71 €</p> <p>TVA (6%) : 0,86 €</p> <p>Frais de camion courte distance : 0,20 €</p> <p><b>Total : 6,27 €</b></p>
Poudre de lait écrémé 0% Isigny Sainte-Mère	Camion	Distance par route entre Isigny-Sainte-Mère (France) et Bruxelles : 600 km.	<p>Frais de camion grande distance : 0,50 €</p> <p>Droits de douanes (5%) : 0,25 €</p> <p>TVA (6%) : 0,30 €</p> <p><b>Total : 0,50 €</b></p>
Chocolat blanc Veliche	Bateaux + Camion	<p>Veliche utilise des fèves de cacao certifiées Rainforest Alliance, provenant de différentes régions du monde, notamment d'El Salvador et de la République Démocratique du Congo.</p> <p><b>Transport jusqu'au Port</b> : Les fèves sont transportées par camion des fermes aux ports d'exportation dans les pays d'origine : environs 200 km.</p> <p><b>Transport Maritime</b> : Les fèves de cacao sont expédiées par bateau vers les ports européens, souvent vers des ports majeurs tels que Anvers.</p> <p><b>Port de Matadi à Anvers : Distance approximative</b> : Environ 4,000 à 4,500 miles nautiques correspondant à environ 7,400 à 8,300 km.</p> <p><b>Distance</b> : Port d'Anvers à l'usine de Mouscron en camion : 100 km.</p> <p><b>Distance</b> : Mouscron à Bruxelles en camion : 100 km.</p>	<p>Frais de camion moyenne distance : 0,30 €</p> <p>Frais maritime : 3 €</p> <p>Droits de douanes (5%) : 0,40 €</p> <p>TVA (6%) : 0,48 €</p> <p>Frais de camion courte distance : 0,20 €</p> <p><b>Total : 4,58 €</b></p>

Mycryo Callebaut	Camion	Usine Callebaut : Wieze Wieze – Bruxelles : 35 km.	Frais de camion courte distance : 0,20 €  <b>Total : 0,20 €</b>
---------------------	--------	---	--

Tableau 73 : Coûts des transports.

### Coûts de la main-d'œuvre

Pour un ouvrier débutant (en prenant en compte un salaire brut de 2 500 euros et des charges patronales (30 %) de 750 euros : 3 250 € par mois.

L'idée est d'avoir un seul ouvrier débutant en plus de nous deux.

### Coûts administratifs

Coûts administratifs	Prix (€)
Frais de notaire	1000 à 2000
Frais d'enregistrement	150 à 300
Assurance	500 à 1500
Comptabilité et conseils	1500 à 5000
Enregistrement de la marque	200 à 500
Location d'un local de 200 m <sup>2</sup> près de Bruxelles	20,000 et 40,000 euros par an

Tableau 74 : Coûts administratifs.

Seule la location du local est prise en compte dans le calcul du prix estimé étant donné que c'est le plus gros coût et qu'il est mensuel alors que les autres sont relativement négligeables.

### Tableau récapitulatif des coûts :

Hypothèses					
Machines achetées et en fonctionnement pendant 10 ans					
Chaîne en activité 6 jours par semaine				313 jours/an	
Activité stable après 3 ans					
Production: 200 boîtes / jour					
Sizing					
200 boîtes / j					
800 sphères / j					
28,5 g / sphere					
22,8 kg / j					
25 kg / lyo					
0,912 lyo / j					
Prix machines					
Prix achat €					
Lyophilisateu	50000	1	50000		
Separateur	23000	1	23000		
Tempereuse	20000	1	20000		
Etuyeuse	60000	1	60000		
Fardeuse	25000	1	25000		
			178000 €		
			10 ans		
<b>Amortissement</b>			<b>17800 € / an</b>		
Prix matières premières					
	g	%g	€/kg	€/ kg	
Moringa	3,16	11,0916111	71,8	7,96377676	
Lait	12,5	43,8750439	5,143	2,25649351	
Chocolat	12,5	43,8750439	8,04	3,52755353	
Mycryo	0,33	1,15830116	33,16	0,38409266	
TOTAL	28,49	100	14,1319165	€/kg	
14,1319165 €/kg					
28,5 g / sphere					
800 sphères / j					
322,207695 €/j					
313 jours/an					
			<b>100851 € / an</b>		
Emballage					
200 boîtes/j					
Carton	28,8 g/boite		5760 g/j	2 €/kg	11,52 €/j
Polyester			200 p/j	1 €/p	200 €/j
					211,52 €/j
					313 j/an
<b>TOTAL</b>			<b>66206 € / an</b>		
Transports					
		%g			
Moringa	6,27 €/kg	11,0916111	0,69544402 €/kg		
Lait	0,5 €/kg	43,8750439	0,21937522 €/kg		
Chocolat	4,58 €/kg	43,8750439	2,00947701 €/kg		
Mycryo	0,2 €/kg	1,15830116	0,0023166 €/kg		
			Total	2,92661285 €/kg	
2,92661285 €/kg					
28,5 g/sphere					
800 sphères/j					
66,726729 €/j					
313 jours/an					
			<b>20885 € / an</b>		
Main-d'œuvre					
3 personnes					
3250 €/mois		2500 (salaire brut) + 750 (charges)			
			<b>117000 € / an</b>		
Coûts administratifs					
<b>Location</b>			<b>30000 € / an</b>		
TOTAUX					
Prix machines	17800 € / an	5			
Prix matières premières	100851 € / an	29			
Emballage	66206 € / an	19			
Transports	20885 € / an	6			
Main-d'œuvre	117000 € / an	33			
Coûts administratifs	30000 € / an	9			
<b>TOTAL</b>			<b>352742 € / an</b>		
200 boîtes / j					
313 jours/an					
62600 boîtes/an					
<b>cout 1 boîte</b>			<b>5,63485623 €</b>		
taux de marge 0,3					
<b>prix de vente</b>			<b>8,04979461 €</b>		
7,99 €					
Optimisations					
Prix machines	Machines d'occasion ou plus de Lyo				
Prix matières premières	Reduire les intermediaires				
Emballage	Autres materiaux				
Transports	Negligeable				
Main-d'œuvre	Automatisation				
Coûts administratifs	Delocalisation				

Tableau 75 : Récapitulatif des coûts.

### **Optimisation des coûts :**

À la lumière du tableau récapitulatif des différents coûts présentés ci-dessus, plusieurs optimisations pourraient être envisagées pour les réduire davantage. Tout d'abord, bien que les équipements représentent une part relativement modeste du coût de production total, il aurait été possible d'acquérir des machines d'occasion. En effet, seul le lyophilisateur est utilisé à pleine capacité, ce qui laisse penser que les autres équipements auraient pu être achetés d'occasion sans compromettre l'efficacité du processus.

De plus, le moringa, dont le prix élevé représente plus de 50 % du coût des matières premières, constitue une part importante, ce serait pertinent de nouer des partenariats avec des producteurs locaux ou de réduire le nombre d'intermédiaires.

Par ailleurs, le thermoformage en polyester, étant un processus coûteux, pourrait avantageusement être remplacé par des matériaux moins onéreux.

Automatiser au maximum les opérations contribuerait également à réduire les coûts de main-d'œuvre, qui représentent 33 % du coût de production estimé, soit le poste le plus important.

Enfin, une délocalisation de l'entreprise en dehors du centre urbain permettrait également de diminuer les coûts.

### **7.10.3 Étude de marché**

Le marché sur lequel le produit sera lancé doit être étudié, cela implique une analyse des tendances actuelles, de la demande des consommateurs, et des segments de marché ciblés. La fixation du prix dépend très fortement de la demande (175).

Plusieurs méthodes d'estimation de la courbe de demande sont réalisables : des enquêtes interrogeant directement les consommateurs, de l'expérimentation en réalisant des variations systématiques des prix ou encore une analyse statistique des prix passés et quantités vendues (177). Dans les différentes études réalisées dans cette analyse marketing, les besoins et motivations des consommateurs ont pu être identifiés.

En outre, une analyse de la concurrence pour voir à quels prix les produits similaires sont vendus doit également être menée. Cette étude permet de positionner le produit de manière compétitive tout en identifiant les opportunités de différenciation (177). En effet, le prix exprime le positionnement concurrentiel du produit. Cela a été largement réalisé au point 7.5.2, les prix de différents produits concurrents ont été relevés.

### **7.10.4 Stratégie de positionnement**

Déterminer le positionnement du produit sur le marché est une étape clé, permettant de décider si le produit sera positionné comme un produit haut de gamme, milieu de gamme ou d'entrée de gamme. Le positionnement influence directement la perception des consommateurs et leur disposition à payer un certain prix. Cette étape nécessite de bien comprendre les besoins et les attentes des consommateurs cibles (177). La stratégie de positionnement du produit est ainsi décrite au point 7.6.1.

### **7.10.5 Détermination d'une méthode de tarification**

Trois facteurs clés permettent de fixer le prix : la fixation basée sur les coûts, sur la demande ou sur la concurrence (177). Étant donné que le produit ne possède pas de concurrent direct, cela est complexe

d'utiliser la stratégie de l'alignement du prix avec ceux-ci. La fixation du prix du produit va donc surtout être basée sur la demande et sur les coûts.

Deux méthodes de tarification pourraient être appliquées dans ce cas-ci : la méthode de tarification « coût + marge » ou la méthode de tarification sur base de la valeur perçue.

La méthode de calcul « coût + marge » est la plus simple des méthodes de tarification et est largement utilisée. Ainsi, le prix = coût unitaire / (1 – taux de marge). Pour utiliser cette méthode, tous les coûts associés au produit devraient être calculés : les coûts des matières premières, les coûts des emballages, les coûts des transports, les coûts de la main-d'œuvre et les coûts administratifs. Cependant, cette méthode ne tient pas compte de la valeur perçue ni de la concurrence ce qui n'est pas forcément l'idéal (177).

Ainsi, en tenant comptes des coûts évalués au point 7.10.2 :

Par la méthode de calcul « coût + marge » (en prenant un taux de marge de 30 %), le prix =  $5,63 / (1 - 0,3) = 8,05$  €. Néanmoins, afin de garder un prix en dessous de la barre de 8 €, le prix de l'unité de vente a été fixé à 7,99 €.

Cependant, la méthode de tarification sur base de la valeur perçue à partir de l'étude de marché serait également envisageable. Une question du prix minimum et maximum que les répondants auraient donné au produit aurait dû être posée. Ainsi, en fonction du nombre des deux prix fixés, un prix moyen aurait été calculé (177).

### **7.10.6 Fixation du prix de vente**

En intégrant toutes les informations recueillies, c'est possible de fixer le prix de vente final du produit. Ainsi, le prix de vente est fixé à 7,99 €. Celui-ci doit refléter les coûts, le positionnement sur le marché et les attentes des consommateurs. Des ajustements peuvent être nécessaires pour aligner le prix avec la stratégie globale de l'entreprise et les objectifs de vente. De plus, l'influence des autres variables du marketing mix, décrites au point 7.6.1, la politique générale de tarification ou encore le partage gain/risque entre l'entreprise et ses clients peuvent également entrer en compte lors de l'optimisation du prix final (177).

### **7.10.7 Test du prix**

Avant le lancement officiel, tester le prix auprès d'un échantillon de consommateurs ou dans un marché restreint serait utile. Les retours obtenus permettent d'ajuster le prix si nécessaire. Ce test peut également fournir des informations précieuses sur la réaction des consommateurs et l'élasticité des prix (177).

### **7.10.8 Surveillance et Ajustement**

Après le lancement du produit, surveiller les ventes et les retours des consommateurs est crucial. En fonction des performances du produit et des conditions du marché, cela peut être nécessaire d'ajuster le prix. Cette surveillance continue permet de réagir rapidement aux fluctuations du marché et aux comportements des consommateurs (177).

Ainsi, réduire les coûts en produisant moins si une faible quantité est achetée doit être envisagés. En effet, 50 % des coûts est représenté par les prix de matières premières et d'emballages. Ces coûts sont variables sur le débit par rapport aux autres qui restent des prix fixes. Ceux-ci ont donc un effet sur le

prix qui peut être ajustés. D'un autre côté, si les ventes sont plus élevées qu'espérer, le prix peut être diminué.

## 7.11 Conclusion

En conclusion, cette analyse marketing met en lumière plusieurs aspects essentiels au succès du nouveau produit alimentaire à base de moringa. Les différentes études ont permis de mieux comprendre les habitudes de consommation des diverses boissons en Belgique, soulignant un intérêt croissant pour les produits offrant des bienfaits pour la santé et une expérience de consommation unique. Le marché des différentes boissons est très concurrentiel, mais le produit se distingue par son innovation, sa forme ludique et ses ingrédients.

La segmentation et le ciblage ont révélé des segments de marché prometteurs, notamment ceux qui sont ouverts à la découverte de nouvelles saveurs. Le positionnement stratégique et le marketing mix ont été définis pour répondre aux attentes de ces segments, en mettant l'accent sur les avantages du produit, son prix compétitif, une distribution adaptée et une communication ciblée.

L'analyse de la concurrence a montré qu'aucun concurrent direct n'existe, mais plusieurs concurrents indirects qui répondent à des besoins similaires. Cela ouvre des opportunités pour le produit qui peut se démarquer par son originalité.

Enfin, le business model canvas et l'étude de marché ont souligné l'importance de stratégies de tarification adéquates et d'une surveillance continue pour ajuster l'offre en fonction des retours du marché.

En somme, cette analyse marketing exhaustive fournit une feuille de route pour introduire avec succès le produit sur le marché, en capitalisant sur ses atouts distinctifs et en répondant aux attentes des consommateurs.

# 8 Packaging du produit innovant

Cette section concernant le packaging regroupe l'ensemble des activités concernant l'emballage ainsi que le conditionnement du produit innovant. Une analyse des emballages de produits ayant des caractéristiques communes existant déjà sur le marché, le cahier des charges fonctionnel ainsi que différents packagings envisagés sont décrits dans cette partie.

## 8.1 Emballages sur le marché

Afin de trouver de l'inspiration pour la conception de l'emballage du produit innovant, une analyse des emballages existant déjà sur le marché pour les différents cafés solubles, thés et matcha disponibles mais également ceux des œufs et des sucreries a été réalisée. En effet, ces différents produits possèdent des caractéristiques communes au produit innovant. Les type d'emballage, les matériaux utilisés, les quantités contenues, les prix de vente ainsi que la conservation sont comparés. Le tableau 76 reprend l'ensemble des emballages des produits cités ci-dessus.

Packagings innovants des cafés solubles	Description et matériaux utilisés
	<p>Marque : Nescafé            Typologie : pot refermable            Matériaux : verre et couvercle en plastique            Quantité : 100 g = 60 tasses            Prix : 6,19 € (0,10 € par boisson)            Conservation : au sec et à l'abri de la chaleur</p>
	<p>Marque : Nescafé            Typologie : sachet refermable            Matériau : plastique            Quantité : 150 g = 90 tasses            Prix : 6,82 € (0,07 € par boisson)            Conservation : au sec et à l'abri de la chaleur</p>
	<p>Marque : Nescafé            Typologie : boîte refermable            Matériau : métal            Quantité : 90 g = 54 tasses            Prix : 8,99 € (0,16 € par boisson)            Conservation : au sec et à l'abri de la chaleur</p>
	<p>Marque : Nescafé            Typologie : boîte refermable            Matériau : plastique            Quantité : 250 g = 18 tasses            Prix : 8,39 € (0,46 € par boisson)            Conservation : au sec et à l'abri de la chaleur</p>
	<p>Marque : Maxwell House            Typologie : boîte refermable            Matériaux : aluminium et couvercle en plastique            Quantité : 280 g = 18 tasses            Prix : 8,19 € (0,45 € par boisson)            Conservation : au sec et à l'abri de la chaleur, jusqu'à 4 mois après ouverture</p>
	<p>Marque : Nescafé            Typologie : sachet unitaire            Matériau : plastique FSS            Quantité : 8 x 18,5 g            Prix : 4,59 € (0,57 € par boisson)            Conservation : au sec et à l'abri de la chaleur            Consommation : DLC, jusqu'à 4 mois après ouverture</p>

Packagings innovants des thés et matcha	Description et matériaux utilisés
	<p>           Marque : Palais des thés            Typologie : sachet refermable, vrac            Matériaux : BOPP Mat/ALU/PEBD            Quantité : 100 g = 20 doses            Prix : 10,50 € (0,52 € par boisson)            Conservation : à l'abri de l'air, de la chaleur, de l'humidité, de la lumière et des odeurs            Consommation : quelques mois à plusieurs dizaines d'années         </p>
	<p>           Marque : Palais des thés            Typologie : boîte de sachets unitaires            Matériaux : carton/ Mousseline            Quantité : 1 boîte = 20 sachets            Prix : 12 € (0,60 € par boisson)            Conservation : à l'abri de l'air, de la chaleur, de l'humidité, de la lumière et des odeurs            Consommation : quelques mois à plusieurs dizaines d'années         </p>
	<p>           Marque : Milia Matcha            Typologie : boîte            Matériau : métal            Quantité : 30 g = 30 doses            Prix : 34,90 € (1,16 € par boisson)            Conservation : à l'abri de la lumière et l'humidité dans un endroit frais et sec            Consommation : DLC, jusqu'à 4 mois après ouverture.         </p>
	<p>           Marque : Palais des thés :            Typologie : boîte, vrac            Matériau : métal            Quantité : 100 g = 20 doses            Prix : 17 € (0,85 € par boisson)            Conservation : à l'abri de l'air, de la chaleur, de l'humidité, de la lumière et des odeurs            Consommation : quelques mois à plusieurs dizaines d'années         </p>

Packagings innovants des œufs	Description et matériaux utilisés
	<p>Marques : Friss Biotojas, STF Thailand, Apiar            Typologie : boîtes            Matériau : Carton plat (emballage basique des œufs = cellulose moulée)            Quantité : 5 à 6 œufs            Prix : non défini            Conservation : au sec et à l'abri de la chaleur ou au frigo            Consommation : DDM, 28 jours après la date de ponte (Règlement (CE) n°589/2008)</p>
	<p>Marque : non déterminée            Typologie : boîte            Matériaux : Carton plat et fenêtre transparente en PET            Quantité : 6 œufs            Prix : non défini            Conservation : au sec et à l'abri de la chaleur ou au frigo            Consommation : DDM, 28 jours après la date de ponte (Règlement (CE) n°589/2008)</p>

Packagings innovants des sucreries	Description et matériaux utilisés
	<p>Marque : Ferrero Rocher            Typologie : boîte refermable avec plusieurs unités            Matériaux :           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Boîte : polypropylène</li> <li>- Collerette : papier</li> <li>- Papier enrobant : aluminium</li> <li>- Plateau transparent : PET</li> </ul>           Quantité : 200 g = 16 doses            Prix : 5,49 € (0,34 € par portion)            Conservation : au sec et à l'abri de la chaleur            Consommation : DDM</p>
	<p>Marque : Raffaello            Typologie : boîte avec plusieurs unités            Matériaux :           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sachet : plastique</li> <li>- Boîte : carton</li> </ul>           Quantité : 150 g = 15 doses            Prix : 4,55 € (0,30 € par portion)            Conservation : au sec et à l'abri de la chaleur            Consommation : DDM</p>

	<p>Marque : Kinder Ferrero  Typologie : boîte avec plusieurs unités  Matériau :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Boîte : carton</li> <li>- Papier enrobant : aluminium</li> </ul> <p>Quantité : 3 x 20 g  Prix : 2,99 € (0,99 € par portion)  Conservation : au sec et à l'abri de la chaleur  Consommation : DDM</p>
---	---

Tableau 76 : Récapitulatif des emballages existants sur le marché.

## 8.2 Cahier des charges fonctionnel du packaging

Le Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF) du packaging désigne un document important pour le développement de nouveaux produits. En effet, celui-ci décrit avec précision les fonctionnalités, performances et caractéristiques souhaitées du packaging en fonction des besoins pour chacun des utilisateurs, grand public, marketing commerciaux et industriels. Ce dernier agit ainsi comme un guide détaillé et permet d'établir une base solide pour la conception, le développement et les tests réalisés. Ainsi, le cahier des charges fonctionnels est le document qui permettra de valider l'adéquation entre les besoins et les solutions proposées (184).

Le tableau 77 correspond au cahier des charges fonctionnel du futur packaging du produit innovant. Les numéros désignent l'importance accordée à la fonction, 1 étant le plus important.

Fonctions	Ensemble des fonctions techniques et marketing							
	Marketing	Ensemble des fonctions de l’emballage facilitant la vente						
		Esthétique	Avoir une esthétique attirante		1			
		Visualisation	Permettre une reconnaissance immédiate de la marque et du produit en linéaire		1			
		Image	Être en cohérence avec l’univers produit, la marque et la cible visée		1			
		Facing max.	Permettre un facing maximum comparé à la concurrence		1			
		Déclinaison en gamme de produit	Présenter diverses contenances, diverses variétés (goûts ou formes), s’intégrer dans une ligne de produits				3	
		Transparence	Pouvoir voire le produit					5
	Protection	Assurer la protection du produit						
		Mécanique	Résister aux contraintes de gerbage et de transport					
			Chocs	Résister aux chutes, chocs et vibrations	1			
			Compression	Contribuer, par sa résistance mécanique, à la résistance au gerbage	1			
		Chimique	Protéger le produit de l’oxydation, de l’humidité, de rayonnements lumineux et de tous gaz nuisibles		1			
	Complémentaire	Protéger le produit contre le vol, les chocs thermiques, ...				3		
	Goût et odeur	Protéger le produit de la prise ou de la perte de goût ou d’odeur		1				
	DLC	Assurer une protection, avant ouverture, permettant d’atteindre la DLC sans perte organoleptique		1				
	Migration	Limiter les échanges entre ses matériaux constitutifs et le produit			2			
Logistique	Être compatible avec les contraintes logistiques							
	Palettisation	Faciliter une palettisation efficace						
		Espace	Optimiser le volume disponible sur la palette	1				
		Stabilité	Permettre une bonne stabilité des charges	1				
	Contrôle palette	Faciliter le contrôle à la réception des produits		1				
	Mise en rayon	Faciliter les opérations de mise en rayon						
		Ouverture	Constituer une unité de distribution ouvrable facilement sans instrument	1				
		Étiquetage prix	Pouvoir être étiqueté sans sortir les unités de vente de l’emballage de distribution	1				

		Volume déchets	Minimiser les volumes de déchets après mise en rayon	1					
	Manutention	Faciliter les opérations de manutention		1					
	Contraintes	Résister aux contraintes mécaniques des circuits logistiques		1					
	Traçabilité	Permettre la traçabilité		1					
	<b>Conditionnement</b>	<b>Faciliter les opérations de mise en forme et de remplissage de l'emballage</b>							
	Standardisation	Faciliter les changements de format			2				
	Ergonomie	Faciliter la prise en main, le maniement de l'emballage et de l'assemblage de ses composants si conditionnement manuel		1					
	Automatisation	Permettre le passage sur ligne automatique, permettre les opérations de convoyages		1					
	Volume à vide	Occuper un minimum de volume avant mise en forme et remplissage		1					
	Nomade	Être transportable facilement		1					
	Contraintes	Résister aux contraintes mécaniques des opérations de conditionnement		1					
	<b>Consommateur</b>	<b>Ensemble des fonctions facilitant l'usage pour le consommateur, ou le rendant attrayant</b>							
	Préhension	Avoir une bonne prise en main (ergonomie)		1					
	Rangement	Être facile à ranger dans les lieux de stockage usuels		1					
	Ouverture/fermeture	Faciliter l'ouverture et la fermeture							
		Ouverture facile	Faciliter l'ouverture de l'emballage	1					
		Inviolabilité	Présenter une trace évidente en cas d'ouverture intempestive	1					
		Refermeture	Faciliter la refermeture de l'emballage	1					
	Déballage	Faciliter les opérations de dégroupage de l'unité de vente pour en extraire l'unité consommateur		1					
	Facilité d'emploi	Permettre une consommation aisée du produit dans toutes les circonstances de consommation		1					
	Réutilisation	Permettre une éventuelle réutilisation de l'emballage pour un autre usage que celui prévu initialement			2				
	Quantité	Contenir une quantité adaptée aux habitudes de consommation			2				
	<b>Ecologie</b>	<b>Limitier les nuisances à l'environnement</b>							
	Écobilan	Présenter un bilan de cycle de vie favorable par rapport aux concurrents							

	Air	Minimiser les volumes d'air pollué		2			
	Eau	Minimiser les volumes d'eau polluée		2			
	Déchets	Minimiser les volumes de déchet solide après élimination		2			
	Énergies	Minimiser les quantités d'énergie nécessaires > fabrication de l'emballage		2			
		Minimiser les quantités d'énergie nécessaires > conditionnement		2			
	Matières premières	Minimiser les poids de matières premières nécessaires à la fabrication de l'emballage		2			
Éco-conception	Intégrer les critères environnementaux dans la conception de l'emballage, limiter les impacts, cradle 2 cradle						
	Vérifier les règles des 10 R						
	1. Réflexion	Réfléchir dès la conception aux impacts environnementaux	1				
	2. Retrait	Retirer l'inutile	1				
	3. Réduction	Réduire ce qui n'est pas nécessaire	1				
	4. Réutilisation	Réutiliser les emballages ménagers et industriels, Être re-remplissable (consigné)		2			
	5. Recyclabilité	Faciliter le tri sélectif et le recyclage matière		2			
	6. Récupération	Récupérer l'énergie potentielle et valoriser la fin de vie		2			
	7. Remplacement	Remplacer les matériaux et/ou les énergies		2			
	8. Re-conception	Reconcevoir le packaging pour optimiser l'utilisation	1				
	9. Relativité	Relativiser les impacts directs sur l'ACV après le changement		2			
	10. Rassurance	Rendre confiance en informant l'utilisateur	1				
	Volume poubelle	Minimiser la place du déchet dans la poubelle	1				
	Compétences	Être = ou < aux principaux concurrents en regard aux fonctions d'emballage	1				
	Comparaison	Être = ou < aux principaux concurrents en regard des poids et volumes d'emballage		2			

Tableau 77 : Cahier des charges fonctionnel du packaging.

### 8.3 Possibilités d’emballages primaires, secondaires et tertiaires envisagés

L’emballage primaire correspond à celui qui entre en contact avec le produit alimentaire, représentant l’unité de consommation (184). Avec l’étape d’enrobage présentée dans le projet transversal, un film hydrosoluble comestible avait d’abord été imaginé comme emballage primaire. Néanmoins, le film n’aurait pas rempli toutes les fonctions en ce qui concerne la conservation du produit. C’est pourquoi un emballage primaire complémentaire comme un sachet de type doypack ou form fill and seal, un blister ou encore une boîte métallique ou en carton a été imaginé.

L’emballage secondaire couvre l’emballage primaire afin de regrouper un certain nombre d’articles pour en faire une unité de vente (UVC), facilitant ainsi la manipulation des petits produits car ces derniers sont regroupés dans un seul paquet. Ce type d’emballage fournit aussi une protection supplémentaire, afin de conserver l’intégrité de l’emballage primaire (184). En ce qui concerne l’emballage secondaire, une boîte en carton et une boîte en métal ont été envisagées.

L’emballage tertiaire aussi appelé l’emballage de manutention ou de transport permet de regrouper de grandes quantités de produits et de les transporter, correspondant à l’unité de distribution (184). Comme expliqué dans le Business Model Canvas réalisé au point 8.8, le produit alimentaire innovant sera distribué via du e-commerce ou via une distribution sélective. Un packaging tertiaire facilement adapté à ces deux canaux de distribution a été imaginé. Des packagings tertiaires avec des dimensions standards ont ainsi été réfléchis, comme des caisses américaines palettisées ainsi que des bacs gerbables réutilisables.

Les avantages et inconvénients vont être passés en revue dans le tableau 78.

Emballage primaire, forme et matériaux	Avantages	Inconvénients
<p><b>Doypack :</b></p>  <p><b>Matériaux :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Papier kraft/PET/PE</li> </ul> <p><b>Dimensions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contenu : 400 g</li> <li>- Hauteur : 18 cm</li> <li>- Largeur : 12 cm</li> </ul>	<p>Légèreté                      Ouverture facile et refermable                      Volume à vide faible                      Bonne prise en main                      Facile d’utilisation                      Ergonomie : debout                      Bonne conservation                      Protection contre l’humidité et la lumière                      Possibilités infinies pour le design                      Abordable pour le consommateur</p>	<p>Multicouches donc complexité du recyclage                      Non résistant aux chocs                      Ressources non renouvelables, préoccupation de durabilité à long terme</p>

<p><b>Blister</b></p>  <p><b>Matériaux :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coque en PVC et film en alu</li> </ul> <p><b>Dimensions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diamètre : 4,5 cm</li> <li>- Hauteur : 4,5 cm</li> </ul>	<p>Protection du produit : barrière efficace contre les contaminations extérieures                  Scellé de manière hermétique, garanti l'intégrité du produit                  Résistance aux chocs et aux pressions                  Visibilité du produit : transparence et attractivité                  Facilité d'utilisation : ouverture facile, portabilité                  Impression personnalisable                  Formes variables</p>	<p>Impact environnemental : non recyclable                  Utilisation de matériaux non renouvelables                  Coûts de production élevés                  Complexité de fabrication, nécessite des moules et des équipements spécifiques</p>
<p><b>Sachet unitaire : Form Fill and Seal</b></p>  <p>Matériaux : Polyéthylène (FFS)                  Dimensions : 4,5 x 4,5 cm</p>	<p>Personnalisation du sachet, surface imprimable                  Attractivité du sachet                  Efficacité de production, cadence élevée, automatisation                  Flexibilité, variété de formes et de tailles                  Diversité des matériaux                  Préservation du produit, scellage hermétique, barrière protectrice                  Portabilité et stockage : légèreté et économie d'espace</p>	<p>Impact environnemental, plastique                  Recyclabilité limitée                  Sachet unitaire, quantité de déchet augmentée                  Vulnérabilité, le sachet peut se déchirer, moins robuste que d'autres matériaux                  Protection limitée contre les chocs                  Équipement coûteux pour les petites entreprises</p>
<p><b>Emballage secondaire, forme et matériaux</b></p>	<p><b>Avantages</b></p>	<p><b>Inconvénients</b></p>
<p><b>Boîte en carton</b></p>  <p><b>Matériaux :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Carton recyclé FSC ou cellulose moulée</li> </ul> <p><b>Dimensions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Boîte rectangulaire avec tiroir : 6 x 25 x 6 cm</li> </ul>	<p>Différentes formes et tailles possibles, personnalisable                  Facilité d'impression                  Avantages écologiques : biodégradable, recyclable, renouvelable                  Bonne barrière contre les dangers physiques                  Facilité de stockage                  Légèreté</p>	<p>Protection limitée contre l'humidité, traitements ou doublures envisageables                  Coûts de production variables                  Normes strictes                  Moins flexibles comparés à certains matériaux pour emballer des formes irrégulières</p>

<p><b>Boîte en métal :</b></p>  <p><b>Matériaux :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fer blanc</li> </ul> <p><b>Dimensions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contenu : 500 g</li> <li>- Hauteur : 16,5 cm</li> </ul>	<p>Résistance aux chocs Durabilité Réutilisabilité Bonne conservation Protection contre les gaz, l'humidité et la lumière Bonne image de marque : image haut de gamme</p>	<p>Volume à vide important Monocouche épaisse Corrosion Prix plus élevé Poids plus élevé</p>
<p><b>Emballage tertiaire, forme et matériaux</b></p>	<p><b>Avantages</b></p>	<p><b>Inconvénients</b></p>
<p><b>Caisses américaines et palettes :</b></p>  <p><b>Matériaux :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Caisses américaines : carton ondulé et fermeture avec rubans adhésifs</li> <li>- Palette : bois</li> </ul> <p><b>Dimensions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Caisses américaines : 34 x 22 x 14 cm</li> <li>- Palette : 1200 x 800 x 145 mm</li> </ul>	<p>Protection contre les chocs Protection des charges palettisées lors du transport Facilité de manipulation Optimisation de l'espace Standardisation</p>	<p>Coût initial élevé Poids Encombrement de l'espace de stockage quand les caisses et les palettes ne sont pas utilisées Complexité de gestion afin d'assurer leur retour et leur réutilisation</p>
<p><b>Bacs gerbables réutilisables :</b></p>  <p><b>Matériaux :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- PP, 100 % recyclé</li> </ul> <p><b>Dimensions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 400 x 300 x 264 mm</li> </ul>	<p>Durabilité et réutilisabilité Réduction des coûts à long terme Protection des produits Optimisation de l'espace, s'empilent facilement Facilité de manipulation Faciles à nettoyer Impact environnemental réduit</p>	<p>Coût initial peut être élevé Gestion et logistique pour assurer leur retour et réutilisation Usure et maintenance Poids</p>

Tableau 78 : Avantages et inconvénients des différents emballages envisagés.

## 8.4 Emballages sélectionnés

L'étude des différents emballages a permis de sélectionner les types d'emballages primaire, secondaire et tertiaire les plus adéquats pour le produit innovant. L'emballage primaire choisi est une boîte en carton parallélépipède avec un tiroir, comme emballage secondaire un film étirable autour de la boîte en carton et comme emballage tertiaire des bacs gerbables. Une étude plus approfondie de chaque emballage sélectionné et des matériaux a été réalisée dans les prochains points.

## 8.5 Élaboration du packaging

Une fois les types d'emballages sélectionnés, un packaging harmonieux et attrayant doit être créé. En effet, le packaging, non seulement protège le produit mais renforce également la reconnaissance et la fidélité à la marque. Ainsi, plusieurs éléments sont essentiels pour la création d'un packaging efficace tel que le moodboard et le nuage de mots pour s'inspirer et savoir ce que le packaging doit véhiculer comme message. L'univers, les couleurs et l'image de la marque ne sont pas non plus à négliger.

### 8.5.1 Moodboard

Le moodboard est un outil créatif qui permet de trouver l'inspiration et d'explorer différentes voies créatives, celui-ci stimule l'imagination en rassemblant des images ou des éléments visuels. La réalisation d'un moodboard pour le packaging a permis de faire ressortir les éléments clés, parmi ceux-ci :

- Le réconfort du produit
- Le côté innovant du produit
- L'univers couleur
- Le côté épuré/ esthétique
- La mise en avant des matières premières/ l'origine
- Le côté pratique
- La découverte d'un nouveau produit



Figure 43 : Moodboard.

De plus un nuage de mots, se trouvant à la figure 44 a été réalisé, afin de compléter le moodboard. C'est une représentation visuelle des mots les plus en lien avec le produit innovant, la police la plus grosse soulignant les mots les plus significatifs. Ainsi, les mots qui ressortent le plus sont :

- Innovant
- Réconfort
- Ludique
- Convivialité

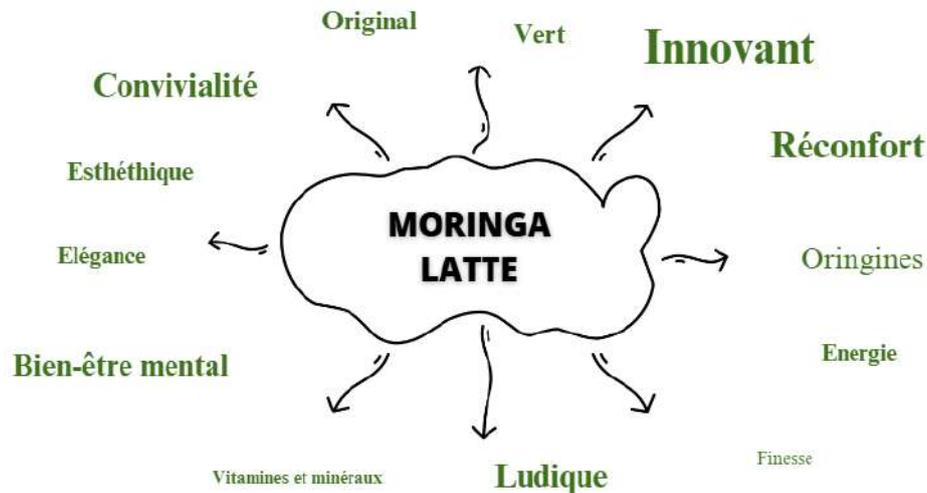


Figure 44 : Nuage de mots.

### 8.5.2 L'univers, les couleurs et l'image

L'univers de la marque englobe les valeurs, la mission et l'histoire de l'entreprise, assurant que le packaging est cohérent avec l'identité globale de la marque. Les couleurs choisies jouent un rôle crucial en attirant l'attention des consommateurs et en évoquant des émotions spécifiques, tandis que l'image de la marque garantit que le packaging communique de manière claire et efficace les attributs et les avantages du produit.

Le but premier du produit innovant est de faire découvrir le moringa au consommateur car ce dernier est peu connu. Le moringa a donc été allié au chocolat blanc dans le but de faire découvrir un ingrédient totalement nouveau au consommateur, tout en étant associé à un aliment apprécié et réconfortant. La mission est claire : offrir une boisson réconfortante, originale et facile à préparer. De plus, le moringa a un goût assez particulier, le fait de l'associer au chocolat blanc permet d'atténuer son côté très vert pour le consommateur peu aguerri.

Les couleurs de la marque jouent un rôle crucial dans son identité. En effet, le vert, la couleur principale, évoque directement la plante de moringa en faisant penser au côté nature ainsi qu'aux origines de la plante. Ensuite, des touches de beige ont également été ajoutées, rappelant la couleur du latte. Cela permet d'ajouter une sensation de douceur et de réconfort qui sont les premiers buts de la boisson. La figure 45 reprend l'univers de la marque ainsi que les couleurs.





Figure 46 : Design, Logo et Slogan.

## 8.6 Emballage primaire

### 8.6.1 Forme et les dimensions de l'emballage primaire

Le packaging primaire sélectionné a la forme d'un parallélépipède et s'ouvre tel un tiroir avec une lchette. Le consommateur peut ainsi prendre une sphère puis refermer sa boîte, ce qui permet une certaine praticité d'usage mais également une certaine esthétique. La boîte peut ainsi être réutilisée pour y placer des objets personnels.

Etant donné que les sphères font 4 cm de diamètre, la boîte en carton a des dimensions de l x L x h : 6 x 21 x 6 cm. Un système de logement intégré à l'intérieur permettant aux sphères d'être stables et de les protéger des coups a également été pensé.

### 8.6.2 Étiquetage de l'emballage primaire

Les informations reprises sur l'emballage final sont illustrées à la figure 47. Les éléments obligatoires selon le Règlement INCO sont repris sur l'emballage final. Les différentes faces du packaging sont détaillées dans les différents tableaux. De plus, les labels concernant la recyclabilité des matériaux afin d'informer le consommateur sont repris sur l'emballage. Le label « FSC » figure sur le packaging, indiquant que le carton provient de sources responsables, respectant des normes environnementales, sociales et économiques strictes. De plus le carton est recyclable. Le r-PET est également recyclable et bénéficie également d'un label.

Élément informatif	Description
Design et logo	
Goût du produit	Le moringa et le chocolat blanc sont mentionnés sur la première face de l'emballage
Nombre d'unité	Le nombre d'unité est mentionné sur la face avant de l'emballage

Tableau 79 : Éléments apparaissant sur la face avant de l'emballage.

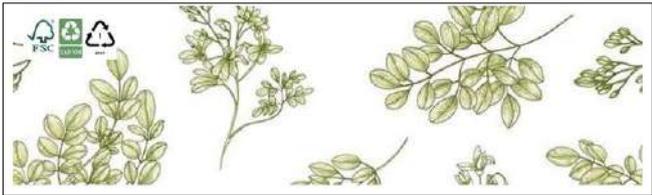
Élément informatif	Description
Conseils d'utilisation/ mode d'emploi se trouvent sur la face latérale droite	<p>Le mode d'emploi est renseigné afin d'avoir une utilisation optimale du produit.</p>  <p> <b>Température :</b> 80°C  <b>Dosage :</b> Une sphère dans 200ml d'eau chaude  <b>Moment de la journée :</b> A tout moment  <b>Conservation :</b> A l'abri de l'humidité, des odeurs et de la lumière         </p>
<p>La face latérale gauche est uniquement décorative et rappelle les feuilles de moringa. On y retrouve en petit les labels.</p> 	

Tableau 80 : Éléments apparaissant sur les faces latérales droite et gauche de l'emballage.

Élément informatif	Description																																												
Dénomination de vente	Latte instantané chocolaté sous forme de sphère à base de moringa.																																												
Liste des ingrédients	La liste d'ingrédients est reprise par ordre décroissant, les pourcentages de chaque ingrédient sont également mentionnés. <b>Ingrédients</b> : Poudre de lait écrémé 0% en poudre (44%), chocolat blanc (44%) (Sucre, beurre de cacao min 30%, poudre de lait entier, émulsifiant : lécithine de soja, extrait de vanille), moringa en poudre (11%), mycryo (0,01%). <b>Origines</b> : Poudre de lait française, chocolat blanc belge et poudre de moringa provenant d'Inde.																																												
Allergènes	Les allergènes sont repris en gras au niveau de la liste des ingrédients.																																												
Origine	La provenance des matières premières est indiquée.																																												
Déclaration nutritionnelle par 100g et par portion	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Valeurs nutritionnelles moyennes</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Pour 100g</th> <th>Par portion (28,5g)**</th> <th>% (28,5g)*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energie (kJ)</td> <td>1917,2</td> <td>546,4</td> <td>27,3</td> </tr> <tr> <td>Kilocalories (kcal)</td> <td>456,4</td> <td>130,1</td> <td>6,5</td> </tr> <tr> <td>Matières grasses</td> <td>18,5</td> <td>5,3</td> <td>7,5</td> </tr> <tr> <td>dont acides gras saturés (g)</td> <td>11,2</td> <td>3,2</td> <td>16,0</td> </tr> <tr> <td>Glucides</td> <td>51,0</td> <td>14,5</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>dont sucres (g)</td> <td>47,5</td> <td>13,5</td> <td>15,0</td> </tr> <tr> <td>Fibres</td> <td>3,1</td> <td>0,9</td> <td>10,3</td> </tr> <tr> <td>Protéines (g)</td> <td>20,0</td> <td>5,7</td> <td>11,4</td> </tr> <tr> <td>Sel (g)</td> <td>0,3</td> <td>0,1</td> <td>1,4</td> </tr> </tbody> </table> <p>* Apports de référence pour un adulte-type (8400 kJ/2000 kcal).  ** 1 portion = 28,5g. Cet emballage contient 4 portions.</p>	Valeurs nutritionnelles moyennes					Pour 100g	Par portion (28,5g)**	% (28,5g)*	Energie (kJ)	1917,2	546,4	27,3	Kilocalories (kcal)	456,4	130,1	6,5	Matières grasses	18,5	5,3	7,5	dont acides gras saturés (g)	11,2	3,2	16,0	Glucides	51,0	14,5	5,6	dont sucres (g)	47,5	13,5	15,0	Fibres	3,1	0,9	10,3	Protéines (g)	20,0	5,7	11,4	Sel (g)	0,3	0,1	1,4
Valeurs nutritionnelles moyennes																																													
	Pour 100g	Par portion (28,5g)**	% (28,5g)*																																										
Energie (kJ)	1917,2	546,4	27,3																																										
Kilocalories (kcal)	456,4	130,1	6,5																																										
Matières grasses	18,5	5,3	7,5																																										
dont acides gras saturés (g)	11,2	3,2	16,0																																										
Glucides	51,0	14,5	5,6																																										
dont sucres (g)	47,5	13,5	15,0																																										
Fibres	3,1	0,9	10,3																																										
Protéines (g)	20,0	5,7	11,4																																										
Sel (g)	0,3	0,1	1,4																																										
Poids net	Le poids net est indiqué, à savoir 114 g.																																												
DDM	La DDM est indiquée, à savoir 2 mois.																																												
Conseils de conservation	Des conseils sur la conservation du produit sont indiqués.																																												
Numéro de lot	Un numéro de lot fictif est indiqué sur la face arrière de l'emballage.																																												
Slogan	Le slogan de la marque est : « Une innovation végétale dans chaque gorgée ».																																												
Contact réseaux sociaux	Le site web est renseigné.																																												
Adresse du fabriquant	Une adresse fictive de fabrication est renseignée.																																												

Tableau 81 : Éléments apparaissant sur la face arrière de l'emballage.

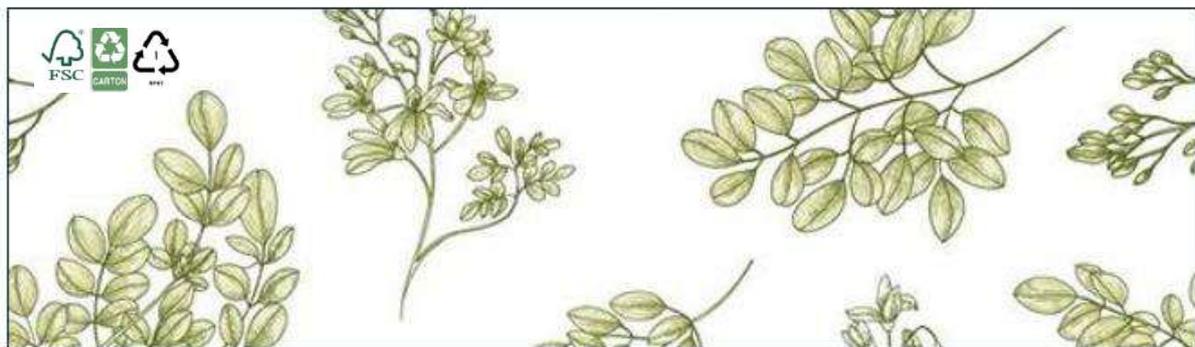
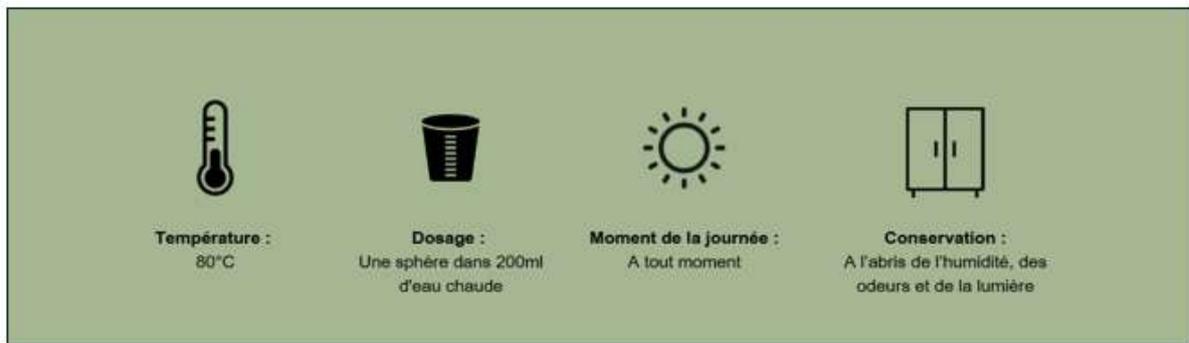
Élément informatif	Description
La face du dessus reprend la marque et le slogan	
La face du dessous reprend le code-barres	

Tableau 82 : Éléments apparaissant sur le dessus et le dessous de l'emballage.

## 8.6.3 Visuels de l’emballage primaire

### 8.6.3.1 Visuels 2D de l’emballage primaire

Les visuels 2D de l’emballage primaire ont été réalisés via les différentes applications informatiques Powerpoint et Canvas et en téléchargeant des images provenant de Pinterest.



Valeurs nutritionnelles moyennes			
	Pour 100g	Par portion (28,5g)**	% (28,5g)*
Energie (kJ)	1917,2	546,4	27,3
Kilocalories (kcal)	456,4	130,1	6,5
Matières grasses	18,5	5,3	7,5
dont acides gras saturés (g)	11,2	3,2	16,0
Glucides	51,0	14,5	5,6
dont sucres (g)	47,5	13,5	15,0
Fibres	3,1	0,9	10,3
Protéines (g)	20,0	5,7	11,4
Sel (g)	0,3	0,1	1,4

\*Apports de référence pour un adulte-type (8400 kJ/2000 kcal).  
 \*\*1 portion = 28,5g. Cet emballage contient 4 portions.

**Latte instantané chocolaté sous forme de sphère à base de moringa**  
**Ingrédients :** Poudre de lait écrémé 0% en poudre (44%), chocolat blanc (44%) (Sucre, beurre de cacao min 30%, poudre de lait entier, émulsifiant : lécithine de soja, extrait de vanille), moringa en poudre (11%), mycryo (0,01%).  
**Origines :** Poudre de lait française, chocolat blanc belge et poudre de moringa provenant d'Inde.

**Une innovation végétale dans chaque gorgée :**  
**Plus de conseils et de renseignements sur notre site internet : TGREEN.BE**

A conserver à l'abri de la chaleur, de l'humidité, des odeurs et de la lumière.  
 A consommer de préférence avant le / N° lot :

Av. de la Faculté d'Agronomie 41/13,  
 5030 Gembloux  
 TGREEN.BE

Poids net :  
**114g (4x28,5g)**

Figure 47 : Visuels 2D de l'emballage primaire.

### 8.6.3.2 Dépliage 2D de l'emballage primaire

Le dépliage en 2D d'un emballage primaire pour un produit innovant constitue une étape essentielle dans la conception et l'optimisation des emballages. Ce processus implique la conversion de la structure tridimensionnelle de l'emballage en un modèle à plat, permettant une visualisation et une analyse précises de chaque composant du design. En dépliant l'emballage, il devient ainsi possible d'identifier les zones critiques telles que les plis, les onglets et les zones de collage, afin d'optimiser la fabrication et l'assemblage.

Le dépliage 2D de l'emballage primaire intérieur et extérieur ont été réalisés sur Powerpoint.

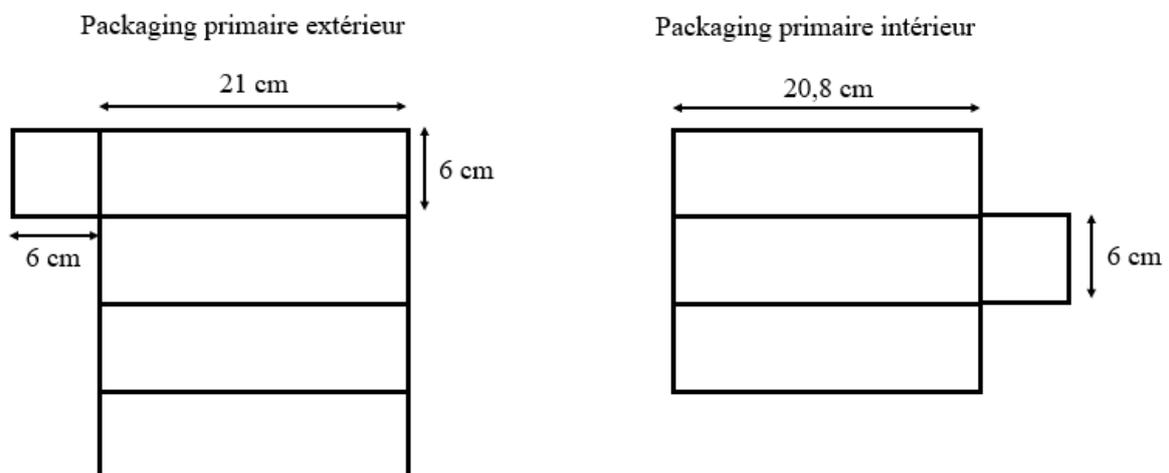


Figure 48 : Dépliage de l'emballage primaire.

### 8.6.3.3 Visuels 3D de l'emballage primaire

À l'aide du logiciel informatique Blender, l'emballage primaire imaginé pour le produit innovant a été réalisé en 3D.



Figure 49: Emballage du produit innovant par le logiciel Blender.

### 8.6.4 Réalisation manuelle de l'emballage primaire

L'emballage primaire a été réalisé manuellement à l'aide de carton en s'aidant du dépliage 2D et en collant les visuels 2D dessus.



Figure 50: Emballage du produit innovant.

## 8.6.5 Matériaux sélectionnés pour l'emballage primaire

Lors de la visite au salon Empack de Namur, la recherche d'emballages primaire, secondaire et tertiaire et plus particulièrement de matériaux a été un élément clé pour la sélection du packaging. Après, des informations sur les différentes options dans le domaine du chocolat ont été collectées.



Figure 51: Boîte en carton et système de logement.

### 8.6.5.1 Carton

Un carton « FSC » (Forest Stewardship Council) a été choisi pour constituer la boîte en carton comme emballage primaire. Ce carton est certifié selon des standards environnementaux stricts. Ces certifications assurent que le carton est produit de manière responsable, en respectant des critères de gestion durable des forêts. Le carton a différents avantages : économique, écologique, recyclage, modulable et facile à stocker ainsi qu'à plier (185).

De plus, un carton FSC a été choisi, s'agissant d'une organisation internationale à but non lucratif qui promeut une gestion responsable des forêts dans le monde entier. La certification FSC garantit que le carton provient de forêts gérées de manière écologique, socialement bénéfique et économiquement viable (185).

Par ailleurs, le système d'impression afin de personnaliser la boîte en carton à l'image de la marque a été réfléchi. Suite à la visite au salon Empack à Namur, l'entreprise « Codipack » qui développe en outre des systèmes d'impression sur emballages a été découverte. Cette entreprise a développé une imprimante « SmartWHITE » qui permet d'imprimer des couleurs très vives sur des fonds foncés tel que le papier kraft. Le carton étant brun, cette technique est idéale. À l'origine, coller une feuille sur la boîte en carton avait été imaginé. Néanmoins, grâce à cette technique d'impression, les différents composants de l'emballage primaire sont donc limités, à savoir la feuille en papier ainsi que la colle qui aurait dû servir à venir coller la feuille (186).

En ce qui concerne les encres utilisées, pour des raisons de sécurité, celles-ci devront respecter le règlement (CE) n°2023/2006 relatif aux bonnes pratiques de fabrication des matériaux et objets destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires. En effet, les procédés impliquant l'application d'encres d'imprimerie doivent suivre les bonnes pratiques de fabrication (187).

De plus, l'étui en carton afin d'être scellé doit être collé, la colle utilisée dans l'emballage agro-alimentaire doit répondre à des critères stricts pour garantir la sécurité alimentaire, l'efficacité de l'emballage ainsi que la conservation du produit. La colle « Intercol » à base d'eau a été choisie, s'agissant d'une solution adhésive écologique et polyvalente, idéale pour diverses activités industrielles. Sa formulation à base d'eau réduit les émissions de composés organiques volatils, contribuant ainsi à de meilleures conditions de travail. Toutefois, cette dernière peut être sensible à l'humidité et nécessite donc des conditions de stockage spécifiques pour maintenir ses propriétés adhésives (188).

### 8.6.5.2 Polyéthylène téréphtalate recyclé

Un système de logement dans la boîte en carton afin de venir glisser les sphères à l'intérieur a été imaginé. Pour ce faire, le système de logement sera en polyéthylène téréphtalate recyclé (r-PET) thermoformé. Un système de ce genre a pu être observé au salon Empack à Namur et cela a confirmé le choix pour cet emballage primaire. Toutefois le système présenté au salon était en polyester, ce qui en termes d'éco-conception n'est pas l'idéal. Le choix a donc été remis en question et le r-PET qui est un thermoplastique cristallin a été sélectionné. Ce matériau possède de bonnes propriétés de transparence et de résistance aux chocs est largement utilisé dans le domaine du conditionnement, (189,190).

Le règlement (UE) n°10/2011 de la Commission, en date du 14 janvier 2011, concerne les matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires. Ce règlement établit des règles spécifiques en ce qui concerne la composition et la fabrication de ces matériaux en vue de garantir la sécurité alimentaire. Ce règlement fixe des règles notamment en termes de composition et d'additifs, des limites de migration, des spécifications techniques et des exigences générales. Ainsi, le fournisseur des logements thermoformés devra répondre à ces exigences (191).

## 8.7 Emballage secondaire sélectionné

### 8.7.1 Le film en r-PET étirable

La boîte en carton n'étant pas scellée, un fin film transparent en r-PET autour de la boîte en carton sera placé autour. Ce fin film permet de protéger le produit alimentaire contre l'humidité et les gaz tout en garantissant le scellage de la boîte en carton.

En effet, le fin film en r-PET constitue une barrière de protection contre l'humidité et les gaz, ce qui aide à prolonger la durée de conservation du produit alimentaire. De plus, le r-PET est robuste et résistant, ce qui le rend adapté aux applications d'emballages qui nécessitent une certaine durabilité. Ce dernier est également transparent et esthétique, ce qui permet aux consommateurs de voir la boîte en carton au travers (192).

De plus, comme pour le système de logement, le film étirable en r-PET est soumis au règlement (UE) n°10/2011. Ce dernier spécifie les conditions sous lesquelles les matériaux recyclés peuvent être utilisés ainsi que les tests nécessaires pour garantir leur sécurité (191).

Pour finir, le processus de recyclage du PET doit être validé et approuvé par l'EFSA afin d'assurer que le matériau recyclé est sûr pour le contact alimentaire.

## 8.8 Emballage tertiaire sélectionné

### 8.8.1 Les bacs gerbables

Pour l'emballage tertiaire, des bacs gerbables réutilisables, de dimensions 400 x 300 x 264 mm, comme illustré à la figure 52 ont été sélectionnés.



Figure 52 : Bac gerbable.

Etant donné qu’une distribution sélective est visée, une distribution massive n’est pas nécessaire. Ainsi, le bac possédant un couvercle polyvalent est une solution rationnelle et est idéal pour relever les défis de stockage, de manutention et de préparation des commandes. Le design innovant du couvercle permet de le faire retomber verticalement lors de l’ouverture économisant ainsi de l’espace. La fermeture en dents de crocodiles est particulièrement efficace et fiable pour protéger les marchandises. De plus, un système de goupilles de charnières plombables protège les marchandises contre le vol (193).

Le bac est composé de matériaux 100 % recyclés, c’est une solution durable pour répondre aux besoins de stockage. De plus, ce dernier procure une bonne protection des marchandises grâce à ses parois rigides (193). Les caractéristiques techniques du bac sont reprises dans le tableau 83.

Critères	Caractéristiques techniques
Longueur extérieure	400 mm
Largeur extérieure	300 mm
Hauteur extérieure	264 mm
Matériau	PP
Températures d’utilisation	-20 °C à +90 °C
Poids max	35 kg
Type de produit	Bacs normes Europe

Tableau 83: Caractéristiques techniques des bacs gerbables.

### 8.8.2 Boîte d’envoi

Vu que du e-commerce est envisagé, la boîte d’envoi a également été pensée. La marque « RAJA » propose des boîtes d’envoi en carton réutilisable. Grâce à un code barre présent sur la boîte, les différentes informations en ce qui concerne la livraison sont encodées. Une fois que le consommateur reçoit son produit, celui-ci peut renvoyer la boîte en suivant les instructions qui sont directement imprimées dessus. Grâce à cela, le consommateur touche un peu d’argent et la boîte a une seconde vie, elle peut ainsi être réutilisée pour envoyer d’autres produits. De plus, le carton est garanti FSC (194).



Figure 53 : Boîte d’envoi réutilisable.

## 8.9 Auto-évaluation de la règle des 10R

Afin de sélectionner les différents emballages, la règle des 10R en termes d'éco-conception a été suivie. Ainsi, chacune des possibilités a été challengée afin de sélectionner celles qui correspondaient le plus à ce qui avait été défini.

Tout d'abord, une longue réflexion eut lieu en ce qui concerne le choix des matériaux. En effet, un doypack multicouche a tout d'abord été sélectionné. Ensuite, un emballage primaire sous forme de blister a également été envisagé. Après mûre réflexion et surtout grâce à la visite au salon Empack de Namur, une boîte en carton certifiée FSC a été choisie. Un système de logement à venir insérer dans la boîte a également été choisi. Le système de logement proposé au salon Empack était constitué de polyester. Ce dernier n'étant pas idéal en termes d'éco-conception, le choix a été remis en question et finalement un système de logement en r-PET a fait l'unanimité. Ce matériau a également été choisi pour le film étirable se trouvant autour de la boîte.

En ce qui concerne l'emballage tertiaire, initialement des boîtes de carton disposées sur des palettes avait été envisagé. Etant donné qu'un commerce de masse n'est pas visé, les palettes ne sont pas nécessaires, une distribution à petite échelle correspond plus au produit. Des bacs gerbables réutilisables et réunissables se sont vu être la solution idéale. Tout au long de la sélection des matériaux, la première règle des 10R de l'éco-conception, la réflexion a été appliquée.

Ensuite, l'inutile a été retiré et ce qui n'est pas nécessaire réduit, en appliquant les règles n°2 et 3 de l'éco-conception. Un emballage en carton a été choisi, permettant d'éliminer le doypack multicouche pour ne conserver qu'une couche d'emballage primaire. De plus, l'impression est directement effectuée sur la boîte en carton, éliminant ainsi la feuille à coller et la colle.

Concernant l'emballage tertiaire, la grosse boîte en carton de type américaine et la palette ont été remplacées par un bac gerbable réutilisable. Les enveloppes d'envoi sélectionnées sont également innovantes et réutilisables. La règle n°4 de l'éco-conception sur la réutilisation des emballages a été considérée avec attention.

Un autre point important était la recyclabilité des matériaux, c'est-à-dire le respect de la 5<sup>ème</sup> règle des 10R. Tous les matériaux choisis sont ainsi recyclables au maximum et même réutilisables pour certains. En effet, la boîte en carton pourrait être réutilisée par le consommateur et pas nécessairement jetée. De plus, les bacs gerbables sont réutilisables et recyclables en fin de vie.

Par ailleurs, le carton utilisé pour le packaging primaire et tertiaire peut être incinéré permettant de récupérer de l'énergie et ainsi d'être valorisé en fin de vie, ce qui permet d'appliquer la 6<sup>ème</sup> règle des 10R sur la récupération.

Pour finir, afin de mieux comprendre l'impact de l'emballage, une ACV qui se trouve au point 9 a été réalisée. Cela permettant ainsi de relativiser les impacts directs sur l'analyse de cycle de vie après le changement et donc de vérifier la règle 9 des 10R.

La 10<sup>ème</sup> règle sur la rassurance du consommateur en rendant confiance en l'informant était également un point essentiel. En effet, éduquer le consommateur à aller vers des emballages plus durables est primordial ! Pour ce faire, les labels concernant la recyclabilité des matériaux ont été placés sur l'emballage primaire afin d'informer les acheteurs. Ainsi, le symbole de recyclage universel correspond à un triangle formé par trois flèches se poursuivant. Le label du carton recyclable et le label r-PET recyclable rassurent donc les consommateurs sur la recyclabilité du carton et du plastique, les encourageant à trier correctement leurs déchets. De plus, le label FSC figure aussi sur le packaging, indiquant que le carton provient de sources responsables, respectant des normes environnementales, sociales et économiques strictes.

## 8.10 Conclusion

Ce point a permis de détailler l'ensemble des activités et des réflexions sur le packaging du produit innovant.

Tout d'abord, l'analyse des emballages déjà présents sur le marché pour des produits similaires tels que les cafés solubles, thés, matcha, œufs et sucreries a permis d'identifier les emballages intéressants et optimaux ainsi que les méthodes de conservation les plus efficaces. Ces observations ont servi à élaborer le Cahier des Charges Fonctionnel, garantissant que le packaging réponde aux attentes des utilisateurs, incluant les consommateurs ou professionnels du marketing et de l'industrie.

Ensuite, diverses possibilités d'emballages primaires, secondaires et tertiaires ont été explorées pour optimiser la protection, la conservation et la praticité du produit. Les options envisageables ont été évaluées en termes de matériaux, de protection apportée, de durabilité et de recyclabilité, entre autres. Les réflexions sur les formes, les dimensions et les matériaux ont été guidées par des critères de fonctionnalité et de durabilité. Les visites au salon Empack de Malines et Namur ont permis de confirmer ces choix et d'en envisager d'autres.

En outre, le développement du packaging a été appuyé par la création du moodboard, du nuage de mots, ainsi que l'univers de la marque, intégrant des couleurs et un design en cohérence avec l'image souhaitant être véhiculée. Le choix de la marque « T.Green » ainsi que le slogan « Une innovation végétale dans chaque gorgée ! » reflètent l'engagement à faire découvrir le moringa de manière innovante et réconfortante. De plus, l'étiquetage a été minutieusement pensé pour inclure toutes les informations nécessaires et attractive pour le consommateur.

Enfin, la règle des 10R de l'éco-conception a été prise en compte dans la conception de l'emballage du produit alimentaire innovant. En intégrant cette approche, l'impact environnemental a été réduit à chaque étape du cycle de vie du produit. Cette démarche reflète un engagement envers la durabilité et la responsabilité écologique, en priorisant des principes tels que la réduction des matériaux, la réutilisation, le recyclage et la récupération. En suivant les 10R, l'emballage protège et préserve le produit tout en contribuant à un avenir plus respectueux de l'environnement.

# 9 Analyse de cycle de vie (ACV)

Une analyse de cycle de vie (ACV) peut être mise en œuvre dès les premières étapes de l'innovation et du développement d'un produit, intégrant ainsi les considérations environnementales à sa conception et à son élaboration. Ce principe d'éco-conception vise à réduire la consommation de ressources, d'énergie, ainsi que les émissions et les déchets générés par la production alimentaire (195).

## 9.1 L'importance d'évaluer l'impact des produits alimentaires

Évaluer les impacts des produits alimentaires est crucial pour plusieurs raisons.

Premièrement, l'industrie alimentaire est l'une des principales sources d'émissions de gaz à effet de serre, de consommation d'eau et de déforestation, contribuant significativement au changement climatique et à la perte de biodiversité. En analysant ces impacts, les entreprises peuvent identifier les points critiques de leur chaîne de production et mettre en place des stratégies pour réduire leur empreinte écologique.

Deuxièmement, cette évaluation permet de sensibiliser les consommateurs à l'importance de leurs choix alimentaires, les incitant à opter pour des produits plus durables et à adopter des comportements de consommation responsables.

Troisièmement, les réglementations environnementales deviennent de plus en plus strictes, et les entreprises qui n'anticipent pas ces changements risquent des sanctions financières et une perte de réputation.

Enfin, évaluer les impacts des produits alimentaires peut stimuler l'innovation, en encourageant le développement de nouvelles technologies et pratiques agricoles plus durables.

En somme, cette démarche est essentielle pour assurer la durabilité écologique, économique et sociale du système alimentaire (195).

## 9.2 Généralités d'une analyse de cycle de vie (ACV)

Une analyse de cycle de vie (ACV) est une méthode quantitative, multicritère et systématique utilisée pour évaluer les impacts environnementaux associés à toutes les étapes de la vie d'un produit, de la production à la consommation finale et à l'élimination des déchets (à savoir, du berceau à la tombe). Cette approche prend notamment en compte les émissions de gaz à effet de serre, la consommation d'énergie, l'utilisation des ressources naturelles, ainsi que les effets sur la biodiversité et les écosystèmes. Les principes directeurs généraux de cette analyse sont énoncés dans l'ISO 14040 et ISO 14044. L'évaluation est divisée en quatre sections distinctes : définition des objectifs et de la portée, analyse de l'inventaire du cycle de vie, analyse de l'impact du cycle de vie et interprétation du cycle de vie (196).

Une ACV permet ainsi d'identifier les problèmes clés et d'éviter les compromis en matière de pollution en prenant en compte le cycle de vie global, l'étude de nombreux impacts environnementaux sur l'homme, l'environnement, la santé et la préservation des ressources. Elle assure ainsi une base de comparaison objective avec les liens entre les pressions environnementales et la fonction donnée du produit/service (196).

Cependant, l'ACV possède des limites. Tout d'abord, une analyse de cycle de vie est un outil d'aide à la décision et non un outil de décision. Elle se concentre uniquement sur l'aspect environnemental et ne prend pas en compte les aspects économiques ou sociaux ou opérationnels. Ensuite, les résultats dépendent très fortement du modèle et des données d'entrées. Enfin, divers aspects ne sont pas pris en compte comme la biodiversité ou encore les paysages (196).

## 9.3 Étapes d'une ACV

L'ACV est une méthode multi-étape qui doivent toutes être respectées.

### 9.3.1 Objectif et champ de l'étude

#### 9.3.1.1 Définir l'objectif

De par sa classification de type A, cette ACV a pour objectif de mieux comprendre les impacts environnementaux et leur localisation dans la chaîne d'approvisionnement, en identifiant les domaines à fort impact connu sous le nom de « hotspots ». Ces connaissances permettent de mettre en œuvre des mesures précises pour améliorer les processus et les produits, réduisant ainsi leur empreinte environnementale. Étant donné que cette analyse fait partie d'un mémoire, l'utilisation des résultats s'inscrit dans un objectif éducatif. Le public auquel les résultats s'adressent sont les lecteurs qui liront ce rapport.

De manière plus globale, une ACV d'un produit alimentaire permet d'identifier les principaux points critiques et d'élaborer des stratégies pour minimiser l'empreinte écologique. Ainsi, elle aide les entreprises à améliorer la durabilité de leurs produits et informer les consommateurs sur les impacts environnementaux de leurs choix alimentaires (179).

#### 9.3.1.2 Définir l'unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle (FU) d'une ACV est une mesure de référence qui permet de quantifier et de comparer les performances environnementales de produits ou de services. Elle sert donc de base pour l'évaluation des impacts environnementaux en fournissant un point de comparaison homogène et précis (197).

L'unité fonctionnelle de cette ACV est définie comme « la production d'une unité de vente comportant 4 sphères ». Une unité de vente est en réalité une boîte en carton de 21 x 6 x 6 cm qui pèse 28,8 g et qui comporte 4 sphères de 28,5 g chacune, le poids total étant donc de 142,8 g. Ainsi, les intrants ont été normalisés avec l'unité fonctionnelle.

#### 9.3.1.3 Définir le système et ses limites

Les limites du système définissent ce qui est inclus et ce qui est exclu dans le système et pourquoi. Cela comprend les processus pris en compte dans l'étude. Dans cette étude, les processus d'extraction des matières premières et leur acheminement jusqu'à l'endroit de production du produit innovant puis la conception du produit innovant, sa distribution, sa consommation et la gestion des déchets sont intégrés. C'est donc un cycle du berceau à la tombe et même un cycle du berceau au berceau car une partie de l'eau est réutilisée comme décrit plus loin.

Les flux de référence sont tous les produits nécessaires pour remplir la fonction définie par l'unité fonctionnelle. Les différents flux sont représentés au point « Schéma de flux d'énergie massique ». Ainsi, cette étude prend en compte les intrants et les sortants des processus cités ci-dessus.

### Schéma de flux d'énergie massique

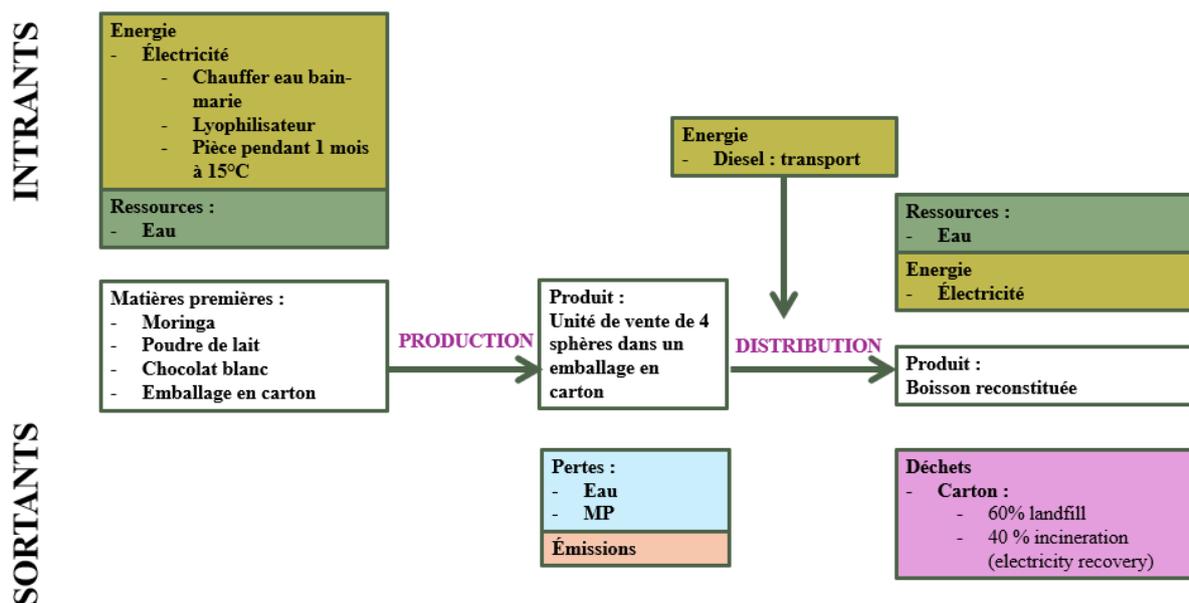


Figure 54 : Schéma de flux d'énergie massique.

## 9.3.2 Inventaire

### 9.3.2.1 Inventaire des données conformément à l'unité fonctionnelle

Le tableau 75 reprend tous les intrants et sortants du schéma d'énergie massique normalisés à l'unité fonctionnelle. Les entrées et sorties assez spécifiques de cette étude n'étant pas toutes enregistrées dans Simapro, des données génériques ont été choisies à la place. L'étude ne donne ainsi qu'une idée générale des impacts environnementaux du produit innovant.

Sortant connu vers la technosphère (produits et co-produits)		Quantité et unité
Une unité de vente (4 sphères et un emballage)		142,8 g ((4x28,5 g)+28,8 g)
Entrées	Entrées connues de la technosphère dans Simapro (matériaux carburants)	Quantité et unité
Moringa	Tea, dried {GLO}  market for tea, dried   Cut-off, U	12,4 g (4 x 3,1 g)
Poudre de lait	Milk, powder, skimmed, non-rehydrated, processed in FR   Ambient (long)   Cardboard   at distribution {FR} S	50 g (4 x 12,5 g)
Chocolat blanc	White chocolate, at plant {FR} U	50 g (4 x 12,5 g)
Emballage	Folding boxboard carton {RER}  market for folding boxboard carton   Cut-off, U	28,8 g (dimension de 21 cm x 6 cm x 6 cm avec une densité de 500 g/m <sup>2</sup> )
Lyophilisation	Drying of grass {RoW}  processing   Cut-off, U	0,0016 L d'eau évaporée (pour 40g de mélange interne dans 4 sphères)

Température du chocolat	White chocolate bar, processed in FR   Ambient (long)   Cardboard   at distribution {FR} U	50 g (4 x 12,5 g)
Eau du robinet pour reconstituer la boisson	Tap water {RoW}   market for   Cut-off, U	800 ml (4 x 200 ml)
<b>Entrées</b>	<b>Entrées connues de la technosphère dans Simapro (électricité/chauffage)</b>	<b>Quantité et unité</b>
Eau du bain-marie	Water, deionised {RoW}   market for water, deionised   Cut-off, U	20 kg (capacité du bain-marie)
Électricité (lyophilisateur pendant un cycle de 72h, maintien de la réserve à 15 °C pendant 30 jours, chauffer l'eau à 55 °C)	Electricity, low voltage {BE}   market for   Cut-off, U	20 kWh (estimation normalisée à l'UF)
Transport jusqu'au point de vente (100 km)	Transport, freight, light commercial vehicle {RER}   market group for transport, freight, light commercial vehicle   Cut-off, U	0,01428 tkm (142,8 g x 100 km)
<b>Sortants</b>	<b>Sortants dans Simapro</b>	<b>Quantité et unité</b>
CO2 produits par 20 kWh	Émissions vers l'air : Carbon dioxide	3,4 kg (173 g par kWh)
Emballage	Flux de déchets finals : Packaging waste, paper and board	28,8 g
Eau	Sortants connus vers la technosphère : déchets et émissions pour traitements : Wastewater, unpolluted {GLO}   market for   Cut-off, U	0,005 m <sup>3</sup> (réutilisation de 15 L sur 20 L)

Tableau 84: Inventaire.

### 9.3.3 Évaluation des impacts

#### 9.3.3.1 Processus créé dans le logiciel Simapro

Produits						
Sortants connus vers la technosphère. Produits et co-produits	Quantité	Unité	Quantité	Affectation %	Type de déchets	Catégorie
Une unité de vente	142,8	g	Mass	100 %	non défini	TFE
(Insérer une ligne ici)						
Sortants connus vers la technosphère. Produits évités	Quantité	Unité	Distribution	Ecart Type^2 ou	Min	Max
(Insérer une ligne ici)						
Entrées						
Entrées connues de la nature (ressources)	Sous-compartiment	Quantité	Unité	Distribution	Ecart Type^2 ou	Min
(Insérer une ligne ici)						
Entrées connues de la technosphère (matériaux/carburants)		Quantité	Unité	Distribution	Ecart	Max
Tea, dried (GLO) market for tea, dried   Cut-off, U		12,4	g		Indéfini	
Milk, powder, skimmed, non rehydrated, processed in FR   Ambient (long)   Cardboard   at distribution (FR) S		50	g		Indéfini	
Folding boxboard carton (RER) market for folding boxboard carton   Cut-off, U		28,8	g		Indéfini	
Tap water (RoW) market for   Cut-off, U		800	g		Indéfini	
White chocolate bar, processed in FR   Ambient (long)   Cardboard   at distribution (FR) U		50	g		Indéfini	
White chocolate, at plant (FR) U		50	g		Indéfini	
Drying of grass (RoW) processing   Cut-off, U		0,0016	l		Indéfini	
(Insérer une ligne ici)						
Entrées connues de la technosphère (électricité/chaueur)		Quantité	Unité	Distribution	Ecart Type^2 ou	Min
Water, deionised (RoW) market for water, deionised   Cut-off, U		20	kg		Indéfini	
Electricity, low voltage (BE) market for   Cut-off, U		20	kWh		Indéfini	
Transport, freight, light commercial vehicle (RER) market group for transport, freight, light c		0,01428	tkm		Indéfini	
(Insérer une ligne ici)						
Sortants						
Émissions vers l'air	Sous-compartiment	Quantité	Unité	Distribution	Ecart Type^2 ou	Min
Carbon dioxide		3,4	kg		Indéfini	
(Insérer une ligne ici)						
Émissions vers l'eau	Sous-compartiment	Quantité	Unité	Distribution	Ecart Type^2 ou	Min
(Insérer une ligne ici)						
Émissions vers le sol	Sous-compartiment	Quantité	Unité	Distribution	Ecart Type^2 ou	Min
(Insérer une ligne ici)						
Flux de déchets finals	Sous-compartiment	Quantité	Unité	Distribution	Ecart Type^2 ou	Min
Packaging waste, paper and board		28,8	g		Indéfini	
(Insérer une ligne ici)						
Émissions non matérielles	Sous-compartiment	Quantité	Unité	Distribution	Ecart Type^2 ou	Min
(Insérer une ligne ici)						
Questions sociales	Sous-compartiment	Quantité	Unité	Distribution	Ecart Type^2 ou	Min
(Insérer une ligne ici)						
Questions économiques	Sous-compartiment	Quantité	Unité	Distribution	Ecart Type^2 ou	Min
(Insérer une ligne ici)						
Sortants connus vers la technosphère. Déchets et émissions pour traitement		Quantité	Unité	Distribution	Ecart Type^2 ou	Min
Wastewater, average (RoW) market for wastewater, average   Cut-off, U		0,005	m3		Indéfini	
(Insérer une ligne ici)						

Tableau 85 : Processus dans Simapro.

#### 9.3.3.2 Catégories d'impacts environnementaux et méthode d'analyse d'impact

Les catégories d'impacts environnementaux sont sélectionnées sur base de leur pertinence environnementale par rapport au cas d'étude. En particulier, cette analyse reprend les catégories d'impact proposées dans l'article « Life cycle assessment of reusable plastic food packaging » de l'équipe de Pooja Yadav (197).

Le réchauffement climatique (kg de CO2 eq.), l'écotoxicité marine (kg 1,4-DCB eq.) et d'autres catégories d'impact ont été évalués conformément aux facteurs de caractérisation rapportés dans la méthode du point médian ReCiPe 2016 (World-H) à l'aide du logiciel SimaPro 9.5 (PRé Sustainability, 2023).

### 9.3.4 Interprétation

#### 9.3.4.1 Résultats graphiques

##### Caractérisation

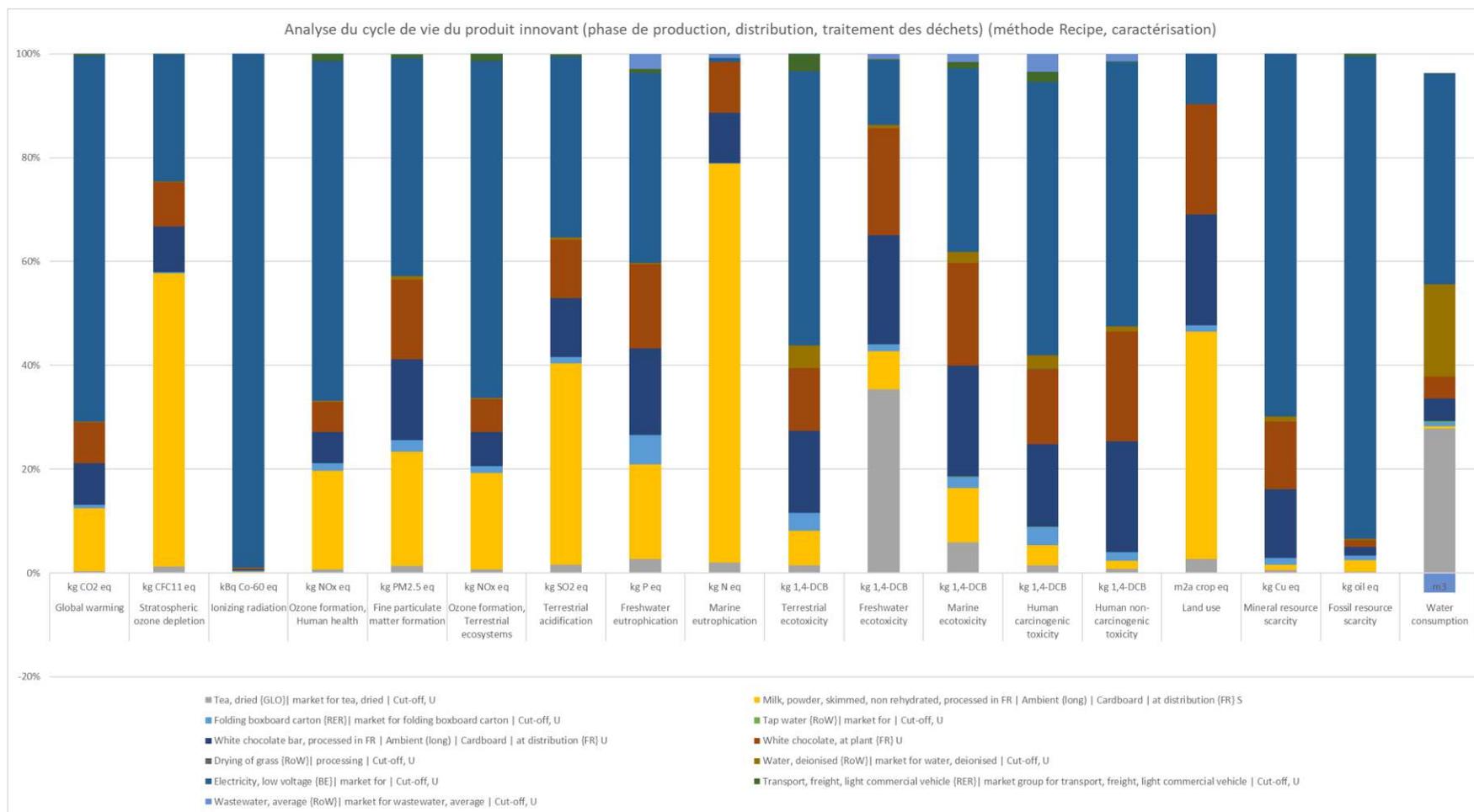


Figure 55 : LCA du produit innovant (caractérisation).

**Normalisation**

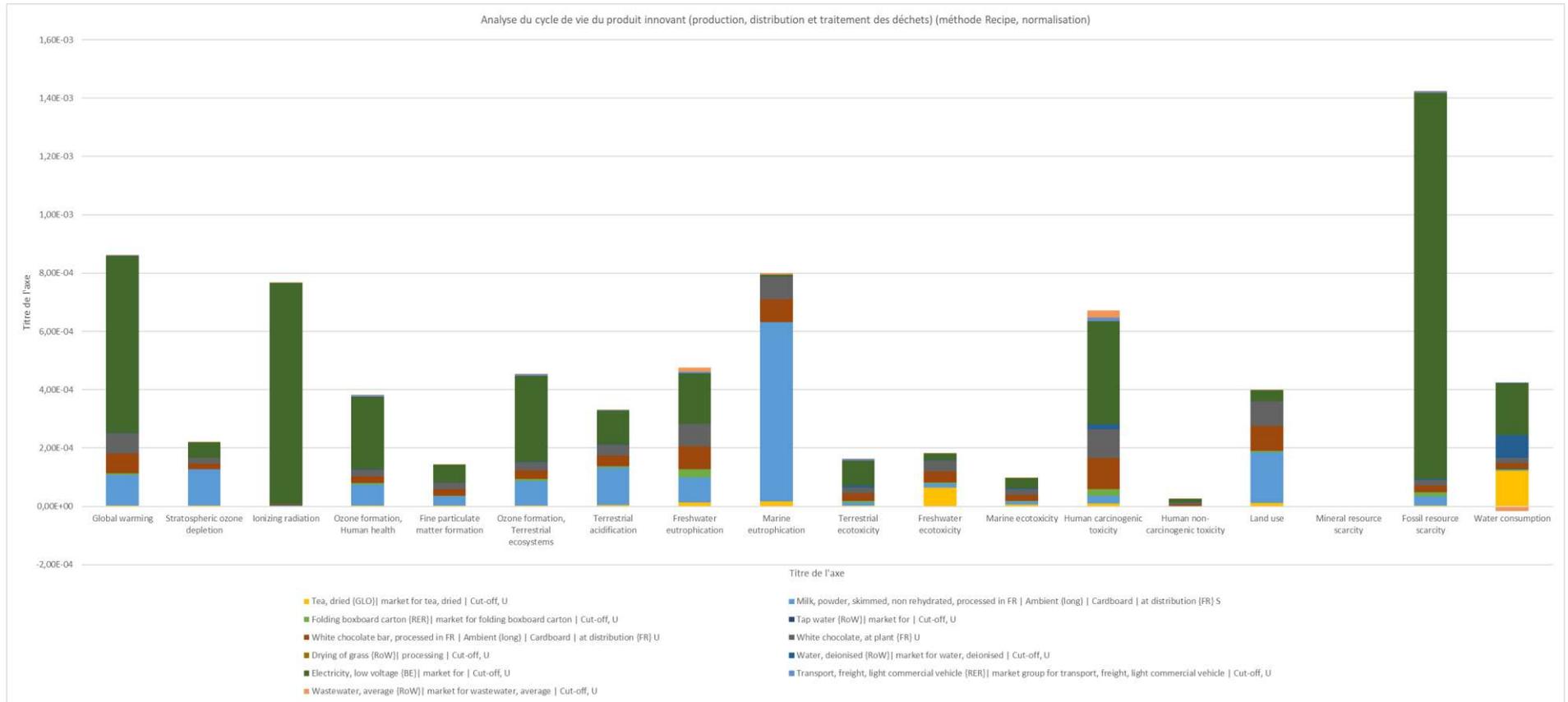


Figure 56 : LCA du produit innovant (normalisation).

### 9.3.4.2 Analyse des résultats

Les résultats de caractérisation obtenus par la méthode Recipe 2016 montrent clairement que l'électricité nécessaire est l'élément qui a une influence la plus importante sur la majorité des impacts environnementaux notamment le changement climatique, le rayonnement ionisant, la formation d'ozone, l'écotoxicité terrestre et marine, l'eutrophisation terrestre et d'eau douce ou encore la toxicité humaine. La poudre de lait est le deuxième élément ayant le plus d'impact, après l'électricité, sur un grand nombre de catégories d'impacts environnementaux suivi du chocolat blanc. Le thé est l'élément ayant le moins d'influence touchant le plus l'écotoxicité d'eau douce et la consommation d'eau.

La consommation d'eau est impactée positivement puisque  $\frac{3}{4}$  de l'eau utilisée dans le bain-marie est réutilisée.

Concernant les résultats normalisés, l'effet environnemental le plus impacté par l'électricité est la raréfaction des ressources fossiles suivi du réchauffement climatique puis du rayonnement ionisant. L'eutrophisation marine est également impactée de manière importante par la poudre de lait écrémée.

### 9.3.4.3 Discussion des résultats

L'étude montre clairement que l'électricité est l'élément le plus impactant de cette étude. Se questionner sur l'origine de cette situation et sur la possibilité de la réduire est pertinent. L'électricité nécessaire prise en compte est une estimation assez vaste qui provient majoritairement du processus de lyophilisation ayant un cycle de 72 h, du maintien de la pièce de stockage à une température de 15 °C pendant 30 jours et du chauffage de l'eau du bain-marie. Ces trois données d'électricité ont été normalisées avec l'unité fonctionnelle. De ces trois entrées, la plus importante est celle provenant du lyophilisateur. L'entrée concernant la lyophilisation n'est pas exacte étant donné que celle-ci n'existe pas dans le programme. Une entrée qui ressemble au maximum a été choisie. La consommation d'un lyophilisateur de paillasse qui consomme 75,6 kWh pour un cycle de 72 h a été sélectionné. Étant donné que 8 barquettes de 50 g de mélange lyophilisé peuvent être placées dans celui-ci, une consommation de 9,45 kWh par unité de vente a été comptabilisée. L'autre moitié de la consommation de l'électricité provient des deux autres entrées. Cela reste une estimation.

En outre, le programme ne prend pas en compte que dans un cycle de vie classique d'un emballage en carton, 40 % de celui-ci part à l'incinération permettant de récupérer de l'électricité et 60 % à la décharge.

De plus, l'entrée du moringa n'est pas exacte étant donné que l'entrée n'existe pas dans le programme. L'étude ne prend donc pas en compte les vraies conditions de culture de la plante.

L'analyse a également été simplifiée en ne prenant pas en compte le mycryo, le film plastique entourant la boîte en carton ou encore le système de logement en polyéthylène recyclé.

En outre, l'impact le plus fort est la raréfaction des ressources fossiles, clairement due à l'électricité nécessaire qui doit être produite.

Enfin, les aspects économiques, sociaux ou opérationnels ne sont pas pris en considération dans cette analyse de cycle de vie. Les résultats dépendent également très fortement du modèle et des données d'entrées. Pour finir, divers aspects ne sont pas non plus pris en compte comme la biodiversité ou encore les paysages.

### 9.3.4.4 Conclusion et réflexion pour des solutions potentielles

Une suggestion pour améliorer les impacts environnementaux serait donc par exemple d'optimiser l'efficacité énergétique et d'utiliser des sources d'énergie renouvelables. Une possibilité serait d'enlever l'étape de lyophilisation ou de la remplacer par une autre moins impactante telle que l'atomisation ou encore de réaliser de la lyophilisation à plus grande échelle de manière à consommer moins par unité.

En outre, adopter des pratiques agricoles durables comme en optimisant l'utilisation des terres agricoles et en réduisant la déforestation permettrait de réduire certains impacts environnementaux comme

notamment l'eutrophisation, l'écotoxicité ou encore l'utilisation des terres. Dans ce cas d'étude, les pratiques agricoles du moringa n'étant pas connues, ces dernières sont remplacées par celles du thé. Néanmoins, l'agriculture du chocolat et du thé, prise en considération peut être optimisée.

De plus, étant donné que la poudre de lait est le deuxième élément ayant le plus d'impact après l'électricité, cela pourrait être intéressant d'utiliser des laits végétaux et de vérifier les impacts induits avec une LCA adaptée puis de comparer cela à cette analyse-ci.

Un autre axe d'amélioration serait de mettre en place des systèmes de gestion de l'eau pour réduire la consommation et améliorer le traitement des eaux usées.

Enfin, un dernier point serait l'optimisation logistique en améliorant l'efficacité pour réduire les impacts liés au transport à tous les niveaux de ce cycle de vie.

L'analyse de cycle de vie du produit innovant réalisée donne donc une idée générale de ses impacts environnementaux à l'échelle pilote mais ne doit pas être considérée comme exacte puisque les paramètres ne sont pas optimisés. Il serait donc nécessaire de réaliser à nouveau cette étude à l'échelle industrielle en ayant optimisé les différents facteurs possibles

# 10 Chaîne de production

## 10.1 Chaîne de production du produit innovant

Cette partie fait référence à une production industrielle imaginée pour les sphères de moringa. Toutefois, T.GREEN étant une petite entreprise, de telles installations seraient inenvisageables dans un premier temps. De plus, le produit étant totalement innovant, aucune ligne de production similaire n'existe. Cette dernière a donc été imaginée afin de répondre aux besoins de fabrication du produit innovant.

Pour rappel, les étapes cruciales de la réalisation des sphères de moringa sont le tamisage suivi de la lyophilisation des poudres puis du tempérage, du coulage, du refroidissement du chocolat précédant le remplissage des demi-sphères avec les poudres et de leur fermeture et enfin de l'assemblage des deux demi-coques afin de former une sphère.

Les étapes de tamisage, de lyophilisation et de tempérage afin de créer une chaîne de production industrielle ont été envisagées. Les étapes de remplissage des coques et d'assemblage se feront manuellement.

### 10.1.1 Séparateur

Concernant la première étape de tamisage, un séparateur industriel peut être utilisé. Le séparateur rond « Vibro-Energy » de la marque « Sweco » provoque des vibrations générées par un moteur électrique équipé de poids excentriques. Ces vibrations sont transmises à l'ensemble du tamis ou de la grille de séparation, créant un mouvement circulaire, horizontal ou vertical. Le séparateur est équipé de plusieurs tamis ou grilles de différentes tailles. Les particules plus fines passent à travers les ouvertures tandis que les particules plus grosses restent à la surface (198).

Les matériaux sont introduits au centre du séparateur, les vibrations distribuent uniformément les matériaux sur la surface du tamis. Les particules dont la taille est souhaitée sont récoltées dans un récipient inférieur. Les particules plus grandes sont transportées vers le bord extérieur du tamis et sont évacuées (198).

De plus, la fréquence et l'amplitude des vibrations peuvent être ajustées pour optimiser le processus de séparation en fonction des caractéristiques des matériaux traités. Cela permet un contrôle précis de la qualité et de la finesse de la séparation (198).

Dans le domaine alimentaire, ce genre de séparateur est utilisé pour tamiser et trier des poudres alimentaires, des épices, des farines, etc. Ainsi, les vibrations permettent une séparation précise et rapide des poudres. Ses avantages sont multiples. Ce dernier est assez flexible car les séparateurs peuvent être équipés de différents tamis afin de s'adapter à divers types de matériaux et tailles de particules. De plus, l'entretien est facile car les pièces sont facilement atteignables pour le nettoyage et l'entretien. Pour finir, ce dernier bénéficie d'un faible encombrement, grâce à son design compact, permettant une utilisation efficace de l'espace. Le séparateur rond « Vibro-Energy » de la marque « Sweco » se trouve à la figure 57 (198).



Figure 57 : Séparateur rond « Vibro-Energy » de la marque « Sweco ».

### 10.1.2 Lyophilisateur

La lyophilisation étant une étape cruciale dans la réalisation du produit, le lyophilisateur de la famille « RAY » de la marque « GEA », plus particulièrement le « RAY 1 » a été choisi. Ce dernier repose sur une technologie de lyophilisation par lot, qui associe une exploitation automatisée et économique à un fonctionnement de haute fiabilité. Les systèmes peuvent être configurés pour transformer des volumes d'intrants allant de 20 à 30 kg par jour (199).

Le lyophilisateur bénéficie d'une automatisation, qui permet la programmation de cycles de lyophilisation personnalisés et l'enregistrement des données pour une traçabilité complète. De plus, celui-ci est équipé d'un écran tactile intuitif permettant un contrôle facile des paramètres de lyophilisation. Enfin, ce dernier est relativement flexible et compatible avec beaucoup de produits alimentaires comme des fruits, des légumes, des herbes, des épices, et d'autres ingrédients. Ce lyophilisateur est également compact et ergonomique, avec des dimensions réduites afin de s'intégrer facilement (199).

Pour finir, le lyophilisateur « RAY1 » est construit avec des matériaux de haute qualité pour assurer la durabilité et la conformité des normes alimentaires. Par ailleurs, ce dernier est équipé de systèmes de sécurité pour protéger les utilisateurs et garantir le bon fonctionnement de l'appareil. Le lyophilisateur est équipé d'alarmes de surchauffe et de détecteurs de fuites de réfrigérant. Sa conception facilite également le nettoyage et la maintenance régulière pour garantir les conditions hygiéniques (199).

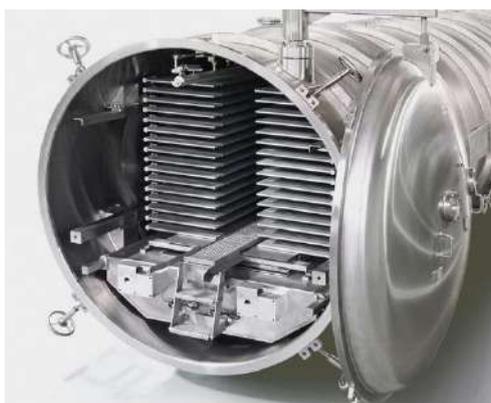


Figure 58 : Lyophilisateur « RAY®1 » de la marque « GEA ».

### 10.1.3 Tempéreuse

Afin de réaliser les coques en chocolat, le tempérage de celui-ci est nécessaire. La tempéreuse à chocolat professionnelle « Plus Ex » de la marque « Selmi » qui permet de tempérer le chocolat mais également de procéder directement au moulage a été choisie (200).

Parmi ses caractéristiques, celle-ci possède une polyvalence d'utilisation ainsi qu'une économie d'exploitation, possédant un doseur volumétrique, une pédale de commande du débit de chocolat ainsi qu'une table vibrante chauffée à basse tension. La capacité de la cuve est de 24 kg et la capacité horaire est de 90 kg/h (200).

Une fois que le chocolat a correctement été tempéré, le moulage peut avoir lieu. La machine amène le chocolat à sa température de moulage et les moules en polycarbonate sont remplis avec le chocolat liquide. La machine possède une vis sans fin amovible permettant un dosage précis et uniforme du chocolat dans le moule. De plus, la table vibrante permet d'uniformiser le chocolat dans le moule. Après cela, ce dernier est retourné manuellement et le chocolat en surplus retourne directement dans la cuve

permettant ainsi de minimiser les pertes. Puis, le chocolat durcit et les coques peuvent être remplies (200).



Figure 59 : Tempéreuse professionnelle « Plus Ex » de la marque « Selmi ».

Après avoir coulé les coques en chocolat, celles-ci doivent être remplies de poudre. Pour que le processus soit complètement automatisé, les coques devraient rester dans les moules car après remplissage, les coques doivent être fermées avec du chocolat. Pour ce faire, elles devraient être remplies à l'aide d'une remplisseuse volumétrique spécialement adaptée pour le dosage de poudres. Idéalement, les moules devraient être directement placés sous des pistons qui viennent incorporer la quantité exacte de poudre à l'intérieur des demi-sphères.

## 10.2 Chaîne de production de packaging

### 10.2.1 Emballage primaire

Pour rappel, le latte instantané sera vendu dans une boîte en carton FSC, contenant quatre unités. De plus, un système de logement en r-PET permet de maintenir les sphères à l'intérieur de la boîte. Celui-ci sera directement acheté à un fournisseur.

#### 10.2.1.1 Etuyeuse

Afin de venir disposer la boîte en carton autour du thermoformage r-PET, une étuyeuse de type side load a été sélectionnée. Cette machine d'emballage enveloppe et scelle un produit dans un étui en carton. L'étuyeuse side load de la marque « Jyga » qui assure la formation de l'étui sur le coté des produits a été choisie. Cette machine garantit les fonctions de formation de l'étui, de chargement et de fermeture de l'étui. De plus, elle est compacte et adaptée à beaucoup de produits alimentaires. La cadence est de 50 à 200 étuis par minute (201).



Figure 60 : Etuyeuse side load de la marque « Jyga ».

## 10.2.2 Emballage secondaire

Chaque boîte en carton sera ensuite scellée grâce à un film plastique étirable afin d'augmenter la DDM.

### 10.2.2.1 Fardeuse soudeuse latérale

Afin de venir sceller les boîtes en carton, une fardeuse soudeuse latérale a été choisie. Cette machine utilise un film plastique rétractable pour sécuriser les produits sans créer de soudure visible. Le film rétractable se rétracte sous l'effet de la chaleur pour venir épouser la forme du produit. L'épaisseur du film est généralement entre 25 et 100 microns (202).

La fardeuse « Expérience IS 600 ECO » de la marque « Imbalstock », conçue pour emballer de manière totalement automatique a été choisie. Cette machine possède une soudeuse latérale, le flux de produit est donc en ligne et le cycle d'emballage est contrôlé par des capteurs lissant le produit. Les produits sont emballés dans un film plié au centre qui est scellé sur les trois côtés. La soudure latérale fonctionne avec un système qui permet d'assurer l'intégrité du scellage et de maintenir la zone de scellage toujours propre (202).

De plus, cette machine est adaptée à une production moyenne à élevée et peut ainsi atteindre une cadence de 4000 paquets par heure. Cette fardeuse soudeuse est également idéale pour des petits espaces grâce à ses dimensions compactes (202).



Figure 61 : Fardeuse soudeuse latérale « Expérience IS 600 ECO » de la marque « Imbalstock ».

### 10.3.1 Emballage tertiaire

Les boîtes une fois scellées sont placées dans des bacs gerbables réutilisables. Les bacs sont chargés les uns contre les autres et empilés manuellement.

# 11 Discussion et améliorations du projet

## 11.1 Discussion des résultats

Au vu des manipulations expérimentales et des résultats obtenus dans le cadre de ce mémoire, plusieurs aspects demeurent sujets à approfondissement.

Tout d'abord, afin de caractériser de manière complète la composition chimique du produit innovant, deux autres analyses auraient dû être réalisées : l'étude de la composition en fibres et en glucides. Ces études n'ont pas pu être effectuées dans le cadre du mémoire car les conditions expérimentales ne permettaient pas leur exécution.

Puis, la colorimétrie de la coque en chocolat n'a pas été étudiée de manière précise en utilisant les coordonnées colorimétriques Lab\*. Seule la couleur de la sphère broyée a été étudiée. Une approche de la colorimétrie appliquée à la coque plutôt qu'à un mélange total de poudres offre des avantages esthétiques et de personnalisation, tout en permettant un contrôle précis des teintes et des nuances souhaitées.

De plus, la viscosité de la boisson instantanée en fonction de la température et non seulement la température de dégustation aurait également été intéressante à étudier. Cette étude n'a pas pu être menée à cause de problèmes techniques.

Ensuite, au niveau de l'étude de vieillissement du produit innovant, de nombreux aspects sont manquants. Tout d'abord, une étude approfondie sur la perte d'arômes au cours du temps est cruciale pour assurer la stabilité et la qualité sensorielle du produit. Cette recherche est actuellement limitée par des considérations allergiques liées à la vanilline. De plus, l'évaluation des modifications des composés chimiques dans le produit final au fil du temps est nécessaire pour garantir la sécurité alimentaire et la stabilité nutritionnelle. L'impact de l'évolution de l'acidité sur la qualité et la conservation du produit doit également être exploré pour maintenir la fraîcheur et la saveur à long terme.

En outre, l'étude du vieillissement en termes de couleur, d'activité de l'eau et de texture réalisée dans les conditions de conservation médiocres est critique pour prévoir les effets sur la qualité et la durée de conservation. Une étude approfondie dans des conditions optimales de conditionnement et de stockage pour évaluer pleinement les effets potentiels sur la qualité finale du produit aurait été nécessaire.

Une étude supplémentaire qui aurait pu être réalisée concernant le vieillissement du produit est l'analyse microbiologique d'une sphère conservée dans les conditions optimales et dans le packaging adéquat après deux mois. En effet, cela aurait permis de mesurer l'activité microbiologique en fonction de la DDM fixée et ainsi de valider cette dernière.

Par ailleurs, l'absence d'étude sur la résistance et la fragilité des sphères en interaction avec leur packaging soulève des questions sur la durabilité et l'intégrité du produit pendant le transport et le stockage.

D'autre part, des tests hédoniques et sensoriels ont été imaginés mais n'ont pas été réellement réalisés. En effet, l'avis du consommateur sur le produit aurait été intéressant. Néanmoins, les tests d'analyse sensorielle demandent beaucoup d'organisation et au minimum 70 participants sont nécessaires pour que les tests soient statistiquement représentatifs.

De plus, la réalisation des sphères demande beaucoup de temps. En effet, des petites quantités de produit sont travaillées. Un seul moule est utilisé et 7 sphères toutes les deux heures sont produites. En outre,

le tempérage du chocolat demande une surveillance quasi permanente et la réalisation des sphères demande plusieurs temps d'attente entre les différentes étapes. Travailler à plus grande échelle en achetant plus de moules aurait pu être une solution mais, assurer l'homogénéité du produit avec le matériel disponible aurait été complexe. Enfin, travailler avec de plus grosses quantités nécessite de pouvoir stocker les sphères dans des conditions optimales afin de ne pas impacter les résultats de l'analyse sensorielle. Pour ces différentes raisons, l'analyse sensorielle n'a pas été réalisée.

Qui plus est, lors de la réalisation du projet transversal, une idée bien précise du diagramme de fabrication avait été envisagé. Toutefois, le processus imaginé allait demander beaucoup de travail et de remise en question. Etant donné que le produit est réalisé à flux poussé, chaque étape est dépendante de la précédente. Le premier problème rencontré est le fait que l'université ne possède pas de presse pour réaliser l'étape de compaction. Plusieurs presses ont donc été designées. Le problème qui est ensuite survenu était qu'une fois compacté, le palet obtenu était insoluble dans l'eau. De plus, la force appliquée lors de l'étape de compaction restait inconnue et variable. La mesure de la force aurait aidé à déterminer la force maximale à appliquer au mélange de poudre et ainsi à ajuster la force permettant la dissolution du palet par la suite.

Suite à cela, l'étape d'enrobage a quand même été envisagée même si la compaction n'était pas concluante. Le but de l'enrobage était également d'améliorer la dissolution et de protéger le palet. La réalisation d'un film hydrosoluble est une étape complexe, qui demande souvent l'association de plusieurs agents. De plus, des paramètres doivent être minutieusement contrôlés comme la température, le pH, la concentration car ceux-ci impactent directement les caractéristiques des films obtenus. Etant donné les résultats peu concluants obtenus, l'étape de compaction et d'enrobage à base de film hydrosoluble ont été mises sur le côté.

Toutefois, ces différentes étapes ont permis d'envisager l'enrobage en chocolat blanc. Grâce à celui-ci, le produit est toujours constitué d'un enrobage et la poudre reste libre à l'intérieur. Le fait d'utiliser du chocolat blanc a permis de supprimer l'étape de compaction et de simplifier l'étape d'enrobage. De plus, cela a permis d'éviter d'ajouter des additifs. En effet, l'étape de compaction aurait sûrement nécessité l'ajout d'au minimum un, même si ceux testés ne se sont pas avérés concluants. L'étape d'enrobage aurait également nécessité des additifs. De plus, à l'origine, le produit se compose uniquement de deux ingrédients principaux : la poudre de moringa et de lait écrémé. Avec ces deux étapes de compaction et d'enrobage, des additifs auraient été introduits principalement pour répondre à des objectifs technologiques, de manière à être plus nombreux que les ingrédients en termes de nombre et non de proportion.

Outre cela, une possibilité proposée mais non testée aurait été de réaliser de la sphérification. Cette technique est principalement utilisée pour créer des sphères liquides avec une fine membrane gélifiée. La sphérification à base d'alginate de calcium n'a pas été testée pour diverses raisons.

Tout d'abord, le résultat s'éloigne fortement de l'idée de départ.

De plus, la technique demande une grande précision, une petite erreur peut très vite altérer le résultat final. Les sphères ont une durée de vie relativement limitée, les conditions de conservation doivent être strictement contrôlées. En effet, les sphères sont sensibles aux variations de température ainsi qu'au pH, ce qui peut affecter leur stabilité et leur texture.

Finalement, l'association des alginate et du calcium forme un gel qui est insoluble dans l'eau et le but premier était justement de créer une sphère soluble.

Pour toutes ces raisons, la sphérification à base d'alginate de calcium n'a pas été testée.

## 11.2 Amélioration et perspectives du projet

En plus des nombreux aspects à perfectionner déjà discutés au point 11.1 pour améliorer les résultats, plusieurs perspectives d'amélioration sont envisagées pour une suite du projet.

Tout d'abord, concernant la sphère en elle-même, plusieurs points sont à améliorer. La netteté des soudures des demi-sphères ensemble est un aspect critique qui influence l'esthétique et la qualité perçue du produit final. Les défis liés à la soudure doivent être analysés pour garantir une finition impeccable et professionnelle. Puis, l'intégration du logo de la marque gravé sur la surface de la sphère ajouterait une dimension personnalisée et distinctive au produit. Cette caractéristique est cruciale pour renforcer l'identité visuelle et la reconnaissance de marque.

De plus, la diversification en plusieurs goûts est également une perspective envisagée. La diversification des saveurs disponibles via une extension de gamme est essentielle pour répondre aux préférences variées des consommateurs et pour élargir la gamme de produits, augmentant ainsi l'attrait et la compétitivité sur le marché.

Par ailleurs, en ce qui concerne l'étude de marché, les questions n'étaient pas focalisées sur le prix. Ajouter des questions supplémentaires aurait permis de mieux percevoir le prix que le consommateur aurait été prêt à payer pour le produit. En effet, un point d'amélioration serait donc de renforcer l'étude de marché en combinant des études qualitatives et quantitatives pour obtenir une image plus complète des attentes des consommateurs. Comme par exemple, réaliser des focus groups afin d'explorer les perceptions de la valeur, des sondages plus larges pour quantifier ces perceptions. La mise en place de sondages spécifiques afin d'estimer la disposition à payer du consommateur fournit des données précises pour établir une tarification basée sur la valeur et cela permet d'aller au-delà de la simple méthode de tarification « coût + marge » et ainsi de développer une compréhension approfondie de la valeur perçue par le consommateur.

Ces points non explorés représentent des opportunités significatives pour enrichir nos connaissances et optimiser le développement de ce produit innovant.

# 12 Conclusion

En conclusion, ce mémoire illustre les multiples facettes du développement d'un produit alimentaire véritablement innovant, avec pour ambition de créer une nouveauté absolue sur le marché. À travers un processus rigoureux d'essais et d'erreurs, mené au centre de recherche Terra, la sphère **T.GREEN** est née, un latte instantané chocolaté sous forme de sphère, enrichi du superaliment qu'est le moringa.

Ce produit novateur répond à un cahier des charges inspiré par la règle des 5S : Santé, Sécurité, Satisfaction, Société et Service. Ces principes directeurs ont été notre fil conducteur tout au long de notre parcours académique. Les nombreuses études et analyses réalisées ont permis de caractériser avec précision les ingrédients ainsi que le produit final, garantissant ainsi une qualité optimale.

L'analyse marketing exhaustive a permis de tracer une feuille de route claire pour introduire ce produit sur le marché avec succès, en capitalisant sur ses atouts distinctifs et en répondant efficacement aux attentes des consommateurs. Pour l'élaboration du packaging, des emballages primaire, secondaire et tertiaire, sélectionnant avec soin les matériaux les plus appropriés ont été choisis. De plus, le cycle de vie du produit et une chaîne de production intégrant des considérations de durabilité et de respect de l'environnement ont été conçus.

Cette analyse détaillée fournit une base solide pour la commercialisation du produit, tout en soulignant les domaines nécessitant des recherches et des améliorations supplémentaires. La poursuite de ces investigations permettra de peaufiner le produit et sa conceptualisation afin de répondre encore mieux aux attentes des consommateurs et de garantir son succès durable sur le marché.

Ce projet nous a permis de découvrir l'étendue des tâches nécessaires avant de pouvoir commercialiser un aliment. Ce dernier a également renforcé notre esprit d'équipe et nos capacités à fournir un travail complet et rigoureux. La création d'un nouveau produit de A à Z a exigé l'élargissement de nos connaissances dans plusieurs domaines et la collaboration avec divers experts externes. L'ampleur de ce projet nous a rendues plus confiantes et matures. La fin de ce mémoire marque le début prometteur d'une nouvelle étape dans notre parcours professionnel.



# 13 Annexes

## Annexe 1 : Tableau récapitulatif des 5S en lien avec le produit innovant décrit dans le projet transversal :

Critères		Objectifs
<b>Sécurité</b>	Activité de l'eau	Entre 0,2 et 0,4
	Risques microbiologiques, chimiques, physiques	Aucun risque pour le consommateur
<b>Société</b>	Genre du moringa	<i>Oleifera</i>
	Provenance des produits	Moringa : Inde ou Afrique Lait : Belgique
	Étiquetage	12 mentions obligatoires
<b>Service</b>	Emballage	Voir cahier des charges fonctionnel Sachet en Kraft/PET/PP avec zip ou boîte métallique envisagés.
	Portion individuelle	1 portion = 1 sphère de 25 g
	Conservation	À conserver dans un endroit sec, à l'abri de la lumière, de l'humidité et à T° ambiante.
	Utilisation	Dans 200 ml d'eau chaude à 80 °C Se dissout instantanément en maximum 30 secondes dans un contenant en mélangeant à l'aide d'une cuillère.
	DDM	Minimum 4 mois
<b>Santé</b>	Valeurs nutritionnelles pour une portion	Voir tableau nutritionnel
	Additifs	Autorisés pour atteindre un objectif technologique non atteignable.
	Teneur en moringa	5 g pour 200 ml de lait dans le mélange humide
	Allergène	Lait
<b>Satisfaction</b>	Objectif hédonique « Est-ce que le latté à base de moringa est apprécié ? »	Oui
	Forme	Sphère de 3 cm de diamètre
	Gout	Gout du moringa et ajouter soit : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Extrait de Vanille</li> <li>- Eau de fleur d'oranger</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gingembre et curcuma</li> </ul> <p>L'ajout d'un autre ingrédient ne doit pas venir masquer le goût du moringa.</p>
	Couleur	Couleur naturellement verte sans l'ajout de colorant.
	Viscosité	Une fois reconstitué, le latte doit avoir la même texture que le mélange humide. Le mélange doit être le plus homogène possible mais peut contenir de petites particules.
	Odeur	Une fois reconstituée, nous souhaitons retrouver les arômes du moringa ainsi que très subtilement ceux de l'autre ingrédient que nous sélectionnerons au second quadrimestre. Nous ne souhaitons pas que l'odeur soit entêtante ou artificielle.

*Tableau : Récapitulatif des 5S en lien avec le produit innovant décrit dans le projet transversal et leur objectifs quantifiés.*

## Annexe 2 : Questions de sélection du panel

Merci de votre intérêt pour participer à notre étude. Veuillez répondre aux questions suivantes pour déterminer votre éligibilité à participer à notre test hédonique pour un latte instantané au moringa.

Êtes-vous ?

- Un homme
- Une femme
- Autre

À quelle tranche d'âge appartenez-vous ?

- Moins de 18 ans
- 18 à 25 ans
- 26 à 35 ans
- 36 à 45 ans
- 46 à 55 ans
- 56 à 65 ans
- Plus de 65 ans

Avez-vous l'habitude de consommer des boissons chaudes types : café, thé, chocolat chaud ou autres boissons lactées ?

- Oui
- Non

Seriez-vous prêt à remplacer ces boissons par une alternative ?

- Oui
- Non

Connaissez-vous le moringa ?

- Oui
- Non

Avez-vous des allergies ou des intolérances alimentaires ?

- Au lait ou aux produits laitiers
- A d'autres aliments (veuillez préciser : .....)
- Non, aucune allergie ou intolérance

Suivez-vous un régime alimentaire spécifique ?

- Végétarien
- Végétalien
- Végan
- Sans lactose
- Autre (veuillez préciser : .....)
- Aucun régime particulier

Êtes-vous disponible pour participer à une session de dégustation d'une durée d'une heure au Terra, Gembloux Agro-bio tech le X à X heure ?

- Oui
- Non
- Autre disponibilité :

## Annexe 3 : Questionnaire évaluation sensorielle et hédonique

### Introduction

Dans le cadre de notre mémoire à Gembloux Agro bio tech, nous réalisons un latte instantané sous forme de sphère, contenant un super aliment : la plante de moringa. Nous réalisons une évaluation sensorielle afin d'évaluer différents aspects de notre produit.

Nous vous invitons à déguster un latte instantané à base de moringa et à répondre aux questions suivantes. Votre avis nous est précieux pour améliorer notre produit. Chaque point sera évalué sur base d'une échelle.

### Instructions

Vous allez recevoir une sphère qui correspond à une boisson ainsi qu'un verre d'eau chaude. Avant de mettre la sphère dans l'eau, répondez aux questions générales sur l'apparence du produit.

Après cela, vous pouvez mettre la sphère dans l'eau chaude et la dissoudre en mélange à l'aide d'une cuillère. Dans un premier temps, évaluez l'apparence du latte instantané, ensuite évaluez l'odeur puis prenez une gorgée afin d'évaluer le goût et la viscosité de celui-ci. Les réponses aux questions sont sous forme d'échelle. Vous devez entourer la réponse qui correspond le plus à votre ressenti. Pour finir, des questions plus générales vous sont posées à la fin du questionnaire.

### Informations personnelles

Nom :
Prénom :
Age :

### 1<sup>ère</sup> partie l'aspect générale de la sphère Apparence :

Comment évaluez-vous l'apparence de la sphère ?

Très agréable	Agréable	Ni agréable, ni-désagréable	Désagréable	Très désagréable
---------------	----------	-----------------------------	-------------	------------------

La couleur de la sphère est-elle attrayante ?

Très agréable	Agréable	Ni agréable, ni-désagréable	Désagréable	Très désagréable
---------------	----------	-----------------------------	-------------	------------------

## 2<sup>ème</sup> partie après dissolution de la sphère dans l'eau chaude

### Apparence :

Comment évaluez-vous l'apparence du latte instantané ?

Très agréable	Agréable	Ni agréable, ni-désagréable	Désagréable	Très désagréable
---------------	----------	-----------------------------	-------------	------------------

Comment évaluez-vous l'homogénéité du latte instantané ?

Très homogène	Homogène	Ni homogène, ni hétérogène	Hétérogène	Très hétérogène
---------------	----------	----------------------------	------------	-----------------

Comment évaluez-vous la couleur du latte instantané ?

Très agréable	Agréable	Ni agréable, ni-désagréable	Désagréable	Très désagréable
---------------	----------	-----------------------------	-------------	------------------

### Odeur :

Comment évaluez-vous l'odeur du latte ?

Très agréable	Agréable	Ni agréable, ni-désagréable	Désagréable	Très désagréable
---------------	----------	-----------------------------	-------------	------------------

### Goût :

Comment évaluez-vous du goût du latte ?

Très agréable	Agréable	Ni agréable, ni-désagréable	Désagréable	Très désagréable
---------------	----------	-----------------------------	-------------	------------------

Comment évaluez-vous le goût sucré du latte instantané ?

Vraiment trop sucré	Très sucré	Ni trop sucré – ni pas assez sucré	Pas assez sucré	Vraiment pas assez sucré
---------------------	------------	------------------------------------	-----------------	--------------------------

Comment évaluez-vous l'intensité du moringa ?

Vraiment trop intense	Très intense	Ni trop intense – ni pas assez intense	Pas assez intense	Vraiment pas assez intense
-----------------------	--------------	--	-------------------	----------------------------

Comment évaluez-vous le goût du moringa ?

Très agréable	Agréable	Ni agréable, ni-désagréable	Désagréable	Très désagréable
---------------	----------	-----------------------------	-------------	------------------

**Viscosité :**

Que pensez-vous de la viscosité en bouche du latte ?

Très agréable	Agréable	Ni agréable, ni-désagréable	Désagréable	Très désagréable
---------------	----------	-----------------------------	-------------	------------------

**Acceptation générale :**

Dans l'ensemble appréciez-vous le latte instantané à base de moringa ?

Très agréable	Agréable	Ni agréable, ni-désagréable	Désagréable	Très désagréable
---------------	----------	-----------------------------	-------------	------------------

**3<sup>ème</sup> partie : Profil Flash****Aspect visuel**

Comment décririez-vous la couleur du latte ?

**Arômes**

Quels arômes percevez-vous immédiatement après avoir goûté le latte ?

Quels arômes persistent en bouche après la dégustation ?

**La texture**

Comment décririez-vous la texture en bouche ?

### **Le gout**

Quelle est l'intensité du goût du chocolat blanc ?

Quelle est l'intensité du goût du moringa ?

Pouvez-vous identifier d'autres saveurs ?

### **Equilibre et harmonie**

Comment évaluez-vous l'équilibre entre le goût du chocolat blanc et celui du moringa ?

Avez-vous des recommandations sur le produit ?

Avez-vous des suggestions d'améliorations ?

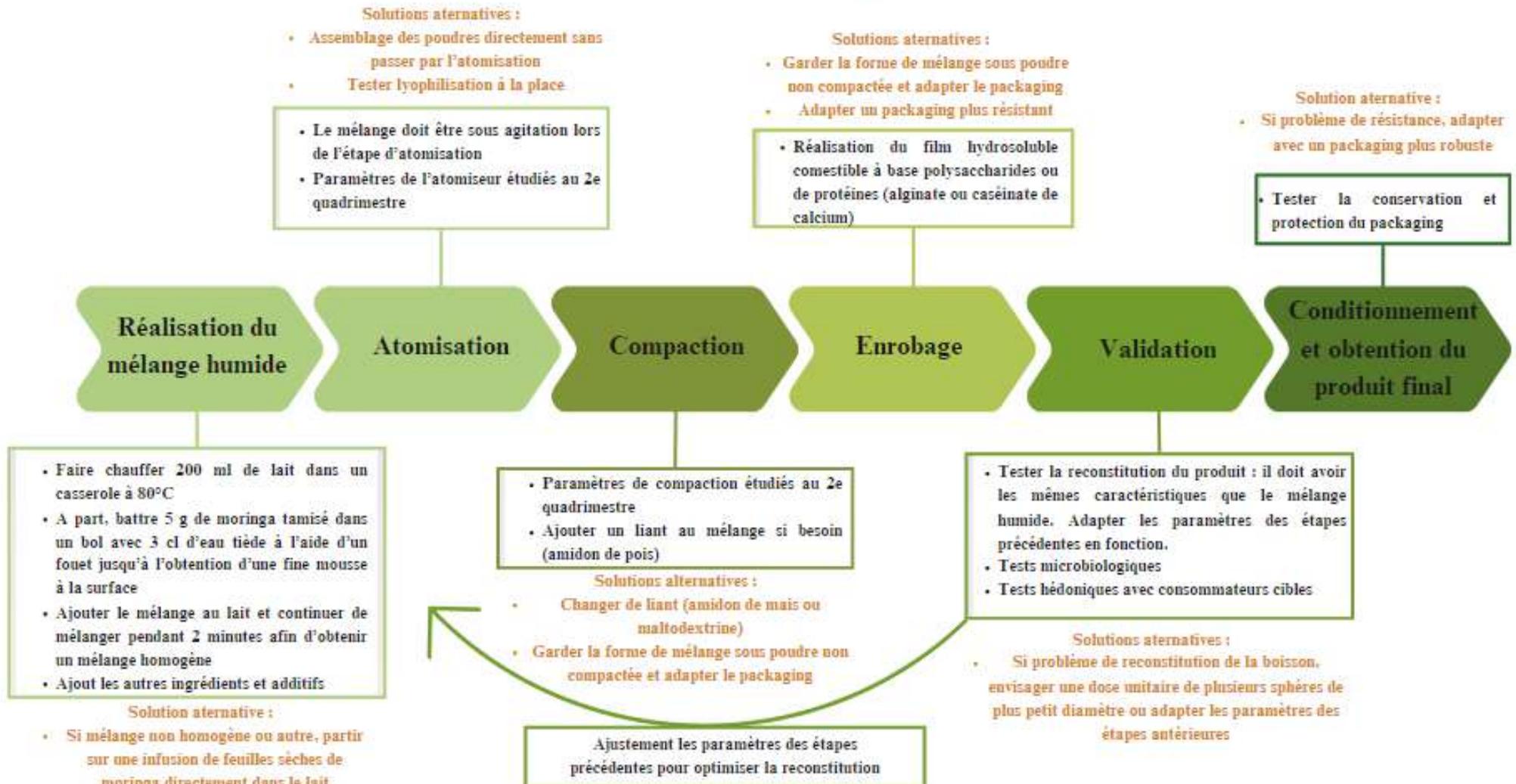
Merci beaucoup pour votre participation et vos précieux commentaires !

## Annexe 4 : Fiche produit du projet transversal

Critères	
Nom du produit	Green Boost
Logo et image du produit	
Description du produit	Latte instantané sous forme de sphère compacte contenant de la poudre de moringa et de lait écrémé
Offre	Alternative saine, originale et pratique sans caféine aux boissons énergétiques (cafés, thés dont le matcha, boissons énergisantes) + Découverte du moringa
Caractéristiques physiques :	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forme</li> <li>- Poids</li> <li>- Matières</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sphère</li> <li>- Environ 25g</li> <li>- L'intérieure de la sphère sera constituée de poudre compacte (moringa et lait écrémé)</li> <li>- La sphère sera enrobée d'un film hydrosoluble composé de protéines (caséinate de calcium ou sodium) ou de polysaccharides (alginate)</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimension</li> <li>- Couleur</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 cm diamètre</li> <li>- Couleur verte naturelle du moringa, sans l'ajout de colorant</li> </ul>
Ingrédients	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Majoritaires</li> <li>- Potentiels</li> <li>- Enrobage</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Poudre de moringa et poudre de lait écrémé</li> <li>- Extrait de vanille ou fleur d'oranger ou curcuma et gingembre</li> <li>- Caséinate de sodium, de calcium ou alginate</li> </ul>
Additifs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Liant (étape de compactage) : amidon de pois</li> <li>- Stabilisants : Polyphosphate (E452), phosphate de potassium (E340), acide citrique (E331)</li> </ul>
Mode de production	Atomisation, Compaction et Enrobage
Caractéristiques techniques :	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transportabilité : sphère unitaire transportable</li> </ul>
Consommation	Se dissout instantanément en moins de 30 secondes dans de l'eau chaude à 80 °C, dans un contenant, à l'aide d'une cuillère
Bienfaits	Riche en nutriments et vitamines
Conservation	À l'abri de l'humidité, de la lumière et à température ambiante
Prix	Tranche de prix haute (bon café, thé, matcha)

## Annexe 5 : Diagramme de fabrication du projet transversal

### Processus de fabrication du latte instantané au moringa sous forme de sphère compacte (quantité pour une boisson à adapter à l'échelle pilote)



## Annexe 6 : Sélection du tamis

### Analyse réalisée manuellement :

Tamis testés manuellement	Commentaires
600 $\mu\text{m}$	Toute la poudre passe à travers le tamis, aucune poudre n'est retenue.
100 $\mu\text{m}$	Aucune poudre ne passe à travers le tamis.
354 $\mu\text{m}$	Toute la poudre passe à travers le tamis sauf les grosses particules.
150 $\mu\text{m}$	Une partie de la poudre fine passe, beaucoup de pertes des particules plus grosses (on récupère 0,7 g sur les 2g environ) .
200 $\mu\text{m}$	Toute la poudre passe à travers le tamis, que très peu de particules restent sur le filtre.

Taille moyenne des particules mesurées de la poudre brute non lyophilisée : 109,76  $\mu\text{m}$  (voir analyse de la granulométrie).

**Conclusion :** le tamisage réalisé avec le tamis de 150  $\mu\text{m}$  est retenu. L'utilisation du moulin IKA n'est pas possible car la taille des particules est déjà trop petite pour le moulin.

### Analyse réalisée au Fritsch :

Pour ce faire, mesurer le poids de départ de l'échantillon est nécessaire ainsi que le poids après la manipulation récolté dans chaque tamis. Les tamis sont ainsi empilés avec celui possédant la plus grande taille de pores au niveau supérieur.

Les tamis avec les tailles de pores suivantes ont été utilisés : 355 $\mu\text{m}$ , 280  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$  et 50  $\mu\text{m}$  .

Poids de départ de l'échantillon : 101,7 g

Tamis sur le Fritsch ( $\mu\text{m}$ )	Poids échantillon (g)	Pourcentage de fraction (%)
355	0,39	0,38
280	6,51	6,40
150	39,10	38,44
100	23,79	23,39
50	22,05	21,68
<50 (fond)	7,91	7,77
	Total : 99,75	

## Annexe 7 : Résultats détaillés de l'analyse chimique et physique des poudres et de la sphère

### Matière sèche

Date	Echantillon	N° conserve	m <sub>0</sub> (g)	m <sub>éch</sub> (g)	m <sub>1</sub> (g)	m <sub>2</sub> (g)	MS (%)	Moyenne	Ecart-type
25.04.2024	Poudre de moringa brute NON lyo 1	420	138,4383	5,0001	143,4384	142,9723	<b>90,7</b>	<b>90,8</b>	<b>0,1</b>
		110	125,4593	5,0090	130,4683	130,0117	<b>90,9</b>		
		4	128,0104	5,0015	133,0119	132,5504	<b>90,8</b>		
	Poudre de moringa brute lyo 2	60	144,9267	5,0014	149,9281	149,7203	<b>95,8</b>	<b>96,0</b>	<b>0,1</b>
		130	135,1973	5,0002	140,1975	139,9945	<b>95,9</b>		
		10	145,8459	5,0035	150,8494	150,6557	<b>96,1</b>		
	Poudre de lait brute lyo 3	31	123,6976	5,0042	128,7018	128,6706	<b>99,4</b>	<b>99,3</b>	<b>0,0</b>
		7	130,7609	5,0051	135,7660	135,7315	<b>99,3</b>		
		16	128,9872	5,0022	133,9894	133,9564	<b>99,3</b>		
	Poudre de moringa tamisée NON lyo 4	38	135,1687	5,0048	140,1735	139,6430	<b>89,4</b>	<b>89,4</b>	<b>0,1</b>
		34	132,3164	5,0006	137,3170	136,7912	<b>89,5</b>		
		78	126,2749	5,0004	131,2753	130,7430	<b>89,4</b>		
	Poudre de moringa tamisée lyo 5	32	144,4498	5,0004	149,4502	149,2437	<b>95,9</b>	<b>95,9</b>	<b>0,4</b>
		29	143,8232	5,0084	148,8316	148,6064	<b>95,5</b>		
		15	135,2969	5,0049	140,3018	140,1206	<b>96,4</b>		
Mélange poudre de lait + poudre de moringa tamisée lyo	18	146,7986	5,0041	151,8027	151,7716	<b>99,4</b>	<b>99,4</b>	<b>0,0</b>	
	19	128,5518	5,0014	133,5532	133,5238	<b>99,4</b>			
	24	127,5306	5,0012	132,5318	132,5016	<b>99,4</b>			
08.02.2024	Poudre de moringa brute non lyophilisée	4	124,1037	5,0099	129,1136	128,9730	<b>97,2</b>	<b>97,1</b>	<b>0,1</b>
		34	132,3198	5,0093	137,3291	137,1816	<b>97,1</b>		
		11	124,6465	5,0070	129,6535	129,5073	<b>97,1</b>		
14.05.2024	Sphères (produit fini)						<b>98,03</b>	<b>97,9</b>	<b>0,1</b>
							<b>97,90</b>		
							<b>97,73</b>		

### Cendres

Date	Echantillon	N° creuset	m <sub>0</sub> (g)	m <sub>éch</sub> (g)	m <sub>1</sub> (g)	m <sub>2</sub> (g)	MS (%)	Moyenne	Ecart-type
25.04.2024	Poudre de moringa brute lyo 2	6	37,6504	2,52	40,1704	37,9114	<b>10,4</b>	<b>10,4</b>	<b>0,1</b>
		7	36,1101	2,5057	38,6158	36,372	<b>10,5</b>		
		1	32,5783	2,5026	35,0809	32,8395	<b>10,4</b>		
	Poudre de lait brute lyo 3	11	46,0497	2,5005	48,5502	46,2456	<b>7,8</b>	<b>7,8</b>	<b>0,0</b>
		8	35,6283	2,5064	38,1347	35,8251	<b>7,9</b>		
		4	32,7705	2,513	35,2835	32,9675	<b>7,8</b>		
	Poudre de moringa tamisée NON lyo 4	2	37,4579	2,5021	39,9600	37,7105	<b>10,1</b>	<b>10,1</b>	<b>0,0</b>
		3	36,4363	2,5061	38,9424	36,6902	<b>10,1</b>		
		9	37,9414	2,5021	40,4435	38,1951	<b>10,1</b>		
	Poudre de moringa tamisée lyo 5	8	35,913	2,5022	38,4152	36,1827	<b>10,8</b>	<b>10,8</b>	<b>0,0</b>
		10	37,1023	2,5026	39,6049	37,3718	<b>10,8</b>		
		5	36,6872	2,5013	39,1885	36,9582	<b>10,8</b>		
Mélange poudre de lait + poudre de moringa tamisée lyo	12	39,7274	2,5054	42,2328	39,945	<b>8,7</b>	<b>8,6</b>	<b>0,1</b>	
	19	40,8189	2,5006	43,3195	41,0323	<b>8,5</b>			
	32	39,4238	2,5064	41,9302	39,6419	<b>8,7</b>			
08.02.2024	Poudre de moringa brute non lyophilisée (lot1)	4	32,7685	2,5067	35,2752	32,9471	<b>7,1</b>	<b>7,1</b>	<b>0,0</b>
		2	37,4553	2,5044	39,9597	37,6339	<b>7,1</b>		
		7	36,1076	2,5043	38,6119	36,2863	<b>7,1</b>		
Poudre de lait brute non lyophilisée	1	36,4351	2,5010	38,9361	36,6286	<b>7,7</b>	<b>7,7</b>	<b>0,0</b>	
	9	36,6840	2,5040	39,1880	36,8772	<b>7,7</b>			
	8	35,9094	2,5068	38,4162	36,1029	<b>7,7</b>			
13.02.2024	Sphère (produit final)	3	36,3307	2,5134	38,8441	36,4327	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>0,1</b>
		8	35,6295	2,4985	38,1280	35,7310	<b>4,1</b>		
		7	36,1101	2,5082	38,6183	36,2148	<b>4,2</b>		

## Protéines

WEIGHT (mg)	NAME SAMPLE	METHOD ANALYSIS	N Factor	N Area	N %	Moyenne	Ecart-type	PROTEIN Factor	PROTEIN %	Moyenne	Ecart-type	DATE HOUR
10.00	Blanc	Blank with O2	1.0000	68	0,000			6.2500	0,000			08.02.2024 12:46
10.00	Blanc	Blank without O2	1.0000	13	0,000			6.2500	0,000			08.02.2024 12:49
10.00	Blanc	Blank without O2	1.0000	35	0,000			6.2500	0,000			08.02.2024 12:52
202.50	Conditionnement	250mgStandard	1.0000	7 941	2,687			6.2500	16,793			08.02.2024 12:56
202.90	aspartic acid	250mgStandard	0.9887	31 793	10,520			9.5026	99,967			08.02.2024 13:00
199.50	aspartic acid	250mgStandard	0.9958	31 023	10,520			9.5026	99,967			08.02.2024 13:04
200.10	aspartic acid	250mgStandard	0.9933	31 199	10,520	9.5026	99,967	08.02.2024 13:08				
198.90	Poudre de lait écrémé	250mgStandard	0.9926	16 998	5,810	5,77	0,06	6.3800	37,069	36,82	0,35	08.02.2024 13:34
199.30	Poudre de lait écrémé	250mgStandard	0.9926	16 803	5,732			6.3800	36,573			08.02.2024 13:39
199.60	Poudre de moringa	250mgStandard	0.9926	12 477	4,256	4,27	0,03	6.2500	26,598	26,67	0,16	08.02.2024 13:43
202.10	Poudre de moringa	250mgStandard	0.9926	12 757	4,297			6.2500	26,858			08.02.2024 14:10
200.30	Poudre de moringa	250mgStandard	0.9926	12 504	4,250			6.2500	26,562			08.02.2024 14:15
202.70	Ac. aspartique	250mgStandard	0.9926	31 255	10,396			9.5026	98,792			08.02.2024 14:19

WEIGHT (mg)	NAME SAMPLE	METHOD ANALYSIS	N Factor	N Area	N %	PROTEIN %	PROTEIN Factor	DATE HOUR
10.00	Blanc	Blank with O2	1.0000	980	0.000	6.2500	0.000	14.05.2024 11:41
10.00	Blanc	Blank without O2	1.0000	179	0.000	6.2500	0.000	14.05.2024 11:44
10.00	Blanc	Blank without O2	1.0000	301	0.000	6.2500	0.000	14.05.2024 11:47
200.10	Conditionnement	250mgStandard	1.0000	8 019	2.746	6.2500	17.162	14.05.2024 11:52
200.60	aspartic acid	250mgStandard	0.9967	31 170	10.520	9.5026	99.967	14.05.2024 11:56
199.70	aspartic acid	250mgStandard	0.9868	31 345	10.520	9.5026	99.967	14.05.2024 12:00
200.30	aspartic acid	250mgStandard	0.9970	31 111	10.520	9.5026	99.967	14.05.2024 12:04
199.90	Sphère Broyé	250mgStandard	0.9935	7 958	2.710	6.2500	16.936	14.05.2024 13:46
201.70	Sphère Broyé	250mgStandard	0.9935	7 826	2.641	6.2500	16.505	14.05.2024 13:51
200.50	Sphère Broyé	250mgStandard	0.9935	8 171	2.775	6.2500	17.341	14.05.2024 13:56
200.60	Moringa tamisé lyo	250mgStandard	0.9935	13 252	4.501	6.2500	28.131	14.05.2024 14:02
199.60	Moringa tamisé lyo	250mgStandard	0.9935	12 653	4.320	6.2500	26.998	14.05.2024 14:09
200.20	Moringa tamisé lyo	250mgStandard	0.9935	12 949	4.407	6.2500	27.545	14.05.2024 14:13
200.40	Mélange lyo	250mgStandard	0.9935	16 052	5.453	6.2500	34.080	14.05.2024 14:18
201.10	Mélange lyo	250mgStandard	0.9935	16 176	5.475	6.2500	34.222	14.05.2024 14:24
200.30	Mélange lyo	250mgStandard	0.9935	15 769	5.360	6.2500	33.500	14.05.2024 14:30
200.50	lait lyo	250mgStandard	0.9935	16 795	5.701	6.2500	35.630	14.05.2024 14:36
198.30	lait lyo	250mgStandard	0.9935	17 171	5.892	6.2500	36.824	14.05.2024 14:40
200.60	lait lyo	250mgStandard	0.9935	17 721	6.009	6.2500	37.559	14.05.2024 14:48
199.50	ac aspart	250mgStandard	0.9935	31 284	10.582	9.5026	100.557	14.05.2024 14:56

## Matières grasses

Date	Échantillons	Prise d'essai	Tare berlin d'extraction (g)	Tare berlin d'extraction + MG (g)	Poids MG (g)	MG (%)	Moyenne (%)	Ecart-type
23.05.2024	1	2,0011	140,1525	140,5695	0,417	20,8385388	20,2363726	0,401444138
	2	2,0072	143,3039	143,6995	0,3956	19,70904743		
	3	2,0058	144,6971	145,1015	0,4044	20,16153156		

## Activité de l'eau

Date	Echantillons	N° essai	Activité d'eau	Température (°C)
25.04.2024	Poudre de moringa brute non lyo 1	1	0,356	22,5
		2	0,321	23,0
		3	0,323	22,9
		<b>Moyenne</b>	<b>0,33</b>	<b>22,8</b>
		<b>Ecart-type</b>	<b>0,02</b>	<b>0,3</b>
	Poudre de moringa brute lyo 2	1	0,068	22,6
		2	0,069	23,3
		3	0,068	23,4
		<b>Moyenne</b>	<b>0,07</b>	<b>23,1</b>
		<b>Ecart-type</b>	<b>0,00</b>	<b>0,4</b>
	Poudre de lait brute lyo 3	1	0,068	22,5
		2	0,068	23,4
		3	0,068	23,4
		<b>Moyenne</b>	<b>0,07</b>	<b>23,1</b>
		<b>Ecart-type</b>	<b>0,00</b>	<b>0,5</b>
	Poudre de moringa tamisée non lyo 4	1	0,431	22,3
		2	0,417	23,0
		3	0,424	22,6
		<b>Moyenne</b>	<b>0,42</b>	<b>22,6</b>
		<b>Ecart-type</b>	<b>0,01</b>	<b>0,4</b>
	Poudre de moringa tamisée lyo 5	1	0,068	22,6
		2	0,068	23,0
		3	0,068	23,0
		<b>Moyenne</b>	<b>0,07</b>	<b>22,9</b>
		<b>Ecart-type</b>	<b>0,00</b>	<b>0,2</b>
	Mélange lyo poudre de moringa tamisé + poudre de lait 6	1	0,068	22,7
2		0,068	22,7	
3		0,068	22,7	
<b>Moyenne</b>		<b>0,07</b>	<b>22,7</b>	
<b>Ecart-type</b>		<b>0,00</b>	<b>0,0</b>	
Sphère entière	1	0,211	22,9	
	2	0,214	23,1	
	3	0,214	23,1	
	<b>Moyenne</b>	<b>0,21</b>	<b>23,0</b>	
	<b>Ecart-type</b>	<b>0,00</b>	<b>0,1</b>	
	Eau distillée		0,99	22,2

## Solubilité

Date	N° tube	Echantillon	Tare du falcon (g)	MS de l'éch. (%)	Poids de l'éch. (g)	Poids de l'éch. sec (g)	Poids total avt centrif. (g)	Poids du falcon-culot humide (g)	Poids du culot humide (g)	Poids du surmagement (g)	MS du surmagement (%)	Poids total solubilité (g)	Solubilité (%)	Moyenne	Ecart-type
24.04.2024	1	Poudre de moringa brute lyo	6.6826	96,0	1.0541	1.0119	17.822	6.8765	6.1939	10.9455	3,10	0.3393	33,53	32,51	2,79
	2		1.0126		0.9721	17.7436	6.8786	6.1722	10.865	0.3368		34,65			
	3		1.192		1.1443	17.8415	7.0059	6.2556	10.8356	0.3359		29,35			
	4		1.0089		1.0018	17.7352	6.8807	6.2132	10.8545	0.9661		96,43			
	5	Poudre de lait brute lyo	6.6296	99,3	1.0077	1.0006	17.6988	6.9041	6.2755	10.7947	8,90	0.9607	96,01	94,64	2,75
	6		1.0672		1.0597	17.7969	6.9046	6.2562	10.8923	0.9694		91,48			
	7		1.0416		0.9312	17.7309	6.8941	6.2485	10.8368	0.3251		34,91			
	8	Poudre de moringa tamisée NON lyo	6.6469	89,4	1.052	0.9405	17.7685	6.9441	6.2972	10.8244	3,00	0.3247	34,53	34,76	0,20
	9		1.0422		0.9317	17.7533	6.9359	6.2873	10.8174	0.3245		34,83			
	10		1.024		0.9620	17.7285	7.003	6.3647	10.7255	0.3539		36,04			
	11	Poudre de moringa tamisée lyo	6.6508	95,9	1.0693	1.0255	17.79	6.9878	6.337	10.8022	3,30	0.3565	34,76	35,19	0,74
	12		1.0758		1.0317	17.7799	6.9155	6.2799	10.8644	0.3585		34,75			
	13		1.0685		1.0621	17.7942	6.8253	6.1773	10.9689	0.8775		82,62			
	14	Mélange poudre de lait + poudre de moringa tamisée lyo	6.6945	99,4	1.0921	1.0855	17.8434	6.9064	6.2119	10.937	8,00	0.8750	80,60	83,22	2,97
	15		1.0153		1.0092	17.7439	6.8382	6.1967	10.9047	0.8724		86,44			
Méthode : 1 g d'échantillon + 10 ml d'eau distillée - 30 minutes dans un bain à 24°C - centrifugation : 30 minutes à 3100 g															
14.02.2024	L1	Poudre de lait écrémé brute non lyophilisée	6.6853	97,1	1.0152	0.9858	17.7945	6.7268	6.0415	11.0677	8,70	0.9629	97,68	97,47	0,34
	L2		1.0198		0.9902	17.7722	6.7325	6.0356	11.0397	0.9605		96,99			
	L3		1.0118		0.9825	17.7986	6.7606	6.0603	11.038	0.9603		97,75			
	L4		1.0185		0.9897	17.7856	6.7369	6.027	11.0487	0.9512		97,23			
	L5		1.0107		0.9814	17.7667	6.7424	6.0481	11.0243	0.9591		97,73			
	M1	Poudre de moringa brute non lyophilisée	6.7385	94,7	1.0109	0.9573	17.8311	6.8627	6.2035	10.8891	2,90	0.1998	20,87	20,62	0,94
	M2		1.0142		0.9604	17.728	11.0514	6.4452	6.6115	0.1917		19,96			
	M3		1.012		0.9584	17.8042	6.6667	6.3684	7.0814	0.2054		21,43			
	M4		1.0118		0.9582	17.7469	10.5683	6.9545	7.1079	0.2061		21,51			
	M5		1.0128		0.9591	17.7995	11.2828	6.6789	6.3981	0.1855		19,35			
Méthode : 1 g d'échantillon + 10 ml d'eau distillée - 30 minutes dans un bain à 24°C - centrifugation : 30 minutes à 3100 g															
14.05.2024	2	Sphère (produit fini)	6.706	97,9	1.0109	0.9897	18.0071	7.8802	1.1742	9.9744	6,30	0.6284	63,49	60,74	2,64
	7		1.0253		1.0038	17.5295	7.8907	1.245	9.6388	0.6072		60,50			
	9		1.0642		1.0419	17.8546	8.0168	1.3678	9.8378	0.6198		58,24			
Méthode : 1 g d'échantillon + 10 ml d'eau distillée - 30 minutes dans un bain à 24°C - centrifugation : 30 minutes à 3100 g															

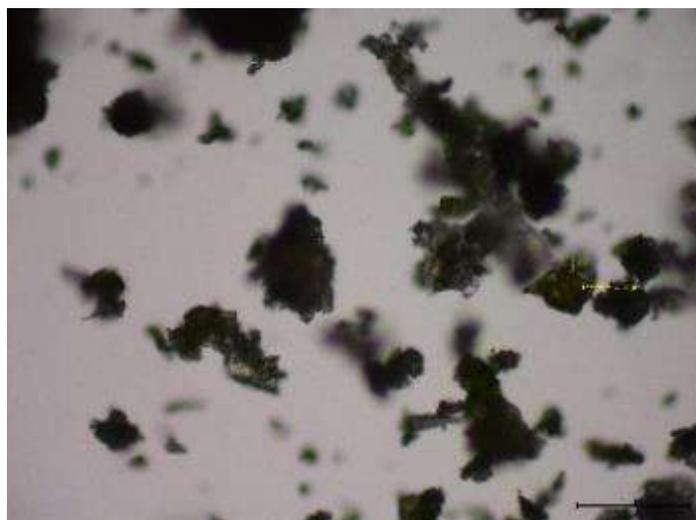
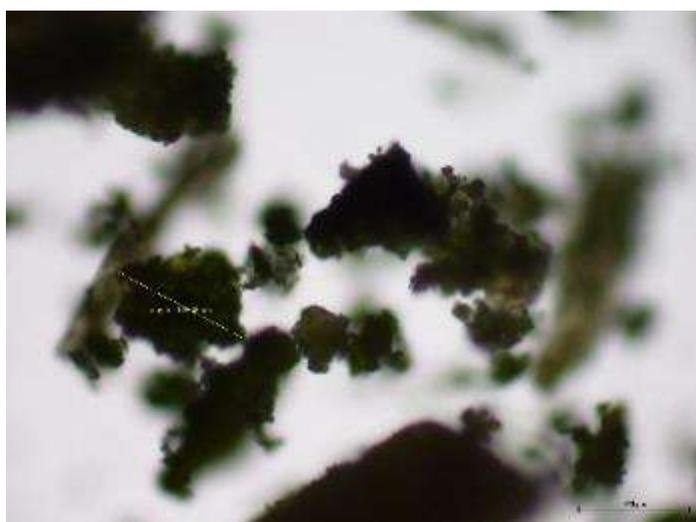
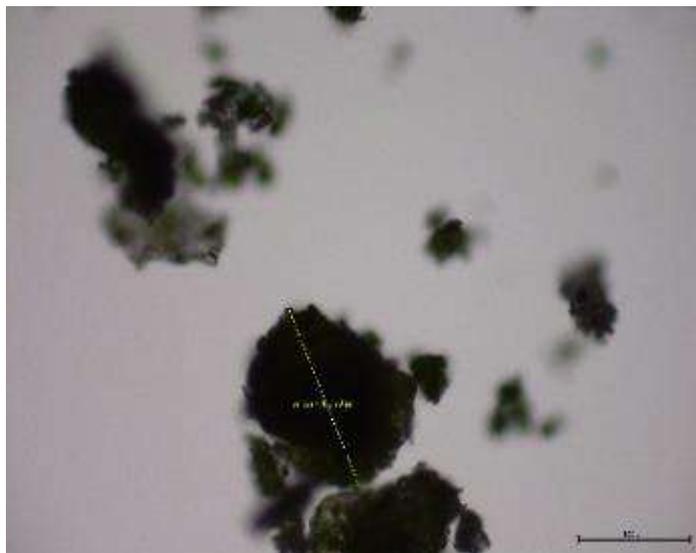
Date	Echantillon	N° berlin	m <sub>0</sub> (g)	m <sub>éch</sub> (g)	m <sub>1</sub> (g)	m <sub>2</sub> (g)	MS (%)	Moyenne	Ecart-type
25.04.2024	Poudre de moringa brute lyo 2	2	106,7649	6,1442	112,9091	106,9627	3,2	3,1	0,1
		9	104,6414	5,6833	110,3247	104,8168	3,1		
		1	100,3416	6,0468	106,3884	100,529	3,1		
	Poudre de lait brute lyo 3	17	101,0585	10,7415	111,8000	102,0184	8,9	8,9	0,0
		21	103,8907	10,7165	114,6072	104,847	8,9		
		6	105,8594	10,7869	116,6463	106,821	8,9		
	Poudre de moringa tamisée NON lyo 4	3	97,7043	6,9236	104,6279	97,9136	3,0	3,0	0,0
		10	102,5059	6,7653	109,2712	102,7118	3,0		
		5	104,124	6,885	111,0090	104,332	3,0		
	Poudre de moringa tamisée lyo 5	18	114,6984	6,6165	121,3149	114,9072	3,2	3,3	0,1
		11	102,2735	6,5076	108,7811	102,4905	3,3		
		12	97,4555	6,4602	103,9157	97,6726	3,4		
Mélange poudre de lait + poudre de moringa tamisée lyo 6	13	97,5962	9,7794	107,3756	98,3895	8,1	8,0	0,3	
	16	107,6727	9,7292	117,4019	108,4758	8,3			
	4	96,9246	9,6852	106,6098	97,6704	7,7			
14.05.2024	Sphère (produit fini)	3	96,9414	9,1085	106,0499	97,5254	6,4	6,3	0,1
		21	102,5014	9,4589	111,9603	103,0968	6,3		
		6	105,6895	9,4419	115,1314	106,2771	6,2		

## Dispersibilité

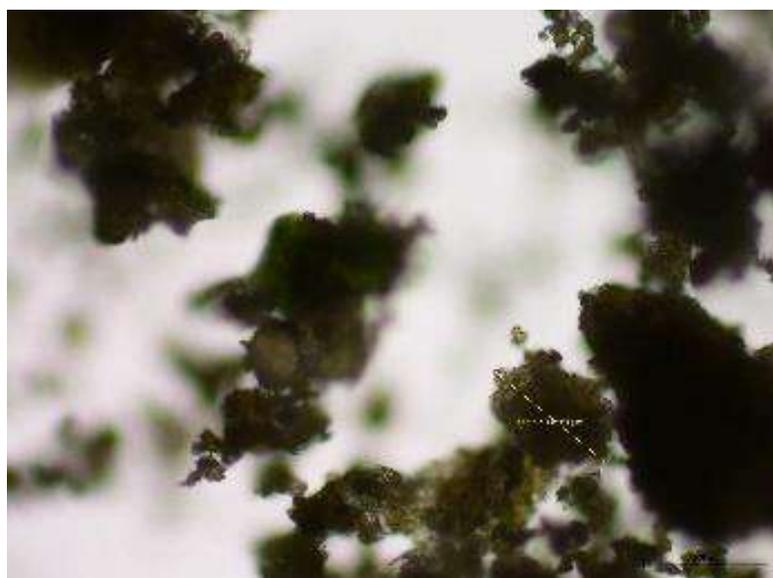
Date	Echantillon	N° berlin	m <sub>0</sub> (g)	m <sub>éch</sub> (g)	m <sub>1</sub> (g)	m <sub>2</sub> (g)	MS (%)	Moyenne	Ecart-type
25.04.2024	Poudre de moringa brute lyo 2	2A	96,2857	10,0006	106,2863	96,4609	1,8	1,5	0,3
		2B	103,441	9,9716	113,4126	103,5642	1,2		
		2C	101,2991	10,002	111,3011	101,4423	1,4		
	Poudre de lait brute lyo 3	3A	102,1836	10,02	112,2036	102,3755	1,9	1,9	0,0
		3B	102,4256	10,0537	112,4793	102,6176	1,9		
		3C	98,1481	10,0741	108,2222	98,3413	1,9		
	Poudre de moringa tamisée NON lyo 4	4A	100,2321	10,0183	110,2504	100,3635	1,3	1,1	0,3
		4B	96,4383	10,013	106,4513	96,5578	1,2		
		4C	90,7549	10,0085	100,7634	90,8307	0,8		
	Poudre de moringa tamisée lyo 5	5A	95,3308	10,0226	105,3534	95,4842	1,5	1,4	0,2
		5B	94,4858	10,0146	104,5004	94,6249	1,4		
		5C	102,176	10,0002	112,1762	102,2891	1,1		
	Mélange poudre de lait + poudre de moringa tamisée lyo 6	6A	105,1951	10,0572	115,2523	105,3793	1,8	1,8	0,0
		6B	96,2159	10,0445	106,2604	96,3957	1,8		
		6C	103,0686	10,0334	113,1020	103,2439	1,7		
15.02.2024	Poudre de moringa brute non lyo	M1	92,5575	10,0037	102,5612	92,7387	1,8	1,8	0,0
		M2	97,2049	10,04	107,2449	97,3836	1,8		
	Poudre de lait brute non lyo	L1	98,2234	10,0227	108,2461	98,3259	1,0	1,2	0,2
L2	91,4039	10,0115	101,4154	91,5376	1,3				
14.05.2024	Sphère (produit fini)	5	101,7478	10,0237	111,7715	101,8141	0,7	0,6	0,0
		4	96,8801	10,0949	106,9750	96,9422	0,6		
		2	95,4317	10,0563	105,4880	95,4944	0,6		

## Annexe 8 : Étude microscopique

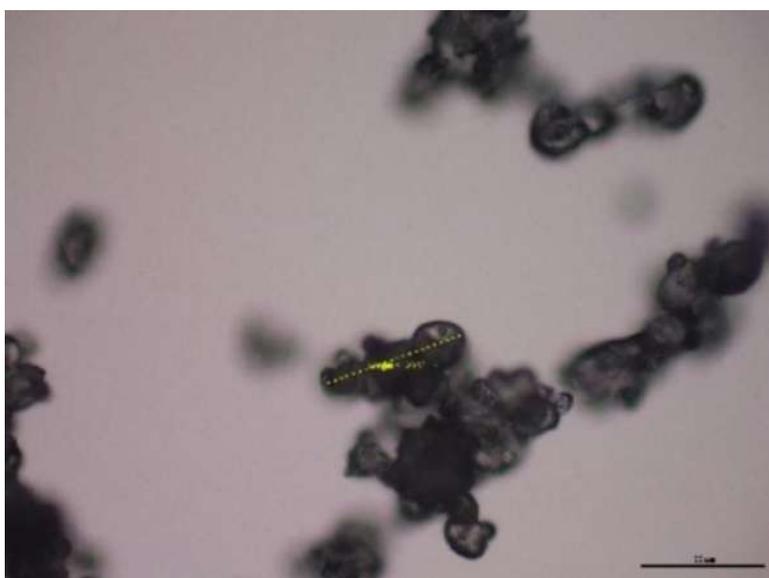
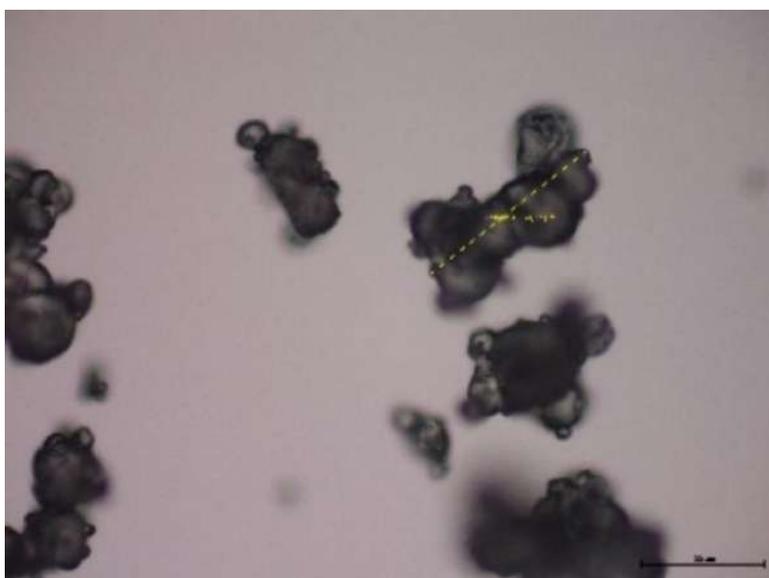
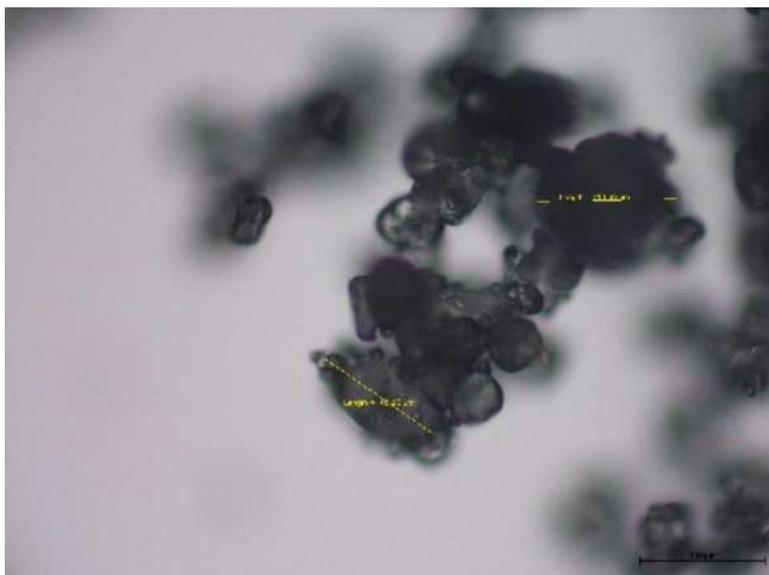
Poudre de moringa brute non lyophilisée :



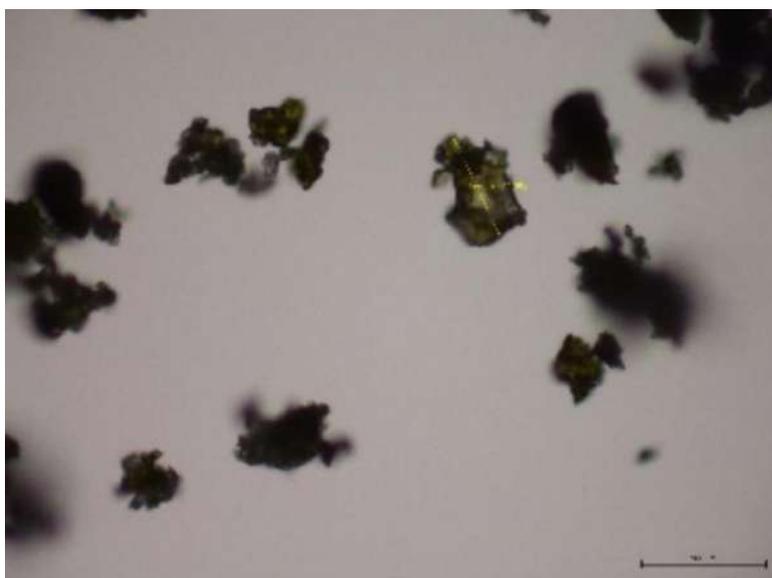
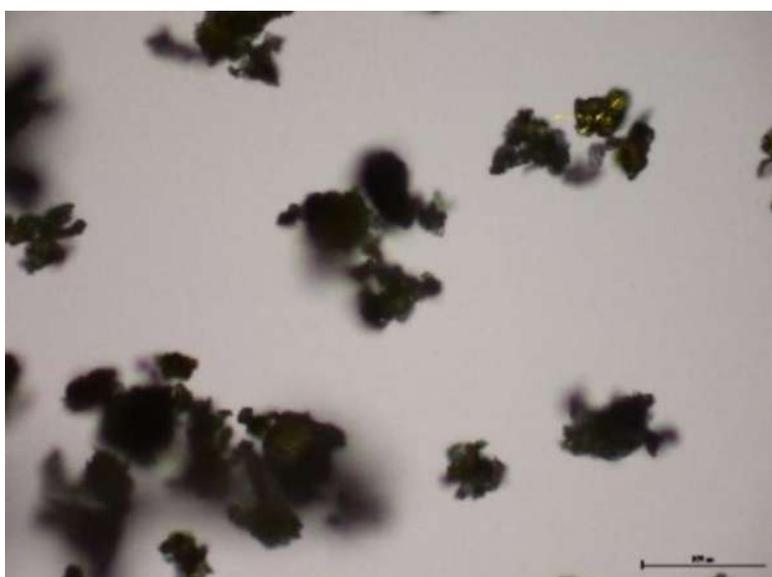
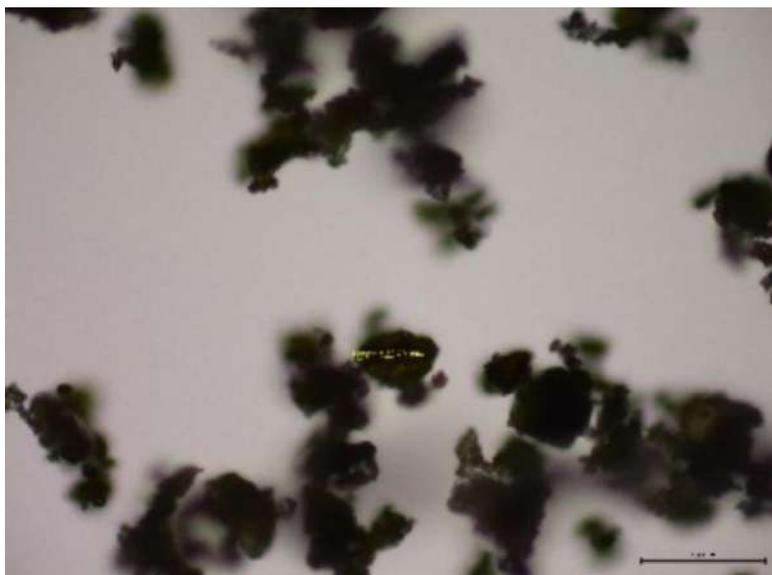
## Poudre de moringa brute lyophilisée



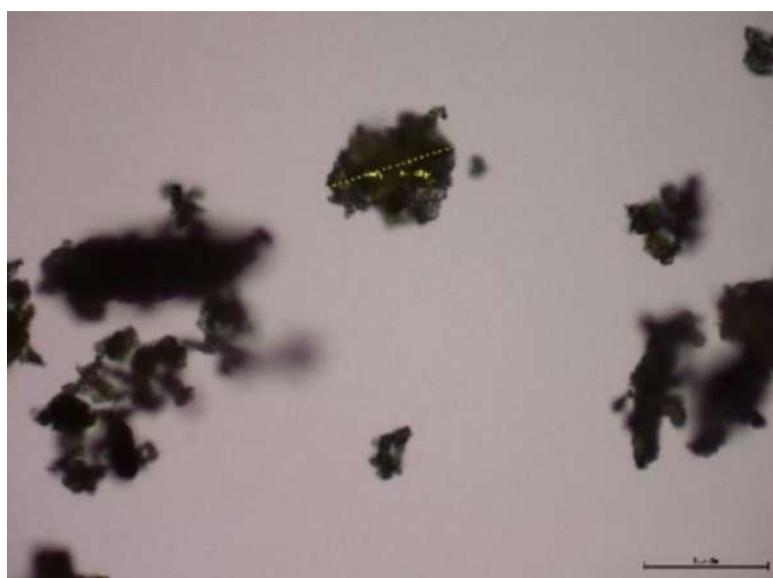
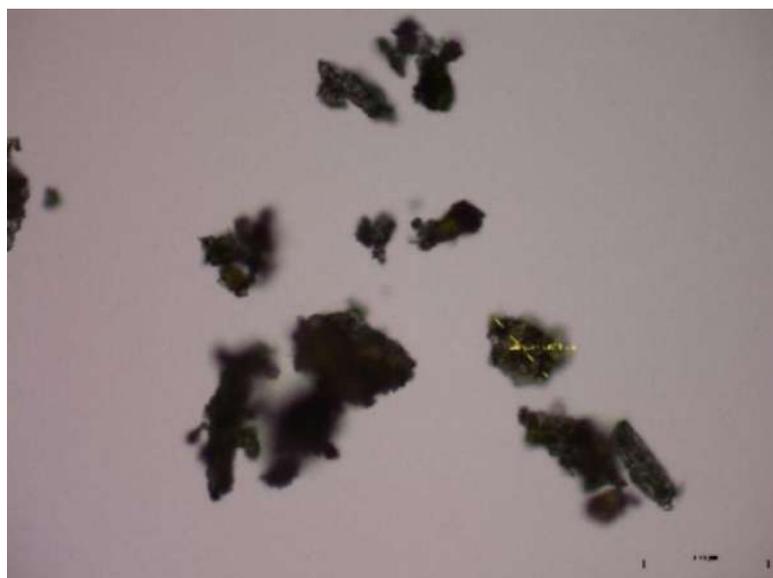
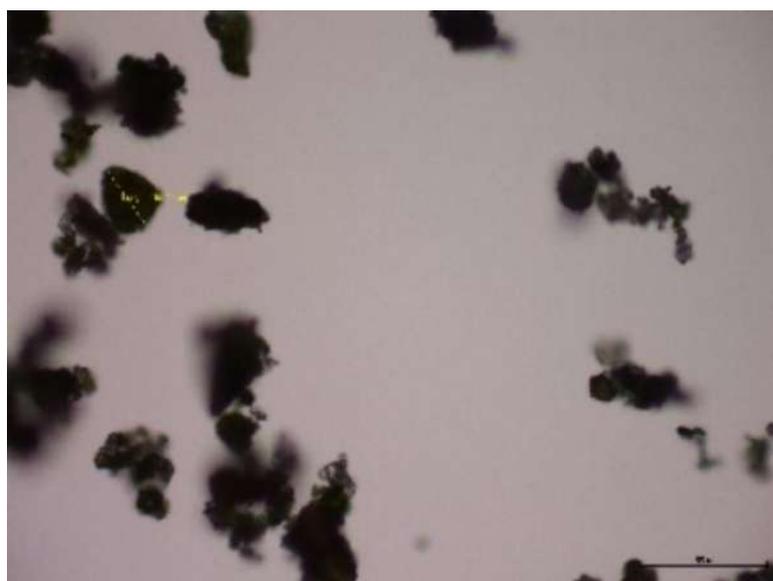
### Poudre de lait lyophilisée



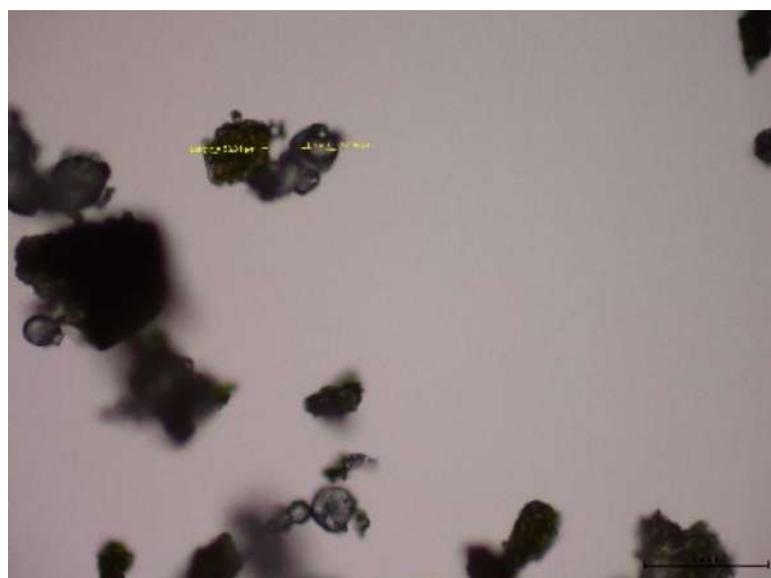
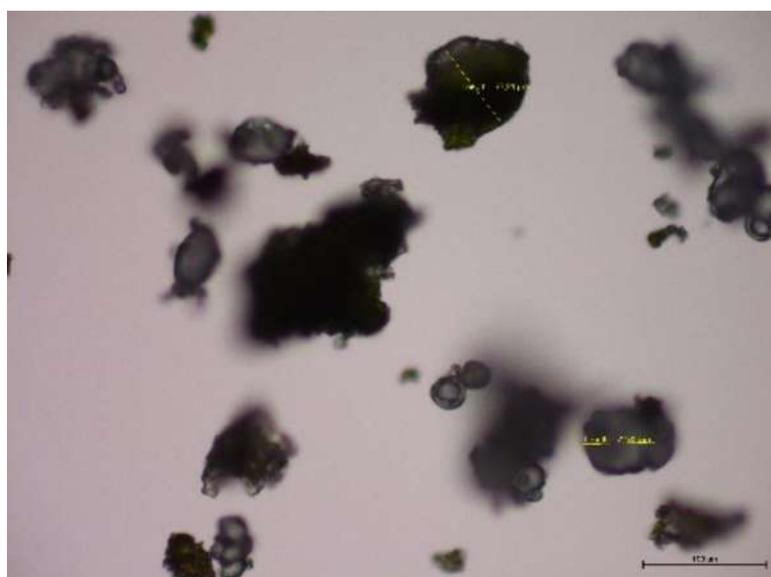
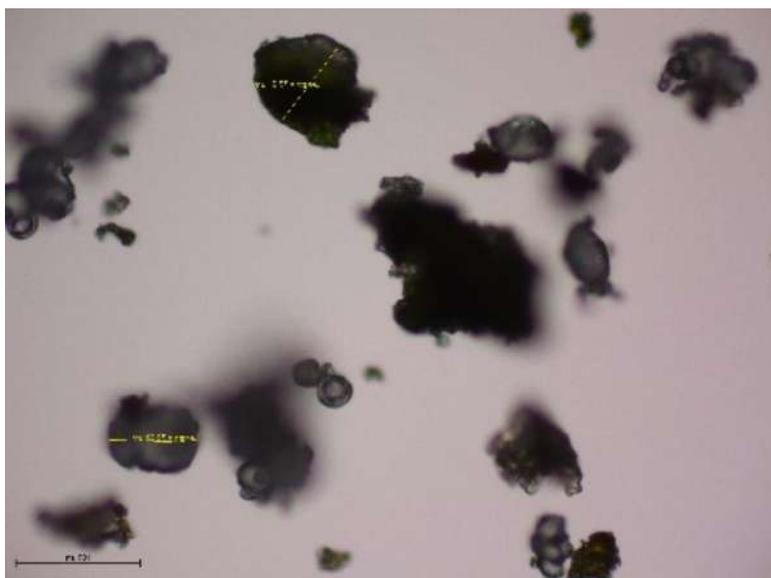
### Poudre de moringa tamisée non lyophilisée



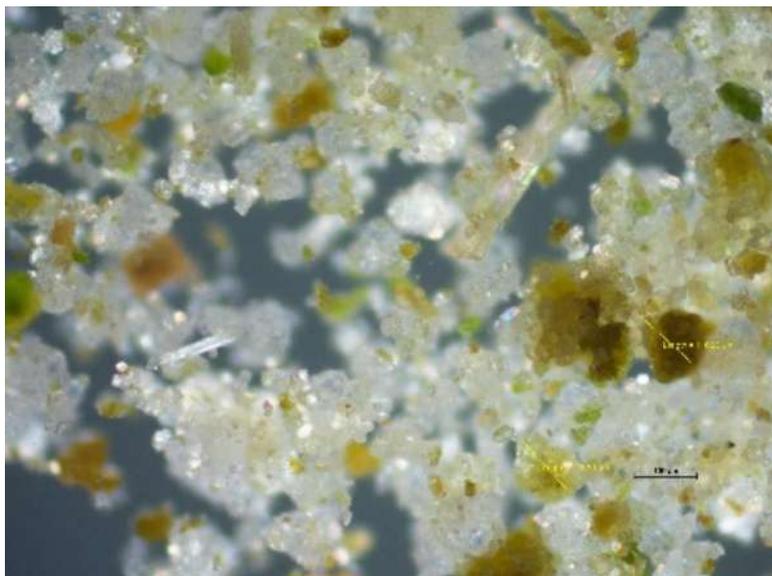
### Poudre de moringa tamisée lyophilisée



### Mélange de poudres lyophilisées



**Sphère broyée (lumière polarisée) :**



### Annexe 9 : Analyse de l'évolution de la brillance et couleur

	Frigo 2 °C	T° ambiante 21 °C	Réserve 15 °C
J-0			
J +1	 <p>La sphère à l'air libre du frigo est beaucoup moins brillante (voir mate) que celle se trouvant dans la boîte. De plus, un léger blanchissement apparait sur celle à l'air libre par rapport à celle dans la boîte. Les deux sphères du frigo sont également plus jaunes et toutes les deux moins brillantes que les sphères à T° ambiante.</p>	 <p>Pas de différence au niveau de la couleur et de la brillance entre les deux sphères ni par rapport au sphères du J0.</p>	 <p>Pas de différence au niveau de la couleur et de la brillance entre la sphère à l'air libre et la sphère dans la boîte. Pas de différence au niveau de la couleur et de la brillance avec la sphère dans la boîte du frigo. <b>Les deux sphères de la réserve sont plus vives que les deux sphères à T° ambiante.</b></p>
J +4			

	<p>La sphère à l'air libre blanchit de plus en plus (plus que J+1) et a un aspect mate et pailleté. La sphère dans la boîte commence à blanchir mais moins que celle à l'air libre et a cet aspect brillant aussi.</p>	<p>Pas de grande différence visuelle (au niveau de couleur et de la brillance) entre la sphère à l'air libre et celle dans la boîte. Légère différence de couleur à la limite qui tire vers le gris pour les deux, de moins en moins vert mais restent toutes les deux brillantes.</p>	<p>Pas de grande différence visuelle (au niveau de couleur et de la brillance) entre la sphère à l'air libre et celle dans la boîte. <b>C'est celles qui se rapprochent le plus de J-0. Elles brillent toutes les deux.</b></p>
<p>J +5</p>	 <p>La sphère à l'air libre a moins d'effet pailleté et a encore un peu plus blanchit. Celle dans la boîte blanchit toujours aussi.</p>	 <p>Entre elles pas de différence de couleur, tendent vers le gris toutes les deux. La brillance est la même entre les deux sphères.</p>	 <p>Pas beaucoup de différence par rapport au J+4 aussi bien au niveau de la brillance et de la couleur pour les deux. Les deux sont comparables, pas de différence entre les deux sphères tant au niveau de la couleur que de la brillance.</p>
<p>J +6</p>	 <p>Toujours cette différence entre les deux sphères : celle à l'air libre blanchit encore plus et est mate, aspect paletté et collant lors du toucher pour celle à l'air libre. Celle de la boîte, n'a pas plus blanchit qu'au J+5 et garde un aspect brillant</p>	 <p>Toujours cet aspect gris pour les deux, de plus en plus cet aspect fade mais gardent une petite brillance mais moins brillantes que celles à 15 °C. Pas de différence au niveau de la couleur et de la brillance entre les</p>	 <p>Pas de différence entre les deux sphères tant au niveau brillance que couleur. <b>Les deux sphères gardent leur aspect brillant et leur couleur verte du J0.</b></p>

	comparé à celle à l'air libre et ne colle pas au toucher.	deux sphères (sont les mêmes).	
--	---	--------------------------------	--

**CCL après 6 jours :**

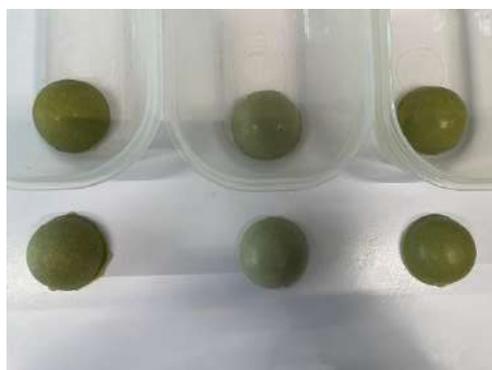
- Le froid du frigo à 2 °C a un impact négatif sur la couleur et la brillance mais aussi sur l'aspect : effet de blanchissement sur les sphères, cristaux et paillettes à la surface.
- La sphère à T ambiante 21 °C : effet négatif sur la couleur qui a un effet gris, ne brille pas autant que celle à 15 °C mais garde une petite brillance
- A la réserve cad 15 °C, les sphères que ce soit à l'air libre ou dans une boîte gardent leur brillance et couleur d'origine.
- Lorsque l'on prend une sphère qui est restée à l'air libre posée dans un moule à température ambiante sur la paillasse : la demi-sphère dans le moule garde sa couleur plus verte et plus brillante que la demi-sphère à l'air libre.



*Image : Comparaison de la brillance et de la couleur de sphères dans le frigo, à température ambiante et dans la réserve, une sphère à l'air libre et une dans une boîte, après 7 jours.*

**CCL après 18 jours :**

- La sphère à l'air libre se trouvant dans le frigo à 2 °C devient blanche, brillante et collante au toucher. La sphère dans la boîte dans le frigo est matte mais a bien blanchit comparé à avant où il n'y avait que quelques points blancs.
- Les deux sphères à température ambiante (à l'air libre et dans la boîte) n'ont pas de différence entre elles au niveau de la couleur et de la brillance. Elles sont grises.
- **La sphère dans la boîte dans la réserve à 15 °C est un peu plus brillante et plus verte que la sphère à l'air libre de la réserve mais pas de différence significative entre elles.**



*Image : Comparaison de la brillance et de la couleur de sphères dans le frigo, à température ambiante et dans la réserve, une sphère à l'air libre et une dans une boîte, après 18 jours.*

**CCL après 35 jours :**

- La sphère dans la boîte dans le frigo a blanchit encore plus qu'après 18 jours. Celle à l'air libre dans le frigo a également blanchit. Toujours cet aspect collant sur la sphère à l'air libre.
- Pas de différence significative entre les deux sphères qui se trouvent à température ambiante mais elles ont encore plus perdu leur couleur verte. Elles deviennent de plus en plus grises et fades.
- La sphère dans la réserve à l'air libre a bien blanchit comparer au J+18. **Celle dans la boîte à la réserve garde son aspect initial au niveau de la couleur et de la brillance.**



*Image : Comparaison de la brillance et de la couleur de sphères dans le frigo, à température ambiante et dans la réserve, une sphère à l'air libre et une dans une boîte, après 35 jours.*

## Annexe 10 : Analyse de la granulométrie Poudre de moringa brute non lyophilisée

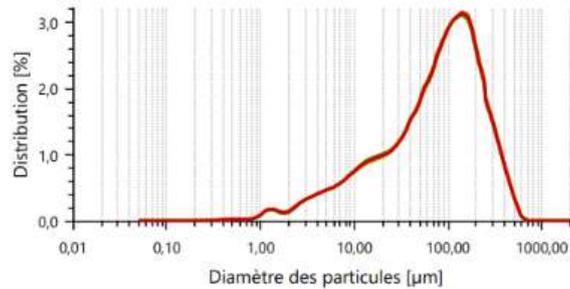
### Mesures (volume) - Undersize

Nom	D10 [µm]	D50 [µm]	D90 [µm]	Taille moyenne [µm]	Envergure	Couleur
Moringa brute non lyo 1	8,526	78,633	230,209	108,863	2,819	—
Moringa brute non lyo 1 (2)	8,339	80,789	233,748	110,975	2,790	—
Moringa brute non lyo 1 (3)	8,366	79,572	230,848	109,455	2,796	—

### Statistiques (volume) - Undersize

Nom	D10 [µm]	D50 [µm]	D90 [µm]	Taille moyenne [µm]	Envergure
Valeur moyenne	8,410	79,665	231,601	109,765	2,802
Écart-type	0,10140	1,0809	1,8860	1,0895	0,015
Écart-type relatif	1,21	1,36	0,81	0,99	0,55

### Distribution (volume)



## Poudre de moringa brute lyophilisée

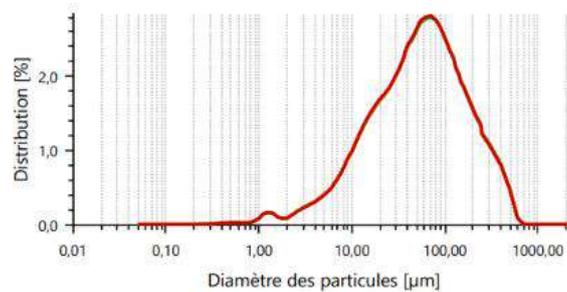
### Mesures (volume) - Undersize

Nom	D10 [µm]	D50 [µm]	D90 [µm]	Taille moyenne [µm]	Envergure	Couleur
Moringa brute lyo 2 (1)	9,333	52,989	209,702	90,722	3,781	—
Moringa brute lyo 2 (2)	9,424	52,819	207,367	90,008	3,748	—
Moringa brute lyo 2 (3)	9,491	52,620	207,243	89,893	3,758	—

### Statistiques (volume) - Undersize

Nom	D10 [µm]	D50 [µm]	D90 [µm]	Taille moyenne [µm]	Envergure
Valeur moyenne	9,416	52,809	208,104	90,208	3,762
Écart-type	0,07951	0,18474	1,3853	0,4487	0,017
Écart-type relatif	0,84	0,35	0,67	0,50	0,46

### Distribution (volume)



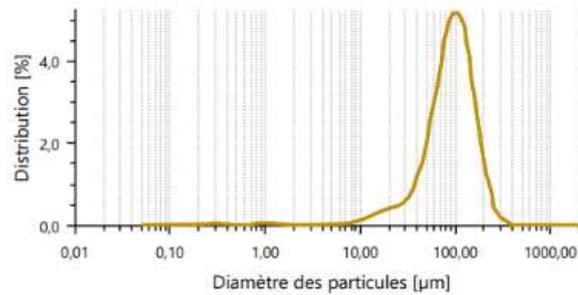
## Poudre de lait brute lyophilisée

Mesures (volume) - Undersize						
Nom	D10 [µm]	D50 [µm]	D90 [µm]	Taille moyenne [µm]	Envergure	Couleur
Lait lyo 3 (1)	34,865	88,013	160,537	97,503	1,428	—
Lait lyo 3 (2)	34,935	88,218	161,088	97,744	1,430	—

Statistiques (volume) - Undersize					
Nom	D10 [µm]	D50 [µm]	D90 [µm]	Taille moyenne [µm]	Envergure
Valeur moyenne	34,900	88,116	160,813	97,624	1,429
Écart-type	0,04944	0,14488	0,3895	0,17055	0,002
Écart-type relatif	0,14	0,16	0,24	0,17	0,11

Distribution (volume)



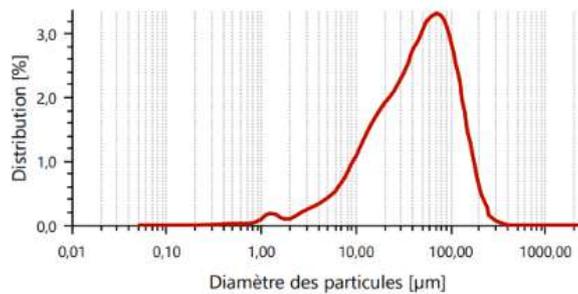
## Poudre de moringa tamisée non lyophilisée

Mesures (volume) - Undersize						
Nom	D10 [µm]	D50 [µm]	D90 [µm]	Taille moyenne [µm]	Envergure	Couleur
Moringa tamisée non lyo 4 (1)	8,535	43,252	119,462	57,401	2,565	—
Moringa tamisée non lyo 4 (2)	8,602	43,157	118,944	57,217	2,557	—
Moringa tamisée non lyo 4 (3)	8,566	43,109	119,041	57,231	2,563	—

Statistiques (volume) - Undersize					
Nom	D10 [µm]	D50 [µm]	D90 [µm]	Taille moyenne [µm]	Envergure
Valeur moyenne	8,568	43,173	119,149	57,283	2,561
Écart-type	0,03378	0,07244	0,2757	0,10218	0,004
Écart-type relatif	0,39	0,17	0,23	0,18	0,16

Distribution (volume)



## Poudre de moringa tamisée lyophilisée

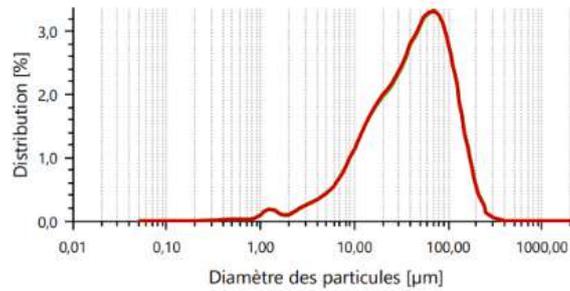
### Mesures (volume) - Undersize

Nom	D10 [µm]	D50 [µm]	D90 [µm]	Taille moyenne [µm]	Envergure	Couleur
Moringa tamisée lyo 5 (1)	8,366	41,953	116,522	55,922	2,578	—
Moringa tamisée lyo 5 (2)	8,589	41,850	115,635	55,710	2,558	—
Moringa tamisée lyo 5 (3)	8,546	41,744	115,404	55,578	2,560	—

### Statistiques (volume) - Undersize

Nom	D10 [µm]	D50 [µm]	D90 [µm]	Taille moyenne [µm]	Envergure
Valeur moyenne	8,500	41,849	115,853	55,737	2,565
Écart-type	0,11846	0,10425	0,5900	0,17366	0,011
Écart-type relatif	1,39	0,25	0,51	0,31	0,43

### Distribution (volume)



## Mélange poudre de lait + poudre de moringa tamisée lyophilisée

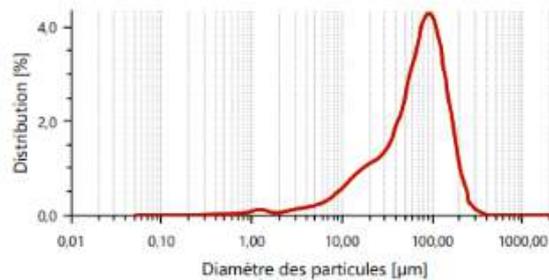
### Mesures (volume) - Undersize

Nom	D10 [µm]	D50 [µm]	D90 [µm]	Taille moyenne [µm]	Envergure	Couleur
Mélange lyo moringa tamisé + lait 6 (1)	13,563	67,718	144,120	77,351	1,928	—
Mélange lyo moringa tamisé + lait 6 (2)	13,531	67,704	144,113	77,321	1,929	—
Mélange lyo moringa tamisé + lait 6 (3)	13,520	67,779	144,326	77,419	1,930	—

### Statistiques (volume) - Undersize

Nom	D10 [µm]	D50 [µm]	D90 [µm]	Taille moyenne [µm]	Envergure
Valeur moyenne	13,538	67,734	144,186	77,364	1,929
Écart-type	0,02204	0,03947	0,12101	0,05056	0,001
Écart-type relatif	0,16	0,06	0,08	0,07	0,05

### Distribution (volume)



## Poudre de moringa brute Biocap

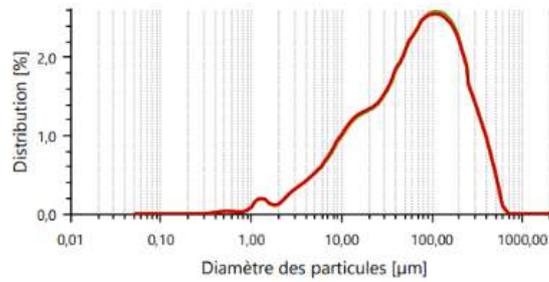
### Mesures (volume) - Undersize

Nom	D10 [µm]	D50 [µm]	D90 [µm]	Taille moyenne [µm]	Envergure	Couleur
poudre de moringa biocap E1	7,886	64,162	234,904	103,407	3,538	—
poudre de moringa biocap E1 (2)	7,821	63,279	234,249	102,711	3,578	—
poudre de moringa biocap E1 (3)	7,781	62,838	233,645	102,323	3,594	—

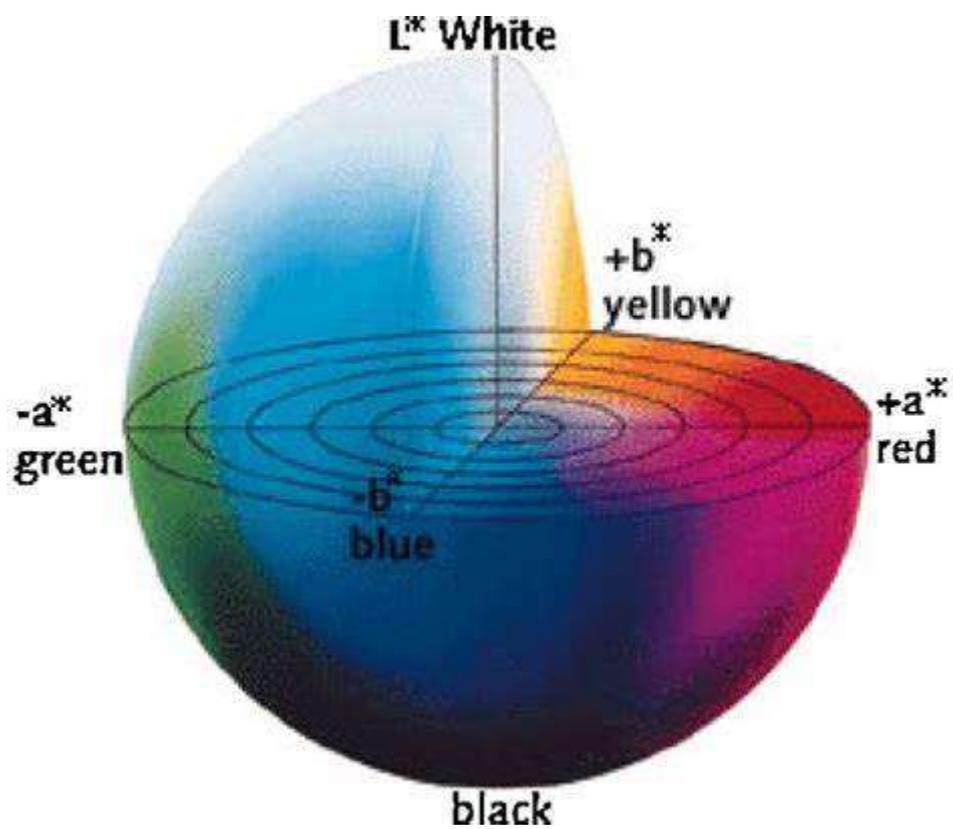
### Statistiques (volume) - Undersize

Nom	D10 [µm]	D50 [µm]	D90 [µm]	Taille moyenne [µm]	Envergure
Valeur moyenne	7,829	63,426	234,266	102,813	3,570
Écart-type	0,05332	0,6741	0,6297	0,5493	0,029
Écart-type relatif	0,68	1,06	0,27	0,53	0,81

### Distribution (volume)



**Annexe 11 : Figure permettant l'analyse des résultats de la colorimétrie**



## Annexe 12 : Étapes préliminaires à la méthode HACCP

### Équipe HAACP

L'équipe a pour objectif de déterminer les différents dangers pouvant apparaître à chaque étape du procédé de fabrication et va lister tous les dangers. Le risque est également pris en compte : en est fonction de la fréquence et de la gravité. Les différents dangers sont ainsi séparés en fonction de ces facteurs.

Membres	Spécialités
Dallelmann Clémence	Diététique et Sciences des aliments
Heremans Camille	Bio-analyse et Contrôle qualité

*Composition de l'équipe HACCP.*

### Description du produit fini

Afin de contribuer à la recherche et au développement de nouveaux produits alimentaires répondant aux besoins de la société actuelle, l'objectif est de mettre au point un latte instantané intégrant un superaliment : la plante de moringa. Le produit sera présenté sous forme de sphère compacte unitaire, offrant ainsi une praticité d'usage et de transport. En pratique, sous l'effet de l'eau chaude, la sphère contenant les différents ingrédients se dissoudra créant un latte instantané original, ludique et esthétique rempli de substances nutritives bénéfiques pour la santé.

### Population cible

La cible est, les hommes et femmes actifs, de 20 à 60 ans, qui ont envie d'une alternative originale aux cafés, thés et boissons énergisantes.

### Étiquetage

Le Règlement INCO fixe notamment les 12 mentions obligatoires qui doivent figurer sur les denrées alimentaires.

Valeurs nutritionnelles moyennes				<b>Latte instantané chocolaté sous forme de sphère à base de moringa</b> <b>Ingrédients :</b> Poudre de lait écrémé 0% en poudre (44%), chocolat blanc (44%) (Sucre, beurre de cacao min 30%, poudre de lait entier, émulsifiant : lécithine de soja, extrait de vanille), moringa en poudre (11%), myrory (0,01%). <b>Origines :</b> Poudre de lait française, chocolat blanc belge et poudre de moringa provenant d'Inde.
	Pour 100g	Par portion (28,5g)**	% (28,5g)*	
Energie (kJ)	1917,2	548,4	27,3	
Kilocalories (kcal)	456,4	130,1	6,5	
Matières grasses				
dont acides gras saturés (g)	18,5	5,3	7,5	
Glucides	51,0	14,5	5,6	
dont sucres (g)	47,5	13,5	15,0	
Fibres	3,1	0,9	10,3	
Protéines (g)	20,0	5,7	11,4	
Sel (g)	0,3	0,1	1,4	

\*Apports de référence pour un adulte-type (8400 kJ/2000 kcal).  
\*\*1 portion = 28,5g. Cet emballage contient 4 portions.

**Une innovation végétale dans chaque gorgée !**  
**Plus de conseils et de renseignements sur notre site internet : TGREEN.BE**

À conserver à l'abri de la chaleur, de l'humidité, des odeurs et de la lumière.  
 À consommer de préférence avant le / N° lot :  
 Av. de la Faculté d'Agronomie 41/13,  
 5030 Gembloux  
 TGREEN.BE

Poids net : **114g (4x28,5g)**

*Étiquette du produit innovant.*

### Dénomination

La dénomination claire de notre produit est un « latte instantané sous forme de sphère en chocolat blanc contenant de la poudre de moringa et de lait écrémé ».

## Allergènes

Les allergènes sont toutes substances ou produits provoquant des allergies ou intolérances. Ceux-ci doivent être mis en évidence dans la liste d'ingrédients sur l'étiquette. Concernant le produit innovant, le lait ainsi que le soja sont les deux allergènes présents. Ceux-ci sont mis en évidence en gras dans la liste des ingrédients.

## Liste d'ingrédients

Concernant les ingrédients contenus dans le produit, les trois principaux sont : le chocolat blanc, le lait écrémé et poudre et le moringa.

## Informations nutritionnelles

	Pour 100g	Par portions (28,5g)	Pourcentages par portions (%)
<b>Energie (kJ)</b>	1917,2	546,4	27,3
<b>Kilocalories (kcal)</b>	456,4	130,1	6,5
<b>Graisses dont (g)</b>	18,5	5,3	7,5
<b>Graisses saturées (g)</b>	11,2	3,2	16,0
<b>Glucides dont (g)</b>	51,0	14,5	5,6
<b>Sucres (g)</b>	47,5	13,5	15,0
<b>Fibres</b>	3,1	0,9	10,3
<b>Protéines (g)</b>	20,0	5,7	11,4
<b>Sel (g)</b>	0,3	0,1	1,4

*Valeurs nutritionnelles du produit innovant*

## Conservation et DDM

Afin de conserver au mieux le produit, celui-ci devra être conservé dans un endroit sec, à l'abri de la lumière, de l'humidité et à température ambiante.

Le produit possède une date de durabilité minimale (DDM) et non une date limite de consommation car il est non microbiologiquement très périssable. Il est donc obligatoire d'écrire sur l'étiquette la mention « à consommer de préférence avant le... ». La DDM a été évaluée lors des tests de vieillissement, une DDM de 2 mois est visée.

## Caractéristiques du produit

Il s'agit d'une sphère en chocolat blanc d'environ 28,5 g. L'intérieure de la sphère sera constituée de poudre lyophilisée (moringa et lait écrémé). Afin de donner la couleur verte à la sphère de la poudre de moringa ainsi que de la poudre de lait lyophilisées ont été ajoutées dans le chocolat blanc.

## **Lieu de fabrication**

Le produit innovant sera fabriqué au TERRA dans les locaux de la Faculté de Gembloux de l'Université de Liège.

## **Les traitements appliqués**

Les traitements appliqués sur le produit sont : le tamisage, la lyophilisation et le tempérage du chocolat.

## **Le conditionnement**

Le conditionnement choisi est un étui en carton dans lequel est disposé un système de logement en r-PET. Autour de la boîte un fin film en r-PET étirable permet le scellage de la boîte et augmente également la durée de conservation du produit.

## **La distribution**

Le produit sera distribué via plusieurs canaux. Tout d'abord, du e-commerce est envisagé, via un site web et ceux de partenaires. De plus, de la distribution sélective grâce à des petits événements, spas, cafés est envisagée également.

## **Utilisation attendue du produit**

En pratique, sous l'effet d'eau chaude à 80 °C dans un contenant et à l'aide d'une cuillère, la sphère de chocolat blanc contenant les différents ingrédients se dissoudra en moins de 30 secondes créant un latte instantané original, ludique et esthétique rempli de substances nutritives.

## **Diagramme de fabrication**

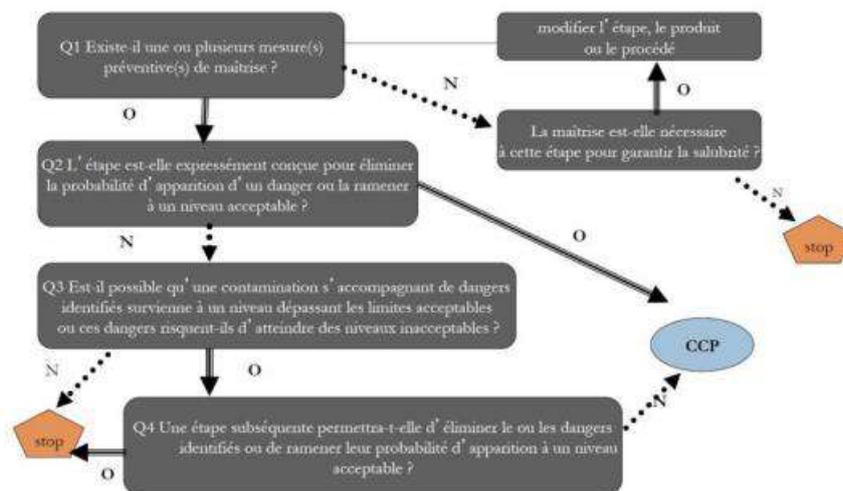
Le diagramme de fabrication a été réalisé au point 4.5.3.

## **Confirmation du diagramme de fabrication**

Le diagramme de fabrication a été revu et adapté afin que la production du produit soit optimale.

## **Annexe 13 : Arbre de décision et évaluation des risques**

<b>Probabilité</b>	<b>4</b>	Risque modéré	Risque important	Risque critique	Risque critique
	<b>3</b>	Risque limité	Risque modéré	Risque important	Risque critique
	<b>2</b>	Risque limité	Risque modéré	Risque modéré	Risque important
	<b>1</b>	Risque limité	Risque limité	Risque limité	Risque modéré
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
		<b>Gravité</b>			



## Annexe 14 : Réponses enquête qualitative

<b>Robert</b> <b>54 ans</b> <b>Journaliste</b> <b>Divorcé et un fils adolescent</b>	
Questions posées lors de l'enquête qualitative	Réponses
À côté des repas, quelles boissons chaudes consommez-vous ?	Café le matin et tisane le soir.
Quelles sont les dernières boissons chaudes que vous avez achetées ?	Café moulu Douwe Egbert.
Consommez-vous du café ou du thé ? En quelle quantité ?	Tous les matins une tasse de café allongé et tous les soirs une tasse de tisane.
Quel effet recherchez-vous en buvant ces boissons ?	Je consomme le café pour le plaisir et le thé pour se détendre.
Pensez-vous que votre consommation de café ou de thé est adéquate ?	Oui, je pense que sa consommation de café et de thé est adéquate
Portez-vous une attention particulière au côté santé des produits que vous achetez ?	Non, pas spécialement.
Seriez-vous prêt à remplacer le café ou le thé par une autre boisson chaude ?	Pourquoi pas.
Quels sont vos critères d'achat pour du café ou du thé ?	Je porte attention à la qualité des produits.
Pourriez-vous envisager d'acheter un latte instantané à base de plantes ?	Oui, éventuellement si le produit m'attire.
Avez-vous déjà consommé du moringa ?	Non, jamais.
Êtes-vous prêts à tester un produit innovant ?	Oui, je suis prêt à tester puis je verrai.
Êtes-vous attirés par l'originalité en termes de produits alimentaires ?	Non.
Est-ce que l'esthétique d'un produit influence votre perception ?	Oui, cela a un impact sur moi lorsque je fais mes courses.
Est-ce que la couleur verte d'une boisson peut vous influencer ?	Non.
Est-ce que la praticité du produit a de l'importance pour vous ?	Oui, si le produit est pratique d'utilisation alors je me verrai l'acheter à nouveau.
Est-ce que le packaging est important pour vous ? Influence-t-il votre intention d'achat ?	Oui, ça pourrait m'influencer.
Quel prix seriez-vous prêt à mettre pour une sphère de 30 g correspondant à une boisson de 200 ml ?	2 €.

<b>Laetitia</b> <b>34 ans</b> <b>Institutrice primaire</b> <b>Mariée et 2 enfants (une fille de 3 ans et un fils de 5 ans)</b>	
<b>Questions posées lors de l'enquête qualitative</b>	<b>Réponses</b>
À côté des repas, quelles boissons chaudes consommez-vous ?	Café et thé chai.
Quelles sont les dernières boissons chaudes que vous avez achetées ?	Café robusta et thé chai.
Consommez-vous du café ou du thé ? En quelle quantité ?	Les deux, 2 tasses de café et 2 tasses de thé par jour.
Quel effet recherchez-vous en buvant ces boissons ?	Stimulation et détente.
Pensez-vous que votre consommation de café ou de thé est adéquate ?	Oui, c'est géré.
Portez-vous une attention particulière au côté santé des produits que vous achetez ?	Oui, surtout pour le café.
Seriez-vous prêt à remplacer le café ou le thé par une autre boisson chaude ?	Oui, je suis ouvert à cela.
Quels sont vos critères d'achat pour du café ou du thé ?	Goût, prix, et durabilité.
Pourriez-vous envisager d'acheter un latte instantané à base de plantes ?	Oui, je pourrais essayer.
Avez-vous déjà consommé du moringa ?	Non, jamais essayé.
Êtes-vous prêts à tester un produit innovant ?	Oui, ça m'intéresse.
Êtes-vous attirés par l'originalité en termes de produits alimentaires ?	Oui, souvent.
Est-ce que l'esthétique d'un produit influence votre perception ?	Oui, un peu.
Est-ce que la couleur verte d'une boisson peut vous influencer ?	Non, ça ne me dérange pas.
Est-ce que la praticité du produit a de l'importance pour vous ?	Oui, je préfère des produits faciles à préparer.
Est-ce que le packaging est important pour vous ? influence-t-il votre intention d'achat ?	Oui, surtout s'il est informatif et attrayant.
Quel prix seriez-vous prêt à mettre pour une sphère de 30 g correspondant à une boisson de 200 ml ?	2 à 2,50 euros.

<b>Alexandre 25 ans Étudiant en marketing Célibataire et vit en colocation</b>	
<b>Questions posées lors de l'enquête qualitative</b>	<b>Réponses</b>
À côté des repas, quelles boissons chaudes consommez-vous ?	Thé vert et tisane.
Quelles sont les dernières boissons chaudes que vous avez achetées ?	Thé matcha et tisane à la camomille.
Consommez-vous du café ou du thé ? En quelle quantité ?	Thé, 2 à 3 tasses par jour.
Quel effet recherchez-vous en buvant ces boissons ?	Relaxation et bien-être.
Pensez-vous que votre consommation de café ou de thé est adéquate ?	Oui, je pense que c'est équilibré.
Portez-vous une attention particulière au côté santé des produits que vous achetez ?	Oui, je préfère les produits biologiques.
Seriez-vous prêt à remplacer le café ou le thé par une autre boisson chaude ?	Oui, si c'est bénéfique pour la santé.
Quels sont vos critères d'achat pour du café ou du thé ?	Qualité, origine biologique, et goût.
Pourriez-vous envisager d'acheter un latte instantané à base de plantes ?	Oui, pourquoi pas.
Avez-vous déjà consommé du moringa ?	Non, jamais.
Êtes-vous prêts à tester un produit innovant ?	Oui, j'aime essayer de nouvelles choses.
Êtes-vous attirés par l'originalité en termes de produits alimentaires ?	Oui, l'originalité m'attire.
Est-ce que l'esthétique d'un produit influence votre perception ?	Oui, l'emballage attrayant est important.
Est-ce que la couleur verte d'une boisson peut vous influencer ?	Oui, cela peut suggérer un produit naturel.
Est-ce que la praticité du produit a de l'importance pour vous ?	Oui, beaucoup. Je préfère des produits faciles et rapides à préparer.
Est-ce que le packaging est important pour vous ? influence-t-il votre intention d'achat ?	Oui, un bon packaging m'attire plus facilement et peut influencer mon choix.
Quel prix seriez-vous prêt à mettre pour une sphère de 30 g correspondant à une boisson de 200 ml ?	Environ 2 à 3 euros.

<b>Jean</b> <b>32 ans</b> <b>Enseignant</b> <b>Marié et 2 enfants de 5 ans</b>	
Questions posées lors de l'enquête qualitative	Réponses
À côté des repas, quelles boissons chaudes consommez-vous ?	Café et chocolat chaud.
Quelles sont les dernières boissons chaudes que vous avez achetées ?	Café arabica et chocolat en poudre.
Consommez-vous du café ou du thé ? En quelle quantité ?	Café, 3 à 4 tasses par jour.
Quel effet recherchez-vous en buvant ces boissons ?	Stimulation et concentration.
Pensez-vous que votre consommation de café ou de thé est adéquate ?	Oui, elle est raisonnable.
Portez-vous une attention particulière au côté santé des produits que vous achetez ?	Oui, surtout pour les produits consommés par mes enfants.
Seriez-vous prêt à remplacer le café ou le thé par une autre boisson chaude ?	Peut-être, s'il y a un avantage notable.
Quels sont vos critères d'achat pour du café ou du thé ?	Saveur, arôme, et origine éthique.
Pourriez-vous envisager d'acheter un latte instantané à base de plantes ?	Oui, si le goût est bon.
Avez-vous déjà consommé du moringa ?	Non, mais j'en ai entendu parler.
Êtes-vous prêts à tester un produit innovant ?	Oui, il est ouvert aux nouveautés.
Êtes-vous attirés par l'originalité en termes de produits alimentaires ?	Oui, ça peut être intéressant.
Est-ce que l'esthétique d'un produit influence votre perception ?	Un peu, mais ce n'est pas décisif.
Est-ce que la couleur verte d'une boisson peut vous influencer ?	Non, pas vraiment.
Est-ce que la praticité du produit a de l'importance pour vous ?	Oui, surtout avec deux enfants, la praticité est essentielle.
Est-ce que le packaging est important pour vous ? influence-t-il votre intention d'achat ?	Oui, un packaging attrayant et informatif influence mon achat.
Quel prix seriez-vous prêt à mettre pour une sphère de 30 g correspondant à une boisson de 200 ml ?	2 à 2,50 euros.

<b>Alain, 45 ans Cadre supérieur Divorcé et un enfant adolescent</b>	
<b>Questions posées lors de l'enquête qualitative</b>	<b>Réponses</b>
À côté des repas, quelles boissons chaudes consommez-vous ?	Café espresso.
Quelles sont les dernières boissons chaudes que vous avez achetées ?	Café colombien et capsules de café.
Consommez-vous du café ou du thé ? En quelle quantité ?	Café, environ 5 tasses par jour.
Quel effet recherchez-vous en buvant ces boissons ?	Énergie et vigilance.
Pensez-vous que votre consommation de café ou de thé est adéquate ?	Un peu excessive, peut-être.
Portez-vous une attention particulière au côté santé des produits que vous achetez ?	Oui, surtout pour l'alimentation de mon enfant.
Seriez-vous prêt à remplacer le café ou le thé par une autre boisson chaude ?	Peu probable, j'aime trop le café.
Quels sont vos critères d'achat pour du café ou du thé ?	Qualité, provenance, et intensité.
Pourriez-vous envisager d'acheter un latte instantané à base de plantes ?	Peut-être, si le goût est convaincant.
Avez-vous déjà consommé du moringa ?	Non.
Êtes-vous prêts à tester un produit innovant ?	Oui, si c'est intéressant.
Êtes-vous attirés par l'originalité en termes de produits alimentaires ?	Parfois, selon le produit.
Est-ce que l'esthétique d'un produit influence votre perception ?	Oui, ça joue un rôle.
Est-ce que la couleur verte d'une boisson peut vous influencer ?	Non, la couleur ne me dérange pas.
Est-ce que la praticité du produit a de l'importance pour vous ?	Oui, en raison d'un emploi du temps chargé.
Est-ce que le packaging est important pour vous ? influence-t-il votre intention d'achat ?	Oui, le packaging est important et peut influencer ma décision.
Quel prix seriez-vous prêt à mettre pour une sphère de 30 g correspondant à une boisson de 200 ml ?	3 à 4 euros.

<b>Bénédictte, 55 ans Infirmière Mariée et trois enfants adultes</b>	
<b>Questions posées lors de l'enquête qualitative</b>	<b>Réponses</b>
À côté des repas, quelles boissons chaudes consommez-vous ?	Infusions aux herbes et thé noir.
Quelles sont les dernières boissons chaudes que vous avez achetées ?	Infusion à la menthe et thé Earl Grey.
Consommez-vous du café ou du thé ? En quelle quantité ?	Thé, 3 tasses par jour.
Quel effet recherchez-vous en buvant ces boissons ?	Relaxation et digestion.
Pensez-vous que votre consommation de café ou de thé est adéquate ?	Oui, elle est équilibrée.
Portez-vous une attention particulière au côté santé des produits que vous achetez ?	Oui, beaucoup.
Seriez-vous prêt à remplacer le café ou le thé par une autre boisson chaude ?	Oui, si c'est meilleur pour la santé.
Quels sont vos critères d'achat pour du café ou du thé ?	Bienfaits pour la santé et goût.
Pourriez-vous envisager d'acheter un latte instantané à base de plantes ?	Oui, certainement.
Avez-vous déjà consommé du moringa ?	Oui, occasionnellement.
Êtes-vous prêts à tester un produit innovant ?	Oui, absolument.
Êtes-vous attirés par l'originalité en termes de produits alimentaires ?	Oui, ça m'intéresse.
Est-ce que l'esthétique d'un produit influence votre perception ?	Oui, c'est important.
Est-ce que la couleur verte d'une boisson peut vous influencer ?	Oui, c'est un bon signe pour moi.
Est-ce que la praticité du produit a de l'importance pour vous ?	Oui, surtout après de longues journées de travail.
Est-ce que le packaging est important pour vous ? influence-t-il votre intention d'achat ?	Oui, un packaging clair et pratique est important.
Quel prix seriez-vous prêt à mettre pour une sphère de 30 g correspondant à une boisson de 200 ml ?	2 à 2,50 euros.

## Annexe 15 : Questionnaire enquête quantitative

Bonjour !

Nous sommes deux étudiantes réalisant un master en Management de l'Innovation et Conception des Aliments à l'université de Liège (Gembloux Agro-bio Tech).

Dans le cadre de notre mémoire, nous concevons un produit alimentaire innovant.

Ainsi, nous sollicitons votre aide pour mieux comprendre vos besoins et créer un produit qui vous correspond au maximum.

Merci beaucoup pour votre collaboration !

*Camille et Clémence*

1. Adresse mail : \*

2. Êtes-vous ? \*

- Homme
- Femme
- Autre

3. A quelle tranche d'âge appartenez-vous ? \*

- Moins de 18 ans
- 18 à 25 ans
- 26 à 35 ans
- 36 à 45 ans
- 46 à 55 ans
- 56 à 65 ans
- Plus de 65 ans

4. Quelle est votre situation professionnelle ? \*

- Etudiant
- Doctorant
- Industriel, artisan ou commerçant
- Profession libérale
- Cadre moyen ou supérieur
- Employé
- Ouvrier
- Sans emploi
- Retraité
- Autre

5. Où résidez-vous ? \*

- Région wallonne
- Région flamande
- Région Bruxelles-Capitale
- Autre

6. Quel(s) type(s) de boisson(s) consommez-vous parmi celles-ci et à quelle(s) fréquence(s) ? (Plusieurs cases peuvent être cochées)

	Jamais	Occasionnellement	Tous les jours	Plusieurs fois par jour
Café				
Thé				
Tisane				

Boissons énergisantes				
Thé matcha				
Kombucha				
Chocolat chaud				

7. Si et seulement si vous consommez des boissons de la liste précédente, dans quel(s) but(s) les consommez-vous ? (Plusieurs cases peuvent être cochées)

	Apport d'énergie	Hydratation	Relaxation	Digestion	Moment de détente	Pour le plaisir
Café						
Thé						
Tisane						
Boissons énergisantes						
Thé matcha						
Kombucha						
Chocolat chaud						

8. Si et seulement si vous consommez des boissons de la liste précédente, à quel(s) moment(s) de la journée les consommez-vous ?

	Le matin	L'après-midi	Le soir	Tout au long de la journée	Avant de dormir	Pendant un repas	Après un repas
Café							
Thé							
Tisane							
Boissons énergisantes							
Thé matcha							
Kombucha							
Chocolat chaud							

9. Si et seulement si vous consommez des boissons de la liste précédente, quelle(s) marque(s) achetez-vous ? (Marques par type de produit).

10. Si et seulement si vous consommez des boissons de la liste précédente, lesquelles seriez-vous prêt à remplacer par une alternative ?

	Oui	Non
Café		
Thé		
Tisane		

Boissons énergisantes		
Thé matcha		
Kombucha		
Chocolat chaud		

11. Où achetez-vous ces types de boissons ? \*

- Grandes surfaces
- Magasins bio
- Magasins locaux
- E-commerce
- Autre

12. réalisez-vous vos courses alimentaires sur internet ? \*

- Jamais
- Parfois
- Souvent
- Toujours
- Uniquement pour certains produits

13. Si et seulement si vous consommez du café, pensez-vous que votre consommation est adéquate ?

- Consommation trop élevée
- Consommation élevée
- Consommation moyenne
- Consommation faible
- Consommation trop faible

14. Si et seulement si vous consommez du thé, pensez-vous que votre consommation est adéquate ?

- Consommation trop élevée
- Consommation élevée
- Consommation moyenne
- Consommation faible
- Consommation trop faible

15. Avez-vous déjà entendu parler de la plante de moringa ? \*

- Oui
- Non

16. Si oui, en avez-vous déjà consommé ?

- Oui
- Non

17. Si oui, qu'en avez-vous pensé ? (Réponse longue)

18. Si non, qu'est-ce que cela évoque pour vous ? (Réponse longue)

19. Êtes-vous un consommateur qui aime découvrir de nouveau produit ? \*

- Oui
- Non

20. Le produit innovant que nous concevons dans le cadre de notre mémoire est un latte instantané sous forme de sphère. La coque de chocolat blanc renferme de la poudre de lait et de moringa. Une sphère qui se dissout dans de l'eau chaude correspond à une boisson instantanée prête à être dégustée.

Que pensez-vous du produit innovant ? (Réponse longue) \*



21. Que pensez-vous d'un produit qui a une forme de sphère ? Cela vous semble... \*

- Inhabituel
- Ludique et fun
- Surprenant
- Transformé
- Repoussant
- Autre

22. Que pensez-vous d'un produit qui a une couleur verte ? Cela vous semble... \*

- Inhabituel
- Ludique et fun
- Surprenant
- Transformé
- Repoussant
- Sain
- Autre

23. Que pensez-vous d'un enrobage en chocolat blanc ? \*

- Attirant
- Repoussant
- Gourmand
- Inintéressant
- Autre

24. Est-ce que le produit suscite votre intérêt ? \*

- Oui
- Non

25. Seriez-vous prêt à en consommer régulièrement ? \*

- Oui
- Non

26. Où achèteriez-vous ce produit ? \*

- Grandes surfaces
- Magasin bio
- Magasins locaux
- Parapharmacie

- E-commerce
- Salons de cafés/thés
- Parapharmacie
- Epiceries
- Autre

27. Quel prix seriez-vous prêt à payer pour une sphère de 30 grammes (correspondant à une boisson de 200 ml) ? \*

- 1 à 2 €
- 2 à 3 €
- 3 à 4 €
- > 4 €

28. Dans quel(s) type(s) de conditionnement(s) verriez-vous ce produit ?

- Vrac
- Emballage plastique d'une unité
- Emballage plastique de plusieurs unités
- Boîte en métal
- Boîte en carton
- Autre

29. Combien d'unité(s) verriez-vous dans un conditionnement ?

- Une unité
- Deux unités
- Trois unités
- Quatre unités
- Plus de quatre unités

30. Seriez-vous intéressé à participer à la dégustation de notre latte instantané ? \*

- Oui
- Non

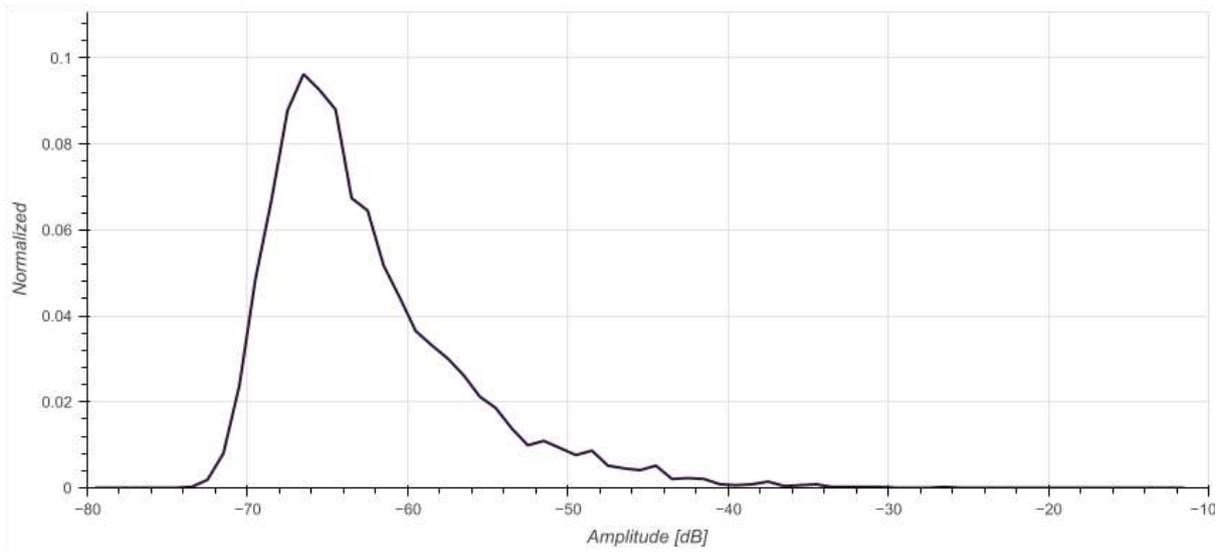
## Annexe 16 : Tableau récapitulatif des packaging envisagés dans le projet transversal

Emballages primaires envisagés	Description et matériaux
<p>Film hydrosoluble alimentaire</p> 	<p>Matériaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- À base de protéine : caséine <ul style="list-style-type: none"> <li>o Caséinate de sodium</li> <li>o Caséinate de calcium</li> </ul> </li> <li>- À base de polysaccharide : alginate</li> </ul> <p>Technique : Enrobage  Dissolution : dans l'eau chaude  Comestible  Protection : contre les chocs mais conservation pas optimale  Fin de vie : Pas de déchet</p>
<p>Sachet contenant plusieurs unités</p> 	<p>Marque : Daklapack  Typologie : Sachet  Couleur : Marron  Matériaux : Papier Kraft /PET/PE  Fermeture : Zip  Contenu : 400 ml</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hauteur : 18 cm</li> <li>- Largeur : 12 cm</li> </ul> <p>Protection : contre l'humidité et la lumière mais moins bonne résistance aux chocs</p>
<p>Boîte métallique</p> 	<p>Typologie : Boîte cylindrique  Matériau : métal (fer blanc)  Dimensions :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hauteur : 16,5 cm</li> <li>- Diamètre : 13,5 cm</li> </ul> <p>Contenance : 500 g  Protection : très bonne protection aux chocs</p>
<p>Coque transportable sur mesure</p> 	<p>Typologie : Coque pour sphère unitaire sur mesure (réalisée par intelligence artificielle)  Matériau : métal (fer blanc)  Dimensions : sur mesure en fonction de la sphère  Protection : très bonne protection aux chocs</p>
<p>Blister</p>	<p>Typologie : Blister  Matériaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Blister (coque thermoformée) : PVC</li> <li>- Opercule : PET / aluminium</li> </ul> <p>Protection : contre l'humidité, la lumière et les chocs</p>

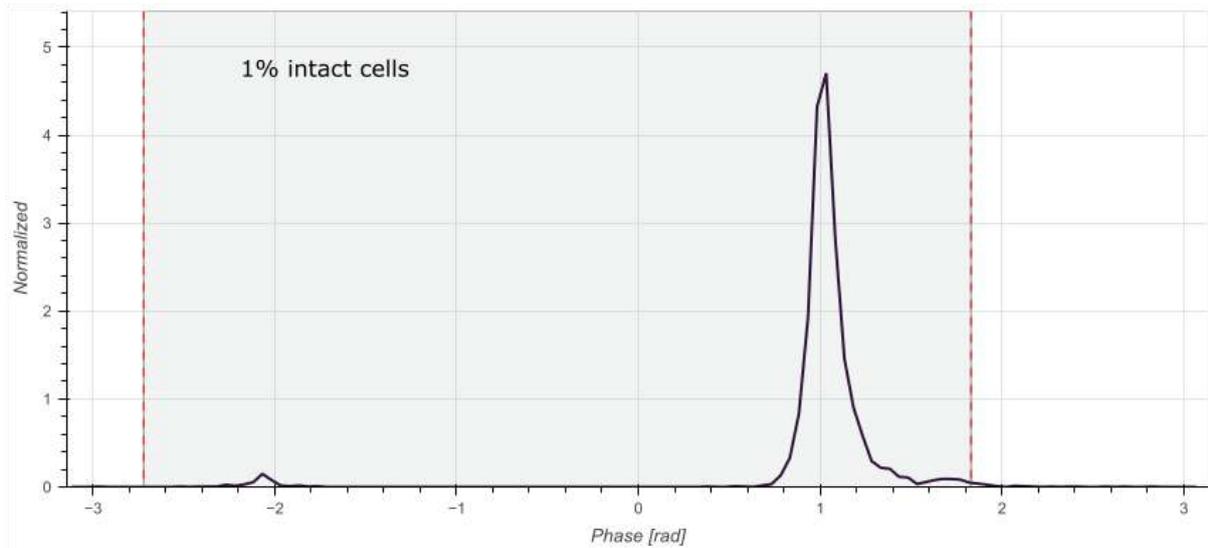
	
<p>Sachet individuel</p> 	<p>Typologie : Sachet unitaire                  Matériau : PE                  Protection : contre l'humidité et la lumière mais moins bonne résistance aux chocs</p>
<p><b>Emballages secondaires envisagés</b></p>	<p><b>Description et matériaux</b></p>
<p>Boîte en carton rectangulaire</p> 	<p>Typologie : boîte rectangulaire avec intercalaires protecteurs                  Matériau : Carton                  Dimensions : à définir au 2<sup>ème</sup> quadrimestre                  Protection contre la lumière et les chocs</p>
<p><b>Emballages tertiaires envisagés</b></p>	<p><b>Description et matériaux</b></p>
<p><b>E-commerce :</b></p> 	<p>Typologie : boîte                  Matériaux : carton                  Dimensions : à adapter en fonction du packaging secondaire qui sera défini au 2<sup>ème</sup> quadrimestre                  Protection lors du transport : contre les chocs, la pluie...</p>
<p><b>Distribution sélective :</b>                  Caisses américaines                  Palette</p>	<p>Dimensions standards :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Caisses américaines (34 x 22 x 14 cm) en carton ondulé et fermeture avec rubans adhésifs                      → Protection contre les chocs</li> <li>- Palette (1200 x 800 x 145 mm) en bois                      → Protection des charges palettisées lors du transport</li> </ul>

## Annexe 17 : Graphes des résultats de microbiologie

Amplitude normalize



Phase normalize





# Références

1. Brennstuhl MJ, Martignon S, Tarquinio C. Diet and mental health : food as a path to happiness ? Nutrition Clinique et Métabolisme. 1 sept 2021;35(3):168-83.
2. Jacka FN, Pasco JA, Mykletun A, Williams LJ, Nicholson GC, Kotowicz MA, et al. Diet quality in bipolar disorder in a population-based sample of women. Journal of Affective Disorders. 1 mars 2011;129(1):332-7.
3. Pestoni G, Riedl A, Breuninger TA, Wawro N, Krieger JP, Meisinger C, et al. Association between dietary patterns and prediabetes, undetected diabetes or clinically diagnosed diabetes: results from the KORA FF4 study. Eur J Nutr. août 2021;60(5):2331-41.
4. Bard JM. Alimentation glucidolipidique et maladies cardio-vasculaires. Actualités Pharmaceutiques. 1 nov 2021;60(610):28-33.
5. OMS. Alimentation saine [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>
6. Inserm [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Nutrition et santé · Inserm, La science pour la santé. Disponible sur: <https://www.inserm.fr/dossier/nutrition-et-sante/>
7. SPF Santé publique [Internet]. 2019 [cité 6 nov 2023]. Recommandations alimentaires pour la population Belge adulte - 2019. Disponible sur: <https://www.health.belgium.be/fr/avis-9284-fbdg-2019>
8. Montesano D, Gallo M. 3.09 - Moringa oleifera, Lycium barbarum: A Perspective on New Sources of Phytochemicals, Lipids and Proteins. In: Ferranti P, éditeur. Sustainable Food Science - A Comprehensive Approach [Internet]. Oxford: Elsevier; 2023 [cité 8 nov 2023]. p. 107-22. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128239605000500>
9. Bougon B. Habiter sa vie au temps de l'accélération. Revue Projet. 2016;355(6):67-73.
10. Drevon B. Accélération. Une critique sociale du temps. Hartmut Rosa Traduction Didier Renault Paris, La Découverte, coll. « Théorie critique », 2013, 480 pages ISBN : 978-2-7071-7709-4. Idées économiques et sociales. 2014;177(3):78-9.
11. Rôle sociétal du café en entreprise [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Disponible sur: [https://www.ifop.com/wp-content/uploads/2018/03/2473-1-study\\_file.pdf](https://www.ifop.com/wp-content/uploads/2018/03/2473-1-study_file.pdf)
12. La «Goutte des Boissons» [Internet]. Food in action. 2019 [cité 9 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.foodinaction.com/la-goutte-des-boissons/>
13. dit TS. La Pyramide Alimentaire 2020: plus équilibrée et plus durable | FoodinAction [Internet]. Food in action. 2020 [cité 9 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.foodinaction.com/pyramide-alimentaire-2020-equilibree-durable/>
14. Fardet A. Halte aux aliments ultra-transformés ! Mangeons vrai. Les 3 règles d'or pour manger sain, éthique et durable. 2017.
15. Enquête de consommation alimentaire 2014-2015 [Internet]. [cité 9 nov 2023]. Disponible sur: [https://www.sciensano.be/sites/default/files/rapport\\_1\\_fr.pdf](https://www.sciensano.be/sites/default/files/rapport_1_fr.pdf)

16. Sarni-Manchado P, Cheynier V. Les polyphénols en agroalimentaire. Éditions Tec & Doc; 2006. 398 p.
17. Pastoriza S, Mesías M, Cabrera C, Rufián-Henares JA. Healthy properties of green and white teas: an update. *Food Funct.* 16 août 2017;8(8):2650-62.
18. Teixeira Oliveira J, Machado da Costa F, Gonçalves da Silva T, Dotto Simões G, dos Santos Pereira E, Quevedo da Costa P, et al. Green tea and kombucha characterization: Phenolic composition, antioxidant capacity and enzymatic inhibition potential. *Food Chemistry.* 15 mai 2023;408:135206.
19. Molecules | Free Full-Text | Health Benefits and Chemical Composition of Matcha Green Tea: A Review [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/1/85>
20. Analyse de la taille et de la part du marché du matcha - Rapport de recherche de l'industrie - Tendances de croissance [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/matcha-market>
21. Devkota HP, Gaire BP, Hori K, Subedi L, Adhikari-Devkota A, Belwal T, et al. The science of matcha: Bioactive compounds, analytical techniques and biological properties. *Trends in Food Science & Technology.* 1 déc 2021;118:735-43.
22. Diez-Ozaeta I, Astiazaran OJ. Recent advances in Kombucha tea: Microbial consortium, chemical parameters, health implications and biocellulose production. *International Journal of Food Microbiology.* 16 sept 2022;377:109783.
23. Kombucha Market Size, Share & Trends Report, 2022-2030 [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/kombucha-market>
24. Heck C i., De Mejia E g. Yerba Mate Tea (*Ilex paraguariensis*): A Comprehensive Review on Chemistry, Health Implications, and Technological Considerations. *Journal of Food Science.* 2007;72(9):R138-51.
25. Gawron-Gzella A, Chanaj-Kaczmarek J, Cielecka-Piontek J. Yerba Mate—A Long but Current History. *Nutrients.* nov 2021;13(11):3706.
26. Berté KAS, Beux MR, Spada PKWDS, Salvador M, Hoffmann-Ribani R. Chemical composition and antioxidant activity of yerba-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil., Aquifoliaceae) extract as obtained by spray drying. *J Agric Food Chem.* 25 mai 2011;59(10):5523-7.
27. Marché du café instantané - Taille, part et entreprises [Internet]. [cité 9 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/instant-coffee-market>
28. Quelle est l'origine du chocolat chaud ? | Leonidas [Internet]. [cité 23 mai 2024]. Disponible sur: [https://www.leonidas.com/be\\_fr/blog/decouvrez-lhistoire-du-chocolat-chaud](https://www.leonidas.com/be_fr/blog/decouvrez-lhistoire-du-chocolat-chaud)
29. Petit A, Karila L, Lejoyeux M. L'abus de boissons énergisantes présente-t-il un risque ? *La Presse Médicale.* 1 mars 2015;44(3):261-70.
30. Zucconi S, Volpato C, Adinolfi F, Gandini E, Gentile E, Loi A, et al. Gathering consumption data on specific consumer groups of energy drinks. *EFSA Supporting Publications.* 2013;10(3):394E.
31. Avis du Conseil Supérieur de la Santé 8622 « boissons énergisantes » (CSS 8622).pdf [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Disponible sur:

- [https://www.health.belgium.be/sites/default/files/uploads/fields/fpshealth\\_theme\\_file/17982877/Boissons%20%C3%A9nergisantes%20%28d%C3%A9cembre%202009%29%20%28CSS%208622%29.pdf](https://www.health.belgium.be/sites/default/files/uploads/fields/fpshealth_theme_file/17982877/Boissons%20%C3%A9nergisantes%20%28d%C3%A9cembre%202009%29%20%28CSS%208622%29.pdf)
32. Pound CM, Blair B, Société canadienne de pédiatrie comité de nutrition et de gastroentérologie Ottawa (Ontario). Les boissons pour sportifs et les boissons énergisantes chez les enfants et les adolescents. *Paediatrics & Child Health*. 1 oct 2017;22(7):411-5.
  33. Barrense-Dias Y, Suris JC. Les boissons énergisantes et les jeunes : un point sur leur consommation [Internet]. Polyclinique médicale universitaire, Unisanté; 2020 [cité 6 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.unisante.ch/fr/formation-recherche/recherche/publications/raisons-sante/raisons-sante-311>
  34. Le Soir [Internet]. 2021 [cité 15 nov 2023]. Une proposition de loi pour limiter la vente de boissons énergisantes aux moins de 16 ans. Disponible sur: <https://www.lesoir.be/399870/article/2021-10-11/une-proposition-de-loi-pour-limiter-la-vente-de-boissons-energisantes-aux-moins>
  35. Vandevijvere S, Pedroni C, De Ridder K, Castetbon K. The Cost of Diets According to Their Caloric Share of Ultraprocessed and Minimally Processed Foods in Belgium. *Nutrients*. sept 2020;12(9):2787.
  36. Monteiro CA, Cannon G, Moubarac JC, Levy RB, Louzada MLC, Jaime PC. The UN Decade of Nutrition, the NOVA food classification and the trouble with ultra-processing. *Public Health Nutr*. janv 2018;21(1):5-17.
  37. (PDF) La classification NOVA des aliments selon leur degré de transformation : définition, impacts santé et applications [Internet]. [cité 9 nov 2023]. Disponible sur: [https://www.researchgate.net/publication/323186976\\_La\\_classification\\_NOVA\\_des\\_aliments\\_selon\\_leur\\_degre\\_de\\_transformation\\_definition\\_impacts\\_sante\\_et\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/323186976_La_classification_NOVA_des_aliments_selon_leur_degre_de_transformation_definition_impacts_sante_et_applications)
  38. Vandevijvere S, De Ridder K, Fiolet T, Bel S, Tafforeau J. Consumption of ultra-processed food products and diet quality among children, adolescents and adults in Belgium. *Eur J Nutr*. 1 déc 2019;58(8):3267-78.
  39. Kochman J, Jakubczyk K, Antoniewicz J, Mruk H, Janda K. Health Benefits and Chemical Composition of Matcha Green Tea: A Review. *Molecules*. janv 2021;26(1):85.
  40. Red Bull | Red Bull Energy Drink 6-Pack 250 ml |Boisson énergétique|Regular 6x250ml | 6 x 25 cl | Delhaize [Internet]. [cité 9 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.delhaize.be/fr/shop/Boissons-bieres-et-alcools/Sodas/Boissons-sportives-et-energisantes/Boissons-energisantes/Red-Bull-Energy-Drink-6-Pack-250-ml-Boisson-energetique-Regular-6x250ml/p/S2016122803194050094>
  41. A review of caffeine's effects on cognitive, physical and occupational performance - ScienceDirect [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0149763416300690>
  42. Évaluation des risques liés à la consommation de boissons dites « énergisantes » par l'ANSES [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012sa0212.pdf>
  43. Kim Y, Je Y, Giovannucci E. Coffee consumption and all-cause and cause-specific mortality: a meta-analysis by potential modifiers. *Eur J Epidemiol*. 1 août 2019;34(8):731-52.

44. Nawrot P, Jordan S, Eastwood J, Rotstein J, Hugenholtz A, Feeley M. Effects of caffeine on human health. *Food Additives & Contaminants*. 1 janv 2003;20(1):1-30.
45. Clinique possible d'une addiction à la caféine à partir de l'observation de 52 sujets et d'une revue de la littérature - ScienceDirect [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003448710002222>
46. Clauson KA, Shields KM, McQueen CE, Persad N. Safety issues associated with commercially available energy drinks. *Journal of the American Pharmacists Association*. 1 mai 2008;48(3):e55-67.
47. Institut national de santé publique du Québec [Internet]. [cité 6 nov 2023]. La taurine et les boissons énergisantes | INSPQ. Disponible sur: <https://www.inspq.qc.ca/toxicologie-clinique/la-aurine-et-les-boissons-energisantes>
48. The use of taurine and D-glucurono-gamma-lactone as constituents of the so-called "energy" drinks | EFSA [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/935>
49. Café soluble: guide complet sur le café instantané (ou lyophilisé) [Internet]. [cité 9 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.maisonducafe.com/cafes/soluble/>
50. NESCAFÉ Sélection, Café Soluble - 50 g [Internet]. 2013 [cité 9 nov 2023]. Disponible sur: <https://fr.openfoodfacts.org/produit/3033710075232/nescafe-selection-cafe-soluble>
51. Fabrication De Café Soluble - Particularités [Internet]. 2023 [cité 9 nov 2023]. Disponible sur: <https://cafeambiance.fr/cafe/fabrication-cafe-soluble/>
52. uppercreditfieldnaturalists [Internet]. [cité 9 nov 2023]. Comment le café instantané est-il fabriqué? » - Science - 2023. Disponible sur: <https://fr1.uppercreditfieldnaturalists.org/instant-coffee-manufactured-448>
53. Comment le café instantané pur NESCAFÉ est-il produit ? | Nescafé FR [Internet]. [cité 9 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.nescafe.com/fr/culture-du-cafe/connaissance-du-cafe/cafe-soluble-pur>
54. Arrêté royal relatif à la production et la mise sur le marché du lait de consommation et des produits à base de lait [Internet]. [cité 9 nov 2023]. Disponible sur: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/bel26666.pdf>
55. Industrie laitière | Statbel [Internet]. [cité 10 nov 2023]. Disponible sur: <https://statbel.fgov.be/fr/themes/agriculture-peche/industrie-laitiere>
56. Lapointe-Vignola C, Québec F de technologie laitière du. *Science et technologie du lait: transformation du lait*. Presses inter Polytechnique; 2002. 628 p.
57. Vuilleumard JC. *Science et technologie du lait*. 3e édition. Presses de l'Université Laval; 2018. 546 p.
58. Ciqual [Internet]. [cité 9 nov 2023]. Disponible sur: <https://ciqual.anses.fr/>
59. La production laitière et les produits laitiers: Conservation du lait [Internet]. [cité 9 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.fao.org/dairy-production-products/processing/milk-preservation/fr/>

60. 2017\_Technologie\_Laitiere\_Serie\_9.pdf [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Disponible sur: [https://eda.euromilk.org/fileadmin/user\\_upload/Public\\_Documents/EDA\\_Position\\_papers\\_-\\_Fact\\_Sheets/Other\\_Fact\\_Sheets/2017\\_Technologie\\_Laitiere\\_Serie\\_9.pdf](https://eda.euromilk.org/fileadmin/user_upload/Public_Documents/EDA_Position_papers_-_Fact_Sheets/Other_Fact_Sheets/2017_Technologie_Laitiere_Serie_9.pdf)
61. A Systematic Review and Meta-Analysis of the Effects of Pasteurization on Milk Vitamins, and Evidence for Raw Milk Consumption and Other Health-Related Outcomes - ScienceDirect [Internet]. [cité 10 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0362028X22128449?via%3Dihub>
62. A propos du lait cru - Filière Wallone du lait et produits laitiers [Internet]. [cité 10 nov 2023]. Disponible sur: <https://agriculture.wallonie.be/documents/20182/21894/A-propos-du-lait-cru.pdf/a4428a60-a322-4cd2-977f-75b8f5d8a397>
63. Oyeyinka AT, Oyeyinka SA. Moringa oleifera as a food fortificant: Recent trends and prospects. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 1 avr 2018;17(2):127-36.
64. Moringa oleifera Lam. Reseda, horseradish tree. Moringaceae. Horseradish tree family. USDA Forest Service, International Institute of Tropical Forestry; (SO-ITF-SM; 61) [Internet]. 1993 [cité 6 nov 2023]; Disponible sur: <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/30357>
65. Gopalakrishnan L, Doriya K, Kumar DS. Moringa oleifera: A review on nutritive importance and its medicinal application. *Food Science and Human Wellness*. 1 juin 2016;5(2):49-56.
66. Moringa Ingredients Market Size Report, 2020-2028 [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/moringa-ingredients-market>
67. Aslam M, Farooq Anwar, Raziya Nadeem, Umer Rashid, T. G. Kazi, M. Nadeem. Mineral Composition of Moringa oleifera Leaves and Pods from Different Regions of Punjab, Pakistan. *Asian Journal of Plant Sciences*. 4(4):417-21.
68. Mahour P kumar, lal AB, khare A, Chauhan DS. Preparation and optimization of moringa leaf powder for edible purpose. *Journal of the Indian Chemical Society*. 1 mars 2022;99(3):100377.
69. William J, Nasare L, Tom-Dery D, Kwame OB, Kwami B. Nutrient composition of Moringa oleifera leaves from two agro ecological zones in Ghana. *African Journal of Plant Science*. 31 janv 2014;8:65-71.
70. Frontiers | The Future of Moringa Foods: A Food Chemistry Perspective [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2021.751076/full#B15>
71. de Saint Sauveur A. Produire et transformer les feuilles de moringa [Internet]. 2014 [cité 3 nov 2023]. Disponible sur: [https://issuu.com/drumstickmoringa/docs/produire\\_et\\_transformer\\_les\\_feuille](https://issuu.com/drumstickmoringa/docs/produire_et_transformer_les_feuille)
72. Sultana S. Nutritional and functional properties of Moringa oleifera. *Metabol Open*. 9 oct 2020;8:100061.
73. González-Romero J, Guerra-Hernández EJ, Rodríguez-Pérez C. Chapter 19 - Bioactive compounds from Moringa oleifera as promising protectors of in vivo inflammation and oxidative stress processes. In: Hernández-Ledesma B, Martínez-Villaluenga C, éditeurs. *Current Advances for Development of Functional Foods Modulating Inflammation and Oxidative Stress* [Internet]. Academic Press; 2022 [cité 6 nov 2023]. p. 379-99. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012823482200011X>

74. Jagadeesan S, Sarangharaajan A, Ravikumar N, Palani K, Ramanathan M. Development of 'ready to use' value added products from Moringa Leaves. *International Journal of Food Science and Nutrition*.
75. Jongrungruangchok S, Bunrathep S, Songsak T. Nutrients and minerals content of eleven different samples of Moringa oleifera cultivated in Thailand. *J Health Res*. 1 janv 2010;24:123-7.
76. CSS. Avis 9285 - Recommandations nutritionnelles pour la Belgique - 2016 | SPF Santé publique [Internet]. 2016 [cité 31 janv 2023]. Disponible sur: [https://www.health.belgium.be/fr/avis-9285-recommandations-nutritionnelles-pour-la-belgique-2016?fbclid=IwAR1N0\\_ErvpXi79CXdkjqDvxqnTcbVUcxxAf2Rr5tWL2TKhD7Kw8183qMCeI](https://www.health.belgium.be/fr/avis-9285-recommandations-nutritionnelles-pour-la-belgique-2016?fbclid=IwAR1N0_ErvpXi79CXdkjqDvxqnTcbVUcxxAf2Rr5tWL2TKhD7Kw8183qMCeI)
77. Micro- and Macroelemental Composition and Safety Evaluation of the Nutraceutical Moringa oleifera Leaves [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.hindawi.com/journals/jt/2014/786979/>
78. Nutritional Quality of Edible Parts of Moringa oleifera | SpringerLink [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Disponible sur: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12161-009-9106-z>
79. Larousse É. Définitions : superaliment - Dictionnaire de français Larousse [Internet]. [cité 11 janv 2024]. Disponible sur: <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/superaliment/188388>
80. Natura Force [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Les super aliments « superfood », qu'est ce que c'est? Disponible sur: <https://www.naturaforce.com/les-super-aliments/>
81. Le Guide des superaliments : leurs bienfaits en nutrition santé [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.compagnie-des-sens.fr/superaliments/>
82. SPF Santé publique [Internet]. 2016 [cité 6 nov 2023]. Nouvelle réglementation sur les nouveaux aliments, appelés aussi 'novel foods' : quels sont les principaux changements attendus dans les années à venir? Disponible sur: <https://www.health.belgium.be/fr/news/nouvelle-reglementation-sur-les-nouveaux-aliments-appelles-aussi-novel-foods-quels-sont-les>
83. Base de données du Portail d'information sur les denrées alimentaires et les aliments pour animaux | FIP [Internet]. [cité 23 nov 2023]. Disponible sur: <https://ec.europa.eu/food/food-feed-portal/screen/novel-food-catalogue/search>
84. Composition nutritionnelle des feuilles de Moringa oleifera.pdf [Internet]. [cité 30 déc 2023]. Disponible sur: [https://doc-developpement-durable.org/file/Culture/Plantes-Medicinales-Aromatiques/FICHES\\_PLANTES/Moringa%20oleifera/Composition%20nutritionnelle%20des%20feuilles%20de%20Moringa%20oleifera.pdf](https://doc-developpement-durable.org/file/Culture/Plantes-Medicinales-Aromatiques/FICHES_PLANTES/Moringa%20oleifera/Composition%20nutritionnelle%20des%20feuilles%20de%20Moringa%20oleifera.pdf)
85. HIV/AIDS JUNP on. 2008 Report on the Global AIDS Epidemic. World Health Organization; 2008. 360 p.
86. Sztam KA, Fawzi WW, Duggan C. Macronutrient Supplementation and Food Prices in HIV Treatment. *J Nutr*. janv 2010;140(1):213S-223S.
87. Phytotherapy Research | Medicinal Chemistry Journal | Wiley Online Library [Internet]. [cité 6 nov 2023]. Disponible sur: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ptr.5325>
88. Stohs SJ, Hartman MJ. Review of the Safety and Efficacy of Moringa oleifera. *Phytotherapy Research*. 2015;29(6):796-804.

89. Rode SB, Dadmal A, Salankar HV. Nature's Gold (Moringa Oleifera): Miracle Properties. *Cureus*. 14(7):e26640.
90. Aderinola TA, Fagbemi TN, Enujiugha VN, Alashi AM, Aluko RE. Amino acid composition and antioxidant properties of Moringa oleifera seed protein isolate and enzymatic hydrolysates. *Heliyon*. 1 oct 2018;4(10):e00877.
91. Tetteh ONA, Ulrichs C, Huyskens-Keil S, Mewis I, Amaglo NK, Oduro IN, et al. Effects of harvest techniques and drying methods on the stability of glucosinolates in Moringa oleifera leaves during post-harvest. *Scientia Horticulturae*. 27 févr 2019;246:998-1004.
92. Olabode Z, Akanbi C, Olunlade B, Adeola A. Effects of Drying Temperature on the Nutrients of Moringa (Moringa oleifera) Leaves and Sensory Attributes of Dried Leaves Infusion. *Direct Journal of Agriculture and Food Science*. 1 mai 2015;3:117-22.
93. Saini RK, Shetty NP, Prakash M, Giridhar P. Effect of dehydration methods on retention of carotenoids, tocopherols, ascorbic acid and antioxidant activity in Moringa oleifera leaves and preparation of a RTE product. *J Food Sci Technol*. 1 sept 2014;51(9):2176-82.
94. Mada S. Effect of Boiling, Simmering and Blanching on the Antinutritional Content of Moringa oleifera Leaves. *International Journal of Food Nutrition and Safety*. 1 janv 2012;
95. Gernah D, Ega B, Umoh U. ©2012 Academic Journals Effect of boiling time on the quality of « Zogale »: A snack food produced from peanut (Arachis hypogea) cake and boiled Moringa oleifera leaves. *African Journal of Food Science*. 14 mai 2012;6:287-93.
96. Laryea D, Barimah J, Yanney P, Quarcoo C. Effect of Drying Methods on Phytochemicals, Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of Dandelion Leaves. 1 janv 2017;5.
97. Kasunmala IGG, Navarathne SB, Wickramasinghe I. Effect of Drying Methods on Antioxidant Activity of Syzygium Caryophyllatum (L.) Fruit Pulp. *International Journal of Fruit Science*. 1 janv 2021;21(1):634-44.
98. Marques LG, Prado MM, Freire JT. Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. *LWT - Food Science and Technology*. 1 sept 2009;42(7):1232-7.
99. Silva S, Almeida F, Gomes J, Santos N, Gomes D, Barros S, et al. Preservation of the Moringa oleifera Constituents by Freeze-drying. *International Journal of Plant & Soil Science*. 17 mai 2019;1-6.
100. Shofian NM, Hamid AA, Osman A, Saari N, Anwar F, Dek MSP, et al. Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits. *Int J Mol Sci*. 2011;12(7):4678-92.
101. Science behind the quality and taste of Belgian chocolates [Internet]. 2019 [cité 28 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=Wz9njNnipuE>
102. Directive 2000/36/EC of the European Parliament and of the Council of 23 June 2000 relating to cocoa and chocolate products intended for human consumption [Internet]. OJ L juin 23, 2000. Disponible sur: <http://data.europa.eu/eli/dir/2000/36/oj/eng>
103. Mehdi. Tempéage du chocolat : LE dossier pour tout comprendre [Internet]. The French Pâtissier. 2020 [cité 28 avr 2024]. Disponible sur: <https://thefrenchpatissier.com/temperage-chocolat-pourquoi-comment/>

104. Tempéragé du chocolat - Comment et pourquoi tempérer ? [Internet]. 2018 [cité 28 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.encoreungateau.com/temperage-chocolat/>
105. Phase behavior and extended phase scheme of static cocoa butter investigated with real-time X-ray powder diffraction - Malssen - 1999 - Journal of the American Oil Chemists' Society - Wiley Online Library [Internet]. [cité 28 avr 2024]. Disponible sur: <https://aocs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1007/s11746-999-0158-4>
106. @NatGeoFrance. National Geographic. 2024 [cité 28 avr 2024]. Le chocolat est-il vraiment bon pour la santé ? Disponible sur: <https://www.nationalgeographic.fr/sciences/fact-checking-le-chocolat-est-il-vraiment-bon-pour-la-sante>
107. Changes in the color of white chocolate during storage: potential roles of lipid oxidation and non-enzymatic browning reactions | Journal of Food Science and Technology [Internet]. [cité 23 mai 2024]. Disponible sur: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-010-0207-x>
108. 11 questions / réponses sur le chocolat - Puratos [Internet]. [cité 23 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.puratos.fr/fr/blog/11-questions-reponses-sur-le-chocolat>
109. Veliche [Internet]. [cité 28 avr 2024]. Obsession 30. Disponible sur: <https://www.veliche.com/fr/products/obsession-30>
110. Techniques de l'Ingénieur [Internet]. [cité 11 nov 2023]. Caractérisation et analyse des poudres. Disponible sur: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agroth2/formulation-procedes-et-caracterisation-des-produits-42718210/caracterisation-et-analyse-des-poudres-j2251/>
111. Les 7 propriétés des poudres que vous devez connaître [Internet]. [cité 11 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.palamaticprocess.fr/blog/les-7-proprietes-des-poudres-que-vous-devez-connaître>
112. Fournaise T, Petit J, Gaiani C. Main powder physicochemical characteristics influencing their reconstitution behavior. *Powder Technology*. 1 mai 2021;383:65-73.
113. Romain J, Thomas C, Michel M, Pierre S, Gérard B. *Les produits laitiers* (2e ed.). Lavoisier; 2008. 201 p.
114. Gaiani C, Boyanova P, Hussain R, Murrieta Pazos I, Karam MC, Burgain J, et al. Morphological descriptors and colour as a tool to better understand rehydration properties of dairy powders. *International Dairy Journal*. 1 juill 2011;21(7):462-9.
115. Mitchell WR, Forny L, Althaus TO, Niederreiter G, Palzer S, Hounslow MJ, et al. Mapping the rate-limiting regimes of food powder reconstitution in a standard mixing vessel. *Powder Technology*. 1 janv 2015;270:520-7.
116. Techniques de l'Ingénieur [Internet]. [cité 28 avr 2024]. Mise en œuvre des poudres. Disponible sur: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agroth2/formulation-procedes-et-caracterisation-des-produits-42718210/mise-en-uvre-des-poudres-j2247/>
117. Science Des Aliments [Internet]. [cité 15 nov 2023]. Disponible sur: <http://archive.org/details/science-des-aliments>
118. Workbook AE. What is Freeze Dryer? Working Principle, Construction, Diagram, Advantages, Disadvantages & Applications [Internet]. *ElectricalWorkbook*. 2022 [cité 12 nov 2023]. Disponible sur: <https://electricalworkbook.com/freeze-dryer/>

119. Ward KR, Matejtschuk P. The Principles of Freeze-Drying and Application of Analytical Technologies. In: Wolkers WF, Oldenhof H, éditeurs. Cryopreservation and Freeze-Drying Protocols [Internet]. New York, NY: Springer US; 2021 [cité 7 nov 2023]. p. 99-127. (Methods in Molecular Biology). Disponible sur: [https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0783-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0783-1_3)
120. Compactage alimentaire – Compacter les aliments – Compacteur [Internet]. Société Vernier. [cité 12 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.stevernier.fr/compactage-alimentaire-compacter-les-aliments/>
121. Propriétés de compaction granulaire et d'écoulement des poudres : une approche énergétique - Communication scientifique - INRS [Internet]. [cité 12 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.inrs.fr/inrs/recherche/etudes-publications-communications/doc/communication.html?refINRS=ET2019-004/C2021-054>
122. Compactage d'additifs [Internet]. [cité 12 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.polytechs.fr/>
123. Kadiri MS. Compression de poudres pharmaceutiques et interaction avec l'outillage. Analyse expérimentale et modélisation numérique.
124. Ku Q, Zhao J, Mollon G, Zhao S. Compaction of highly deformable cohesive granular powders. Powder Technology. 1 mai 2023;421:118455.
125. Cocks ACF. Mechanics of Powder Compaction. In: Brewin PR, Coube O, Doremus P, Tweed JH, éditeurs. Modelling of Powder Die Compaction [Internet]. London: Springer; 2008 [cité 12 nov 2023]. p. 31-42. (Engineering Materials and Processes). Disponible sur: [https://doi.org/10.1007/978-1-84628-099-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-84628-099-3_3)
126. William Callister. Materials Science And Engineering 8th Edition William Callister [Internet]. [cité 12 nov 2023]. Disponible sur: <http://archive.org/details/materialsscienceandengineering8theditionwilliamcallister>
127. roquette-pharma-oral-dosage-brochure-binder-solutions.pdf [Internet]. [cité 16 nov 2023]. Disponible sur: <https://fr.roquette.com/-/media/roquette-sharepoint-libraries/marcomonline---pharma/roquette-pharma-oral-dosage-brochure-binder-solutions.pdf>
128. Les procédés d'enrobage - Génie Alimentaire [Internet]. [cité 15 nov 2023]. Disponible sur: <https://genie-alimentaire.com/spip.php?article329>
129. Encapsulation in the Food Industry: A Brief Historical Overview to Recent Developments [Internet]. [cité 15 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=100952>
130. Laboulfie F. Dépôt en couche mince d'un multi-matériau à la surface de particules solides : application à l'enrobage de particules alimentaires.
131. Préparation et caractérisation d'un biofilm comestible à base de gomme de caroube [Internet]. [cité 15 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.univ-tissemsilt.dz/dspace/bitstream/handle/123456789/2354/MM572-034.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
132. Jayaraj JJ, Chandrasekaran DrM, R B D, Govindaraj M, Britto G. A Brief Review on Edible Food Packaging Materials. 30 juin 2017;
133. State of Innovation in Alginate-Based Materials - PMC [Internet]. [cité 10 déc 2023]. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10302983/>

134. General Food Law [Internet]. [cité 5 déc 2023]. Disponible sur: [https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/general-food-law\\_en](https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/general-food-law_en)
135. Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire [Internet]. [cité 5 déc 2023]. La réglementation sur l'hygiène des aliments. Disponible sur: <https://agriculture.gouv.fr/la-reglementation-sur-lhygiene-des-aliments>
136. Béatrice DR. Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires (4e ed.). Lavoisier; 2009. 739 p.
137. Deepika G, Cp V, Rv S, Reddy. P VK. Influence of different drying methods and packaging material on the quality of moringa leaf powder. 1 janv 2021;410-4.
138. AFSCA - Guide d'autocontrôle pour la production et la vente de produits laitiers à la ferme [Internet]. [cité 5 déc 2023]. Disponible sur: <https://www.favv-afscab.be/autocontrole-fr/guides/distribution/g034/>
139. Règlement (CE) no 2073/2005 de la Commission du 15 novembre 2005 concernant les critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE) Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE [Internet]. mars 8, 2020. Disponible sur: <http://data.europa.eu/eli/reg/2005/2073/2020-03-08/fra>
140. RÈGLEMENT (UE) 2023/915 DE LA COMMISSION du 25 avril 2023 concernant les teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires et abrogeant le règlement (CE) no 1881/2006 [Internet]. [cité 23 déc 2023]. Disponible sur: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32023R0915&qid=1699957889085&fbclid=IwAR09tvrYQCQ4S97W52OWwxtD9sJuZZG3GZEg0mkfQAM9Hf8pdy4so2PQaY>
141. Moringa | FAO | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture [Internet]. [cité 5 déc 2023]. Disponible sur: <https://www.fao.org/traditional-crops/moringa/fr/>
142. France O. Tout comprendre sur l'empreinte carbone pour réduire notre impact sur le climat [Internet]. Oxfam France. 2021 [cité 5 déc 2023]. Disponible sur: <https://www.oxfamfrance.org/climat-et-energie/lempreinte-carbone-en-cinq-questions/>
143. Climate Change & the Carbon Footprint - Global Footprint Network [Internet]. [cité 5 déc 2023]. Disponible sur: <https://www.footprintnetwork.org/our-work/climate-change/>
144. Actu-Environnement [Internet]. Actu-environnement; 2015 [cité 5 déc 2023]. Les importations représentent près de la moitié des émissions de CO2 françaises. Disponible sur: <https://www.actu-environnement.com/ae/news/empreinte-carbone-france-hausse-emissions-co2-25628.php4>
145. Quel est l'impact du moringa sur le marché mondial ? - Primo Moringa [Internet]. 2023 [cité 5 déc 2023]. Disponible sur: <https://primo-moringa.com/impact-du-moringa-sur-le-marche-mondial/>
146. Fondation GoodPlanet [Internet]. [cité 5 déc 2023]. Développement d'une filière durable de moringa. Disponible sur: <https://www.goodplanet.org/fr/projet/agriculture-foresterie-durable/developpement-dune-filiere-durable-de-moringa/>
147. @NatGeoFrance. National Geographic. 2018 [cité 3 mai 2024]. Les cultures de cacao aggravent le phénomène de déforestation en Afrique. Disponible sur: <https://www.nationalgeographic.fr/environnement/les-cultures-de-cacao-aggravent-le-phenomene-de-deforestation-en-afrique>

148. Pourquoi le chocolat a-t-il un fort impact environnemental ? [Internet]. [cité 3 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.terrafutura.info/le-chocolat-un-fort-impact-environnemental/>
149. Pour la Solidarité [Internet]. 2015 [cité 5 déc 2023]. Les circuits courts alimentaires : enjeux économiques et perspectives pour les territoires. Disponible sur: <https://www.pourlasolidarite.eu/fr/publication/les-circuits-courts-alimentaires-enjeux-economiques-et-perspectives-pour-les-territoires>
150. Robert C, Vaysse C, Michalski MC. Les lécithines végétales : quels impacts métaboliques en tant qu'ingrédients ? Cahiers de Nutrition et de Diététique. 1 déc 2021;56(6):360-7.
151. EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS), Mortensen A, Aguilar F, Crebelli R, Di Domenico A, Frutos MJ, et al. Re-evaluation of lecithins (E 322) as a food additive. EFSA Journal. 2017;15(4):e04742.
152. Nutri-Score | SPF Santé publique [Internet]. [cité 23 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.health.belgium.be/fr/le-nutri-score>
153. 14:00-17:00. ISO. [cité 9 juin 2024]. ISO 5492:2008. Disponible sur: <https://www.iso.org/fr/standard/38051.html>
154. Food Texture and Viscosity | ScienceDirect [Internet]. [cité 25 juin 2024]. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/book/9780121190620/food-texture-and-viscosity>
155. Structure – Properties (Rheology, Texture and Melting) Relationships in Chocolate Manufacture. In: Chocolate Science and Technology [Internet]. John Wiley & Sons, Ltd; 2010 [cité 25 juin 2024]. p. 101-54. Disponible sur: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781444319880.ch7>
156. Principles of Food Chemistry | SpringerLink [Internet]. [cité 9 juin 2024]. Disponible sur: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-63607-8>
157. Potter NN, Hotchkiss JH. Food Science [Internet]. Boston, MA: Springer US; 1995 [cité 9 juin 2024]. (Heldman DR. Food Science Text Series). Disponible sur: <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4615-4985-7>
158. François S. Les caractéristiques d'une réponse sensorielle. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement. 1 janv 2001;5.
159. Analyse élémentaire, la méthode Dumas, Les analyseurs Dumas VELP [Internet]. [cité 28 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.velp.com/fr-ww/analyse-elementaire-la-methode-dumas-1.aspx>
160. Granulométrie Laser | Malvern Panalytical [Internet]. [cité 28 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.malvernpanalytical.com/fr/products/technology/light-scattering/laser-diffraction>
161. Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on food additives (Text with EEA relevance) [Internet]. OJ L déc 16, 2008. Disponible sur: <http://data.europa.eu/eli/reg/2008/1333/oj/eng>
162. Meyer C, Duteurtre G. Equivalents lait et rendements en produits laitiers : modes de calculs et utilisation. Rev Elev Med vét Pays trop. 1998;51(3):247-57.
163. Ndong M, Wade S, Idohou-Dossou N, Guiro A, Gning R. Valeur Nutritionnelle du Moringa Oleifera, Étude de la Biodisponibilité du fer, Effet de L'enrichissement de Divers Plats Traditionnels

- Sénégalais Avec la Poudre des Feuilles. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* (ISSN: 1684-5358) Vol 7 Num 3. 28 mai 2007;7.
164. Pugliese A, Cabassi G, Chiavaro E, Paciulli M, Carini E, Mucchetti G. Physical characterization of whole and skim dried milk powders. *J Food Sci Technol*. 1 oct 2017;54(11):3433-42.
165. www.farmaline.be. Purasana® Poudre de Moringa 200 g - farmaline.be [Internet]. [cité 28 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.farmaline.be/fr/alimentation/BE03720398/purasana-moringa-poeder.htm>
166. *Chocolate Science and Technology* | Wiley Online Books [Internet]. [cité 25 juin 2024]. Disponible sur: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781444319880>
167. *Water Activity in Foods* | Wiley Online Books [Internet]. [cité 25 juin 2024]. Disponible sur: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470376454>
168. Ataman Kimya [Internet]. [cité 9 juin 2024]. MALTODEXTRINE. Disponible sur: [https://www.atamanchemicals.com/maltodextrin\\_u24968/?lang=FR](https://www.atamanchemicals.com/maltodextrin_u24968/?lang=FR)
169. Aguilera JoséM, del Valle JoséM, Karel M. Caking phenomena in amorphous food powders. *Trends in Food Science & Technology*. 1 mai 1995;6(5):149-55.
170. Élaboration d'un Enrobage à Base de Protéines Laitières et de Soja Empêchant la Diffusion D'huile dans les Aliments - ProQuest [Internet]. [cité 24 juin 2024]. Disponible sur: <https://www.proquest.com/openview/54fd46de0b964389e56051afba2fd85/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
171. Bertelsen CV. Screening of Bacteria using Impedance Flow Cytometry.
172. Oxidation stability of oils and fats – Rancimat method [Internet]. [cité 22 juin 2024]. Disponible sur: <https://www.metrohm.com/en/applications/ab-application-bulletins/ab-204.html>
173. Talbot G. 16 - The Stability and Shelf Life of Fats and Oils. In: Subramaniam P, éditeur. *The Stability and Shelf Life of Food* (Second Edition) [Internet]. Woodhead Publishing; 2016 [cité 22 juin 2024]. p. 461-503. (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition). Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081004357000162>
174. Sarpong F, Dery EK, Asiamah E, Darfour EK, Oduro-Yeboah C, Amisah PA, et al. Oxidative Stability Mechanism of Coconut Oil as Substitute to Cocoa Butter in Chocolate. *Journal of Culinary Science & Technology*. 2022;0(0):1-15.
175. Kotler P, Keller K, Manceau D. *Marketing Management*. Pearson; 2012. 888 p.
176. Lebacqz. sciensano.be. WIV-ISP; 2015 [cité 26 nov 2023]. Enquête de consommation alimentaire 2014-2015. Rapport 1: habitudes alimentaires, anthropométrie et politiques nutritionnelles. Disponible sur: <https://www.sciensano.be/fr/biblio/enquete-de-consommation-alimentaire-2014-2015-rapport-1-habitudes-alimentaires-anthropometrie-et>
177. Marché européen du thé - Taille et part [Internet]. [cité 4 déc 2023]. Disponible sur: <https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/europe-tea-market>
178. Part de marché, taille, tendances et analyse de l'industrie du café [Internet]. [cité 4 déc 2023]. Disponible sur: <https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/coffee-market>

179. Analyse de la taille et de la part du marché européen des boissons énergisantes - Rapport de recherche de l'industrie - Tendances de croissance [Internet]. [cité 4 déc 2023]. Disponible sur: <https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/europe-energy-drink-market>
180. Lipika C. Analyse du marketing-mix du produit « source eau Mayo »: In: Revue Congolaise de Gestion [Internet]. 2011 [cité 10 mai 2024]. p. 35-56. Disponible sur: <https://www.cairn.info/revue-congolaise-de-gestion-2011-2-page-35.htm?ref=doi>
181. Asana. Asana. [cité 17 juin 2024]. Carte d'empathie : la solution pour mieux comprendre vos clients [modèle gratuit] [2024] • Asana. Disponible sur: <https://asana.com/fr/resources/empathy-map-template>
182. Joyce A, Paquin RL. The triple layered business model canvas: A tool to design more sustainable business models. *Journal of Cleaner Production*. 1 nov 2016;135:1474-86.
183. PDF.pdf [Internet]. [cité 28 avr 2024]. Disponible sur: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008R1333-20140414>
184. Choix de l'emballage : Dossier complet | Techniques de l'Ingénieur [Internet]. [cité 4 janv 2024]. Disponible sur: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-emballages-tiage/archive-1/choix-de-l-emballage-a9750/>
185. Home | Forest Stewardship Council [Internet]. 2024 [cité 18 juin 2024]. Disponible sur: <https://fsc.org/en>
186. Codipack. Encres et solvants originaux pour appareils à jet d'encre [Internet]. Codipack. [cité 18 juin 2024]. Disponible sur: <https://www.codipack.com/fr/produits/codage-et-marquage/encres-et-solvants/>
187. Règlement (CE) n° 2023/2006 de la Commission du 22 décembre 2006 relatif aux bonnes pratiques de fabrication des matériaux et objets destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE) [Internet]. OJ L déc 22, 2006. Disponible sur: <http://data.europa.eu/eli/reg/2006/2023/oj/fra>
188. Adhesives [Internet]. [cité 26 juin 2024]. Waterbased adhesives. Disponible sur: <https://www.intercol.info/index.php/>
189. Thermoformage polyesters et polycarbonates | Plastiform [Internet]. [cité 25 juin 2024]. Disponible sur: <https://www.plastiform-france.com/produits/polyesters-polycarbonate/>
190. PF\_Fiche\_Polyesters-PC-2019.pdf [Internet]. [cité 25 juin 2024]. Disponible sur: [https://www.plastiform-france.com/wp-content/uploads/2021/05/PF\\_Fiche\\_Polyesters-PC-2019.pdf](https://www.plastiform-france.com/wp-content/uploads/2021/05/PF_Fiche_Polyesters-PC-2019.pdf)
191. Règlement (UE) n° 10/2011 de la Commission du 14 janvier 2011 concernant les matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE [Internet]. OJ L janv 14, 2011. Disponible sur: <http://data.europa.eu/eli/reg/2011/10/oj/fra>
192. MultiLIN [Internet]. [cité 18 juin 2024]. Disponible sur: <https://www.kpfilms.com/fr/emballages-alimentaires/flexible-stretch-films/multilin>
193. kaiserkraft | Equipement de bureau, industriel et de stockage [Internet]. [cité 18 juin 2024]. Disponible sur: <https://www.kaiserkraft.be/>

194. Pochettes écologiques et facilement recyclables | RAJA [Internet]. [cité 18 juin 2024]. Disponible sur: [https://www.rajapack.be/fr\\_BE/enveloppes-pochettes-tubes/pochettes-ecologiques\\_C2020.html](https://www.rajapack.be/fr_BE/enveloppes-pochettes-tubes/pochettes-ecologiques_C2020.html)
195. L'importance d'évaluer l'impact des produits alimentaires [Internet]. [cité 10 juin 2024]. Disponible sur: <https://www.carbonmaps.io/fr/blog/limportance-devaluer-limpact-des-produits-alimentaires>
196. Léonard A. Analyse de cycle de vie appliquée aux emballages : décryptage en mode actif. In 2024 [cité 10 juin 2024]. Disponible sur: <https://orbi.uliege.be/handle/2268/319009>
197. Yadav P, Silvenius F, Katajajuuri JM, Leinonen I. Life cycle assessment of reusable plastic food packaging. *Journal of Cleaner Production*. 5 avr 2024;448:141529.
198. SWECO Round Vibratory Separation Equipment [Internet]. [cité 25 juin 2024]. Disponible sur: <https://sweco.fr/separation/separateur-rond.php>
199. Lyophilisateur RAY® [Internet]. [cité 25 juin 2024]. Disponible sur: <https://www.gea.com/fr/products/dryers-particle-processing/freeze-dryers/ray-freeze-dryer/>
200. Torino B|S web |. Groupe Selmi. Machines pour le traitement du chocolat et des noix fruit secs. [cité 25 juin 2024]. Machine à tempérer le chocolat professionnelle Plus Ex. Disponible sur: <https://www.selmi-group.fr/plusex-tempereuse-professionnelle-chocolat.html>
201. Etuyeuse automatique SIDE LOAD à chargement latéral | JYGA [Internet]. [cité 25 juin 2024]. Disponible sur: <https://www.jyga.fr/etuyeuse-automatique/etuyeuse-chargeement-lateral>
202. EXPERIENCE IS 600 CONCEPT - Fardeleuse soudeuse latérale by Imbal Stock Srl | DirectIndustry [Internet]. [cité 25 juin 2024]. Disponible sur: <https://www.directindustry.fr/prod/imal-stock-srl/product-161350-1810797.html>