

Conception de raviolis à la ricotta-spiruline

Auteur : Hairson, Quentin

Promoteur(s) : Goffin, Dorothée; 5772

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

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

Année académique : 2019-2020

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/10756>

Avertissement à l'attention des usagers :

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

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



CONCEPTION DE RAVIOLIS À LA RICOTTA-SPIRULINE ALGUENTE

CONIGLIO Emmanuel

DE JAEGER Damien

HAIRSON Quentin

Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de
master en Management de l'innovation et de la conception des aliments, à
finalité spécialisée

Année académique 2019-2020

Promoteur : **Mme D. GOFFIN**

Co-promoteur : **Mr P. LEONARD**

Parrain industriel : **PASTA DELLA MAMMA**

Table des matières

INTRODUCTION	1
PARTIE I : PROJET TRANSVERSAL	4
1. <i>Étude du marché et stratégie</i>	4
1.1 Consommation alimentaire d'algues (données quantitatives)	4
1.2 Consommation alimentaire de l'algue (données qualitatives)	8
1.3 Cible théorique	8
1.4 Consommation alimentaire de la spiruline (données quantitatives)	10
1.5 Analyse de la concurrence	12
1.6 Business Model Canvas	18
2. <i>Définition du produit</i>	21
2.1 La ricotta	21
2.3 La spiruline	24
2.4 Les pâtes alimentaires	39
3. <i>Conception des raviolis</i>	42
3.1 Fabrication de raviolis	42
3.2 Diagramme théorique de fabrication de raviolis	43
PARTIE II : CAHIER DES CHARGES THÉORIQUE DU PRODUIT	45
1. <i>Santé</i>	45
1.1 Les protéines	45
1.2 Les vitamines de la spiruline	51
1.3 Les minéraux (fer et calcium)	53
1.4 Aspect santé sur l'étiquette	54
2. <i>Sécurité</i>	54
2.1 Risques microbiologiques des pâtes fraîches	55
2.2 Risques microbiologiques du fromage frais	55
2.3 Risques microbiologiques et chimiques des algues	56
2.4 L'étiquetage	58
3. <i>Satisfaction</i>	60
3.1 Texture du ravioli cuit	61
3.2 Aw et humidité	62
3.3 Colorimétrie	62
3.4 Goût	63
4. <i>Service</i>	67

4.1 Cahier de charges fonctionnel de l’emballage	67
4.2 Règlements relatifs à l’étiquetage.....	76
5. Sociétal	78
PARTIE III : DÉVELOPPEMENT PRATIQUE DU PRODUIT	79
1. Méthode	79
1.1 Méthode pour la production artisanale de raviolis à la spiruline	79
1.2 Méthode pour la production industrielle de raviolis à la spiruline	80
2. Expérimentations et résultats.....	86
2.1 Élaboration de raviolis ricotta-spiruline	86
2.2 Amélioration du goût et de la texture de la farce	90
2.3 Amélioration de la texture et de l’aspect organoleptique de la pâte	95
2.4 Optimisation et quantification de la proportion pâte-farce	96
2.5 Élargissement de la longueur de gamme du produit	98
2.6 Optimisation du processus de fabrication des raviolis.....	100
2.7 Analyse qualitative: simulation d’une prise de repas avec le produit fini	102
2.8 Poursuite de l’élargissement de la longueur de gamme du produit.....	104
2.9 Elaboration d’un procédé de séchage en vue d’un conditionnement à chaud du produit fini	107
PARTIE IV : CAHIER DES CHARGES PRATIQUE.....	108
1. Santé.....	108
1.1 Raviolis avec de la semoule de blé dur.....	109
1.2 Raviolis avec de la semoule de blé dur et de la spiruline dans la pâte	113
1.3 Raviolis avec de la farine complète	114
1.4 Nutri-score.....	115
2. Satisfaction	115
2.1 Caractérisation de la couleur.....	115
2.2 Caractérisation de la texture à la production (jour J) et au jour J21	120
2.3 Caractérisation de la couleur après 21 jours.....	124
3. Sécurité.....	127
3.1 Mode opératoire	127
3.2 Caractérisation de l’AW	131
3.3 Analyses des risques microbiologiques	135
4. Service.....	145
4.1 Cahier des charges pratique du packaging.....	145
4.2 L’étiquetage.....	154
4.3 Le site Internet	156

4.4 Gamme de raviolis ricotta-spiruline	157
4.5 Prix de revient	159
CONCLUSION	161
PERSPECTIVES	163
BIBLIOGRAPHIE	

Liste des tableaux

Tableau 1: Comparaison des prix (€/kg) de raviolis ricotta-épinards de différents GMS et supermarchés.	17
Tableau 2: Comparaison des prix (€/100g) de spiruline en poudre de différents fournisseurs.....	18
Tableau 3: Quantité de protéines contenue dans différents aliments.....	25
Tableau 4: Quantité de fer contenue dans différents aliments et pourcentage d'absorption.....	26
Tableau 5: Quantité moyenne de vitamines B contenue dans 10 g de spiruline.....	27
Tableau 6: Quantité moyenne de minéraux présents dans la spiruline.	27
Tableau 7: Composition nutritionnelle de la poudre de spiruline séchée produite commercialement (par 100 g) (source:Tang G. et al., 2011).....	36
Tableau 8: Teneur en protéines et en énergie des différents ingrédients de ravioli ricotta-épinards..	47
Tableau 9: Quantité d'ingrédients dans 500 g de raviolis, conversion de % en g.	48
Tableau 10: Calcul des quantités de protéines apportées par chaque ingrédient.	49
Tableau 11: Quantité d'énergie dans 500 g de raviolis ricotta-spiruline	50
Tableau 12: Les acides aminés essentiels de la spiruline et leurs AJR.....	51
Tableau 13: La dénaturation estimée de la thiamine dans un tampon phosphate	52
Tableau 14: Apport en thiamine pour 20 g de spiruline et son AJR.....	53
Tableau 15: Risques microbiologiques dans les pâtes fraîches nature ou farcies (Ministère de la santé, Critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires Lignes directrices pour l'interprétation, 2018).....	55
Tableau 16: Risques microbiologiques présents les produits à base de lait (Ministère de la santé, Critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires Lignes directrices pour l'interprétation, 2018).	56
Tableau 17: Teneur maximale en métaux lourds et en iode dans les algues/légumes/condiments (mg/kg sec), (CEVA, Réglementation algues alimentaires Synthèse 10/02/2014).....	56
Tableau 18: Risques microbiologiques des algues séchées (CEVA, Réglementation algues alimentaires Synthèse 10/02/2014).....	57
Tableau 19: Gaz autorisés dans les denrées alimentaires.	59
Tableau 20: Conditions de stockage de différentes catégories d'aliments (Agence Fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire, 2014).....	60
Tableau 21: Description des paramètres mécaniques d'un ravioli et comparaison avec d'autres aliments (Delacharlerie et al., 2008).....	61
Tableau 22: Comparaison des risques microbiologiques de la spiruline en poudre avec les risques microbiologiques d'épinards frais (World Health Organization, 2008).	85
Tableau 23: Valeurs nutritionnelles pour 100 g de parmesan.....	91
Tableau 24: Teneur en protéines et en énergie des différents ingrédients.	91

Tableau 25: Quantité d'ingrédients dans 500 g de raviolis, conversion de % en g.	92
Tableau 26: Analyse organoleptique de la pâte.	96
Tableau 27: Quantité d'ingrédients pour 500 g de raviolis ricotta-spiruline.	98
Tableau 28: Teneur en protéines, fibres alimentaires et vitamine B1 pour 3 différents raviolis.	108
Tableau 29: Profil en acides aminés de la spiruline et couverture de l'AJR en certains acides aminés par 10 g de spiruline.....	109
Tableau 30: Calcul de la teneur en protéines de chaque ingrédient et quantité d'énergie apportée par chaque ingrédient (ajout de parmesan).	110
Tableau 31: Quantité de chaque ingrédient (g) pour 500 g de raviolis.	110
Tableau 32: Calcul de la quantité totale de protéines (g) pour chaque ingrédient.	111
Tableau 33: Calcul de l'énergie totale amenée par chaque ingrédient.	112
Tableau 34: Calcul du Nutri-score des raviolis ricotta-spiruline par l'outil du SPF santé publique...	115
Tableau 35: Résultats obtenus avec le texturomètre pour les sept différents paramètres.	122
Tableau 36: Synthèse des moyennes obtenues pour chaque paramètre de colorimétrie de raviolis ricotta-spiruline secs non-cuits après production et après 21 jours de conservation.	127
Tableau 37 : Cible microbiologique et valeur maximale microbiologique pour des raviolis ricotta-épinards de Pasta Della Mamma (UFC/g).	135
Tableau 38 : Cible microbiologique et valeur maximale microbiologique pour des raviolis ricotta-spiruline produits artisanalement (UFC/g).....	136
Tableau 39: Proportion de CO ₂ , d'N et d'O ₂ dans l'atmosphère protectrice de 3 échantillons de raviolis ricotta-spiruline après production (%).	137
Tableau 40: Paramètres d'incubation et milieux de culture à utiliser pour le dénombrement et l'isolement des bactéries.	137
Tableau 41: Cible microbiologique et valeur maximale microbiologique pour des raviolis ricotta-spiruline après 21 jours de conservation (UFC/g).	139
Tableau 42: Proportion de CO ₂ , de N et d'O ₂ dans l'atmosphère protectrice de 3 échantillons de raviolis ricotta-spiruline après 21 jours (%).	140
Tableau 43: Concentrations moyennes des différentes flores microbiennes présentes au jour J, cibles et valeurs maximales.....	142
Tableau 44: Concentrations moyennes des différentes flores microbiennes présentes au jour J+21, cibles et valeurs maximales.	143
Tableau 45: Coût d'achat des raviolis à la spiruline.	159

Liste des figures

Figure 1 :	Consommateurs et non-consommateurs français d'algues sur l'échantillon. (n=825)	5
Figure 2 :	Lieux d'achats de l'algue (toutes sortes confondues) des consommateurs français.	5
Figure 3 :	(de la gauche vers la droite) : Boulettes aux algues du Delhaize, Algue nori pour la préparation de sushi maison Delhaize.....	6
Figure 4 :	(de la gauche vers la droite) : Produits du Colruyt: Feuille d'algue pour la préparation de sushi maison, Steak végétal aux algues, Caviar d'algues.	6
Figure 5 :	(de la gauche vers la droite) : Produits du Carrefour: Wakame pour la préparation de sushi maison, Salade d'algues, Nori pour la préparation d'algues maison.	6
Figure 6 :	(de la gauche vers la droite) : Produits de magasins bio en ligne: Spiruline en paillette, Spiruline en poudre bio.....	7
Figure 7 :	Pourcentage des différents produits dans lesquels l'algue est utilisée en France (Le Bras, 2015).	7
Figure 8 :	Classement des consommateurs français d'algues en sous classe.	9
Figure 9 :	(de la gauche vers la droite) : Spiruline bio en poudre, Spiruline bio en comprimés.	11
Figure 10 :	(de la gauche vers la droite) : Spiruline bio en comprimé, pâtes sèches contenant de la spiruline.	11
Figure 11 :	Pâtes sèches aux 7 céréales De Cecco.	13
Figure 12 :	Pâtes sèches aux épinards De Cecco.....	13
Figure 13 :	Pâtes sèches aux grillons Melio.	13
Figure 14 :	Pâtes sèches aux légumineuses Barilla.	14
Figure 15 :	Spaghettis secs aux algues Algamar.	14
Figure 16 :	Spiruline en poudre.....	15
Figure 17 :	Spiruline en paillette.	15
Figure 18 :	Spiruline en comprimé Detox Organica.....	16
Figure 19 :	Spiruline fraîche.....	16
Figure 20 :	Schéma technologique de la production de la ricotta.	23
Figure 21 :	Vue microscopique de la spiruline.....	24
Figure 22 :	Diagramme de fabrication industrielle de la spiruline.	28
Figure 23 :	“Bloom” de Alg&You.	29
Figure 24 :	Les bassins de production de spiruline de l'EarthriseFarm.	29
Figure 25 :	(de gauche à droite) : Système de pompe, Système de tamis.....	30
Figure 26 :	Tour d'atomisation.....	31
Figure 27 :	Filtration de l'eau par tamisage.....	31
Figure 28 :	Obtention de la pâte.	32

Figure 29 : Essorage de la spiruline.	32
Figure 30 : Extrusion de spiruline.	33
Figure 31 : Formation de spaghettis.	33
Figure 32 : Séchage des spaghettis de spiruline.	34
Figure 33 : Broyage de la spiruline séchée et formation des paillettes.	34
Figure 34 : Spiruline en paillettes conditionnée.	34
Figure 35 : Composition de la spiruline (%).	37
Figure 36 : Effet des différentes méthodes de séchage sur le rapport teneur en protéines après séchage / teneur initiale en protéines de la spiruline (Source : Desmorieux, 2004).	38
Figure 37 : Grain de blé (Passions, 2016).	40
Figure 38 : La mouture du blé (Alimentaire, 2012).	40
Figure 39 : “Machine for making ravioli having an improved fill mechanism” (Battaglia,1989).	43
Figure 40 : Liste d’ingrédients des raviolis ricotta-épinards de Pasta Della Mamma.	46
Figure 41 : Échelle de couleur des paramètres L^* a^* b^*	63
Figure 42 : Échelle de descripteurs allant d’une intensité faible vers une intensité élevée. Pour chaque descripteur, cette échelle est à réaliser.	64
Figure 43 : Exemple de liste de descripteurs et intensité associée à chacun	65
Figure 44 : Liste de descripteurs pour des raviolis ricotta-spiruline et échelle d’intensité pour chaque descripteur.	66
Figure 45 : Logo Alguente	67
Figure 46 : (de gauche à droite) : couleur bleu pétrole, couleur de la spiruline	68
Figure 47 : (de gauche à droite) : couleur jaune bouton d’or, couleur de la pâte.	68
Figure 48 : Packaging circulaire désiré.	69
Figure 49 : Dépliant imprimé avec de l’encre à la spiruline (Brewer, 2019).	69
Figure 50 : De gauche vers la droite : hublot, types de packaging souhaités.	70
Figure 51 : Concept de packaging imperméable aux gaz composé d’EVOH (EVOAL, 2015).	72
Figure 52 : (de gauche à droite) : Boîte cylindrique en carton avec couvercle, système simplifié d’ouverture.	74
Figure 53 : Liste des ingrédients des raviolis Rana.	77
Figure 54 : Schéma de fabrication industrielle de raviolis ricotta-épinards.	81
Figure 55 : (de gauche à droite) : Ilibi (cuillère peseuse), Kitchen Aid (pétrisseur), Pâte pétrie.	87
Figure 56 : Réalisation de la farce.	87
Figure 57 : (de gauche à droite) : Kitchen Aid, laminage avec aide du Kitchen Aid.	88
Figure 58 : (de gauche à droite) : Mode de cuisson des raviolis, Emporte-pièces.	88
Figure 59 : Remplissage des raviolis.	88
Figure 60 : (de gauche à droite) : pasteurisation des raviolis, séchage des raviolis	89
Figure 61 : Dégustation des raviolis.	90

Figure 62 : (de gauche à droite): Raviolis avec une couche de pâte et la face. Raviolis finis.....	93
Figure 63 : Comparaison entre les raviolis “Alguente” et un ravioli industriel.	94
Figure 64 : Raviolis anolinis finis.	97
Figure 65 : De la gauche vers la droite : Réalisation du ravioli, Ravioli fini et cuit avec une pâte verte.	98
Figure 66 : Découpe d’un ravioli ricotta-spiruline avec une pâte verte.	99
Figure 67 : (de gauche à droite) : Raviolis finis ricotta-spiruline avec de la spiruline dans la pâte, Fabrication des raviolis avec de la spiruline dans la pâte.	102
Figure 68 : Mélange de raviolis ricotta-spiruline avec de la spiruline dans la pâte ainsi que de raviolis ricotta-spiruline “nature”.	103
Figure 69 : (de gauche à droite) : Raviolis ricotta-spiruline avec une sauce hollandaise, Raviolis ricotta-spiruline avec une sauce tomate.	104
Figure 70 : (de gauche à droite) : Farine complète Soubry, Farine pour pâtisserie Anco.	105
Figure 71 : (de gauche à droite) : Raviolis finis composés de farine Soubry pour pain complet, Raviolis finis composés de farine Anco pour pâtisserie intégrale.	106
Figure 72 : Prise de température à cœur à l’aide d’une sonde.....	107
Figure 73 : Ravioli cuit dans une cellule de mesure pour le Color Flex.	116
Figure 74 : Valeurs du paramètre L* pour les raviolis cuits et non-cuits.....	117
Figure 75 : Valeurs du paramètre a* pour les raviolis cuits et non-cuits.	118
Figure 76 : Valeurs du paramètre b* pour les raviolis cuits et non-cuits.	119
Figure 77 : Farce des raviolis ricotta-spiruline.....	119
Figure 78 : Mesure de la texture d’un ravioli ricotta-spiruline.....	121
Figure 79 : Comparaison du paramètre L* de raviolis ricotta-spiruline secs non-cuits après 21 jours de conservation.	124
Figure 81: Comparaison du paramètre a* de raviolis ricotta-spiruline secs non-cuits après 21 jours de conservation.	125
Figure 80 : (de gauche à droite): Raviolis ricotta-spiruline après production, Raviolis ricotta-spiruline après 21 jours de conservation.....	125
Figure 82 : Comparaison du paramètre b* de raviolis ricotta-spiruline secs non-cuits après 21 jours de conservation.	126
Figure 83 : (de gauche à droite) : Mise en place des raviolis ricotta-spiruline dans le four, Paramétrage du four.....	128
Figure 84 : Cellule de refroidissement.	128
Figure 85 : Sonde de température placée à cœur d’un ravioli ricotta-spiruline.....	129

Figure 86 : Évolution de la température ambiante et de la température à cœur de raviolis ricotta-spiruline.	129
Figure 87 : Évolution de la température ambiante et à cœur de raviolis ricotta-spiruline lors du refroidissement.....	130
Figure 88 : Conditionnement en barquette thermoformée dans une machine tecnovac.....	131
Figure 89 : (de gauche à droite) : Teneur en CO ₂ de raviolis ricotta-épinards, Mesure de la teneur en CO ₂ et O ₂ de raviolis ricotta-spiruline.	131
Figure 90 : (de la gauche vers la droite) : Ravioli séché, Ravioli non séché.....	132
Figure 91 : Découpe du ravioli avec un emporte pièce et mise en place du ravioli dans la cupule ..	132
Figure 92 : Aw de raviolis séchés et non-séchés.....	133
Figure 93 : Comparaison de l'Aw de raviolis ricotta-spiruline secs au jour J avec des raviolis ricotta-spiruline après 21 jours.	134
Figure 94 : Mode opératoire pour le dénombrement et l'isolement de bactéries sur des raviolis ricotta-spiruline après production.	138
Figure 95 : Mode opératoire pour le dénombrement et l'isolement de bactéries pour des raviolis ricotta-spiruline après 21 jours.....	140
Figure 96 : De la gauche vers la droite : Ensemencement en profondeur sur boîte de Pétri vide, Ensemenceur en spirale.....	141
Figure 97 : Outil de dénombrement pour les boîtes de Pétriensemencées par l'ensemenceur en spirale.....	143
Figure 98 : Calcul de la masse volumique de 16 raviolis.....	146
Figure 99 : Prototype 3D de l'emballage primaire de raviolis ricotta-spiruline.....	147
Figure 101 : présentation 3D et dimensionnement de l'emballage secondaire (mm).	148
Figure 100 : Plan de l'étiquette pour l'emballage primaire de raviolis ricotta-spiruline (mm).	148
Figure 102 : Représentation et dimensionnement du nombre d'emballages primaires placés verticalement que peut contenir l'emballage secondaire (mm).	149
Figure 103 : De la gauche vers la droite : Coupe transversal de l'emballage secondaire avec les cylindres placés horizontalement, Représentation et dimensionnement de l'emballage primaire placé horizontalement dans l'emballage secondaire (mm).....	150
Figure 104 : Représentation et dimensionnement de la palettisation de l'emballage secondaire avec des pertes (mm).	150
Figure 105 : Représentation et dimensionnement de la palettisation de l'emballage secondaire (mm).	151
Figure 106 : Fiche technique de l'emballage final.....	152
Figure 107 : Emballage final en carton FSC.	153
Figure 108 : Étiquette de l'emballage primaire.	154
Figure 109 : Languette d'inviolabilité Devos & Lemmens.....	155

Figure 110 : L'étiquette finale de l'emballage primaire avec un système d'inviolabilité et la zone grisâtre.	156
Figure 111 : QR code menant au site internet	157
Figure 112 : De la gauche vers la droite : Ravioli ricotta-spiruline avec de la semoule de blé dur, Raviolis ricotta-spiruline avec de la spiruline dans la pâte, Raviolis ricotta-spiruline avec de la farine complète.....	158

Liste des symboles et abréviations

AFNOR:	Association Française de Normalisation
AJR:	Apport Journalier Recommandé
Anses:	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
APET:	Polytéréphtalate d'éthylène
ASR:	Anaérobie Sulfato-Réductrice
AW:	Water Activity
BMC:	Business Model canvas
D1-2-3:	Dilution 1-2-3
DBO:	Demande Biochimique en Oxygène
DJA:	Dose Journalière Admissible
DLC:	Date Limite de Consommation
DLUO:	Date Limite d'Utilisation Optimale
EFSA:	Autorité Européenne de sécurité des aliments
EVOH:	Ethylene Vinyl Alcohol
FAO:	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FDA:	Food and Drug Administration
FSC:	Forest Stewardship Council
GLA:	Acide gamma-linolénique
GMS:	Grande et moyenne surface
GRAS:	Generally Recognized As Safe
INCO:	Information du Consommateur
Kcal:	Kilo calories
Master MICA:	Master en Management de l'Innovation et de la Conception des Aliments
MYP:	Mannitol Yolk Polymyxine

PCA:	Plate Count Agar
Ph:	Potentiel hydrogène
QR Code:	Quick Response Code
RATA:	Rate All That Apply
Règlement CE:	Règlement de l'Union Européenne
RLM:	Rapid Listeria Monocytogenes
RVC:	Résistance à la compression verticale
SM:	Solution Mère
SPF:	Service Public fédéral Finances
TERRA:	Teaching and Research Centre
TSC:	Tryptone Sulfite Cyclosérine
UFC/g:	Unité Formant Colonie / grammes
UFC:	Unité Formant Colonie
VRBG:	Violet Red Bile Glucose Agar
YGC:	Yeast Extract Glucose Chloramphenicol

REMERCIEMENTS

Ce travail de fin d'études a été réalisé au sein des locaux du Smart Gastronomy Lab. Les analyses complémentaires ont été conduites sur le site de l'Agro-Bio Tech de Gembloux, dans les laboratoires de science des aliments du TERRA, ainsi que dans les laboratoires de la faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Liège.

Tout d'abord, nous tenons vivement à remercier notre promotrice, Madame Dorothée Goffin, pour son encadrement, sa disponibilité tout au long de l'année et ses précieux conseils. Notre gratitude va ensuite vers *Pasta Della Mamma*, notre parrain industriel, et plus précisément vers Ingrid Tam et Marie Vassen. Ces dernières nous ont permis de nous rapprocher au mieux des exigences et défis liés à la production industrielle de raviolis. Ensuite, nous tenons à remercier *Mylena Tortellini* de nous avoir fourni de nombreuses informations industrielles concernant les raviolis et leur conception. Enfin, nous remercions Monsieur Pascal Léonard, co-promoteur de ce travail, de nous avoir fait part de ses connaissances en matière de packaging. Merci également à l'équipe de *Treedim* qui nous a donné accès à leurs programmes gratuitement ainsi qu'à l'équipe de *Alizé* et plus particulièrement Justine Coulée et Sébastien Hambye qui nous ont permis de nous rapprocher le plus fidèlement au packaging voulu.

Nous voudrions aussi remercier l'ensemble de l'équipe du Smart Gastronomy Lab. Nous pensons plus précisément à Simon De Jaeger qui a élaboré notre packaging ainsi qu'à Quentin Mortier qui a pu nous apporter une aide lors de la conception de notre vidéo. Nous tenons également à adresser tous nos remerciements à l'ensemble des professeurs et assistants sollicités dans le cadre de ce projet. Nous pensons à Monsieur Blecker, Monsieur Daube, Monsieur Clinquart, Monsieur Crèvecoeur, Madame Lebrun, ainsi qu'à Monsieur Filocco et Madame Servais. Nous pensons également à Tony Labye et à Cindy Hairson qui nous ont assistés pour le côté design et marketing de notre packaging.

Enfin, nous tenons à remercier nos familles et nos proches pour leur soutien et leurs encouragements pendant tout notre cursus scolaire et particulièrement pour ce travail de fin d'études.

RÉSUMÉ

A l'ère de la grande consommation, voire de la surconsommation, notre monde peine à trouver des moyens pour produire toutes les ressources nécessaires. La demande en produits carnés étant grandissante et cette production étant la plus polluante, il est essentiel de trouver des alternatives.

Dans ce contexte, l'objectif de ce mémoire est de conceptualiser des raviolis composés de ricotta et de spiruline. Cette cyanobactérie permettrait de régler la problématique de consommation des ressources et de pollution, grâce au peu de moyens nécessaires à sa culture. Elle permettrait également de réduire la consommation de viande grâce à sa forte teneur en protéines. A partir de cela, tous les aspects du produit ont dû être mis en place afin de s'assurer que nos raviolis *Alguente* répondent à la règle des 5S : santé, sécurité, satisfaction, service et sociétal.

Pour arriver à nos raviolis *Alguente*, nos objectifs ont d'abord été fixés théoriquement. Ensuite, plusieurs expériences ont été menées afin d'arriver à un produit fini de bonne qualité organoleptique. Une fois cette étape terminée, les différents paramètres ont été testés afin de vérifier si les produits sont homogènes et si les objectifs ont bien été atteints. Les résultats récoltés sont ceux escomptés avec l'obtention d'un produit fini de très bonne qualité organoleptique, microbiologique et nutritionnelle bien que certains points soient encore à peaufiner ou à explorer.

ABSTRACT

In the age of mass consumption, or even over-consumption, our world is beginning to have to find ways to produce resources. As the demand for meat products is growing and this production is the most polluting, it is essential to find alternatives.

The aim of this thesis is therefore to conceptualize ravioli made of ricotta and spirulina. This cyanobacterium would make it possible to solve the problem of resource consumption and pollution, thanks to the few means necessary for its cultivation. It would also make it possible to reduce meat consumption thanks to its high protein content. From this, all aspects of the product had to be put in place to ensure that our Alguente ravioli meet the 5S rule: health, safety, satisfaction, service and societal.

To arrive at our Alguente ravioli, our objectives were first set theoretically. Then, several experiments were carried out in order to arrive at a finished product of good organoleptic quality. Once this stage was completed, the different parameters were tested to check if the products are homogeneous and if the objectives were achieved. The results obtained are those expected with a finished product of very good organoleptic, microbiological and nutritional quality, although some points still need to be fine-tuned or explored.

INTRODUCTION

Des dizaines d'années durant, les protéines animales étaient le type de protéines les plus consommées. Cependant, la tendance semble aujourd'hui s'inverser à l'avantage des protéines végétales. Depuis 1960, les aliments qui composent le plus le panier alimentaire sont: les viandes avec 25% contre 17% pour les végétaux. En 2014, la composition du panier alimentaire a diminué de 5% pour les viandes contre 2% pour les végétaux. La consommation en viande diminue d'année en année étant donné que sa réputation se dégrade, et ce, principalement, d'un point de vue environnemental (Larochette et al, 2015). Effectivement, la production d'un kilogramme de viande bovine nécessite 15 500 litres d'eau (eau de pluie comprise), une surface équivalant à 60m², et un dégagement de 41 kilogrammes de dioxyde de carbone (Blanchard, 2019).

Ces contraintes environnementales liées à la production de viande ont donc conduit la population à développer et à consommer une autre source de protéine : les protéines végétales. Parmi les sources de protéines végétales se trouvent les algues. La quantité d'algues produite a fortement augmenté en 40 ans, elle est passée de 2 tonnes d'algues en 1970 à 20 tonnes en 2010. 95% de sa production mondiale provient d'Asie: les plus gros producteurs sont la Chine et l'Indonésie, avec respectivement, 50 et 25%. En ce qui concerne l'Europe, celle-ci regroupe seulement 1% de la production mondiale d'algue, dont 57% provient de la Norvège (Le Bras, 2014).

Actuellement, les algues sont fortement consommées dans les pays asiatiques avec en moyenne 1,5 kg/an/hab. Dans les pays européens, cette tendance alimentaire n'est pas encore développée car la production est principalement centrée dans les pays asiatiques, mais également car peu d'algues produites sont utilisées pour la consommation alimentaire. En effet, seulement 1% des algues produites en France sont utilisées comme aliment contre 75% qui sont utilisées pour les industries agro-alimentaires et chimiques, notamment pour produire des additifs de textures tels que des carraghénanes (Le Bras, 2014).

Parmi les nombreuses espèces d'algues consommées dans l'alimentation se trouve la spiruline, sur laquelle les scientifiques se sont penchés depuis maintenant une cinquantaine

d'années. En effet, celle-ci comporte de nombreux avantages nutritionnels: 10 grammes de spiruline est égal à la teneur en protéines présente dans 100 grammes de bœuf, sa concentration en vitamines est comparable à celle présente dans 4 oranges et elle contient 6 fois plus de fer qu'un artichaut (minéraux hautement digestibles). Ce sont tous ces avantages nutritionnels et environnementaux qui ont poussé les consommateurs à utiliser ce "super-aliment" dans leur régime alimentaire. A noter cependant que le principal atout recherché reste sa forte teneur en protéines végétales (Karleskind, 2018).

De plus, cette algue est écologique. En effet, la spiruline est une grosse productrice d'oxygène, elle peut fixer un gros volume de CO₂ (6,3 tonnes par hectare et par an) et produire une grande quantité en O₂ (16,8 tonnes par hectare par an) (Henrikson, 1989). Elle nécessite également de moins d'eau que n'importe quelle autre culture végétale, par exemple, elle utilise 3 fois moins d'eau que la culture de soja et 5 fois moins que la culture de maïs. Ceci s'explique par le fait que l'eau utilisée est recyclée (Henrikson, 1989).

C'est sur base de ces constatations et de ces données que nous nous sommes lancés dans le projet de conception de pâtes farcies (raviolis) à la ricotta enrichies en spiruline. Le but de ce produit est donc de se baser sur un ravioli déjà connu du grand public comme les raviolis ricotta épinards, en remplaçant les épinards par l'algue innovante qu'est la spiruline. Comme détaillé ci-dessus, la spiruline est une algue contenant de nombreuses valeurs nutritionnelles et environnementales. On compte parmi celles-ci des antioxydants, une grande quantité de protéines, des vitamines, ainsi que des acides gras polyinsaturés. La ricotta est fabriquée à partir de lactosérum, un sous-produit d'industrie agroalimentaire issu de la fabrication du fromage. En l'utilisant comme farce pour nos raviolis, ce sous-produit est ainsi valorisé.

Afin de proposer un produit alimentaire présentable et commercialisable, il a fallu nous pencher sur plusieurs points critiques et indispensables à la conception d'une denrée alimentaire. Afin de faciliter la lecture de ce mémoire, ce dernier est scindé en plusieurs parties distinctes.

Tout d'abord, une première partie traite des informations théoriques : du marché que nous ciblons et de l'étude de celui-ci, d'une présentation théorique de notre produit ainsi que

des ingrédients qui le composent et ensuite d'une illustration de comment ces raviolis sont fabriqués industriellement.

Ensuite, notre deuxième partie présente le cahier des charges théoriques. Celui-ci reprend les cinq points différents de "la règle des 5S" : santé, sécurité, satisfaction, service et sociétal. Ce cahier des charges est dit "théorique" car il a pour but de définir les différentes caractéristiques principales que nos raviolis devront posséder au terme de leur fabrication. Il vise donc à répondre le plus adéquatement et le plus précisément possible aux objectifs de départ et aux attentes des consommateurs sans pour autant que ce soit concevable dans la réalité.

La troisième partie, quant à elle, traite du développement pratique de nos raviolis. C'est-à-dire des différentes étapes et manipulations, mais aussi des différents changements qui se sont déroulés entre le début de notre travail en laboratoire et l'obtention du ravioli ricotta-spiruline final.

Enfin, la quatrième partie explique en détails notre cahier des charges pratique. En effet, elle développe à nouveau l'aspect "5S" mais cette fois-ci avec notre produit fini et avec des chiffres présentés résultants de différentes analyses également expliquées dans cette partie. Le but final étant de présenter un cahier des charges schématique qui est également présent dans cette partie.

PARTIE I : PROJET TRANSVERSAL

Cette partie poursuit trois objectifs principaux. Le premier est de réaliser une étude de marché afin de définir le plus précisément possible le comportement du consommateur vis-à-vis des algues, ainsi que la place actuelle des algues, de la spiruline et des raviolis sur le marché et dans nos habitudes de consommation. A partir des informations recueillies lors de cette étude de marché, une stratégie sera ensuite mise en place dans un Business Model Canvas.

Le deuxième objectif est de définir de manière théorique chaque type d'ingrédient présent dans les raviolis (ricotta, spiruline, pâte alimentaire), permettant ainsi une meilleure connaissance et compréhension de chaque type d'aliment présent dans notre produit.

Enfin, le troisième objectif est de détailler la fabrication des raviolis sur base de recherches bibliographiques, ainsi que d'informations fournies par notre parrain industriel.

1. Étude du marché et stratégie

1.1 *Consommation alimentaire d'algues (données quantitatives)*

Les données présentées dans cette partie proviennent d'une enquête (Déchand, 2016) alimentaire réalisée en France, un pays limitrophe à la Belgique dont la culture gastronomique est proche. Malgré ces ressemblances, il est évident que ces données ne peuvent être représentatives du marché belge. Les idées présentées ci-dessous permettent de se faire une idée du comportement global des consommateurs français (proche de celui des belges) vis-à-vis des algues en général.

La Figure 1 montre qu'en 2013, sur 825 personnes interrogées, 58% mange au minimum une fois de l'algue sur l'année et que 20% de ces 58% en consomme de manière plus régulière, c'est-à-dire une fois par mois.

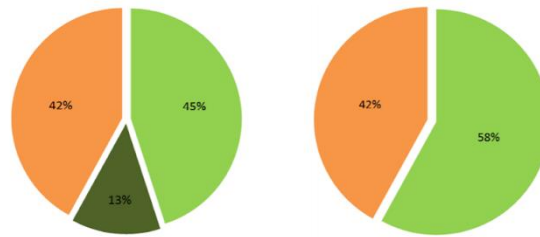


Figure 1 : Consommateurs et non-consommateurs français d'algues sur l'échantillon. (n=825)

L'algue est consommée principalement pour 2 raisons : d'une part, parce que la cuisine asiatique est réputée et d'autre part car les gens sont curieux de découvrir de nouvelles sensations organoleptiques. Effectivement, 43% mange des algues car ils sont friands de cuisine japonaise tandis que les autres 57% consomme des algues par curiosité culinaire (Le Bras, 2014).

La Figure 2 indique que l'algue se mange principalement dans un contexte de restauration. En effet, 71% des consommateurs mangent de l'algue au restaurant. Encore une fois, c'est dans le contexte de la cuisine asiatique que les algues sont les plus consommées. 66% des consommateurs consomment quand même de l'algue à domicile sous forme de plat asiatique à emporter.

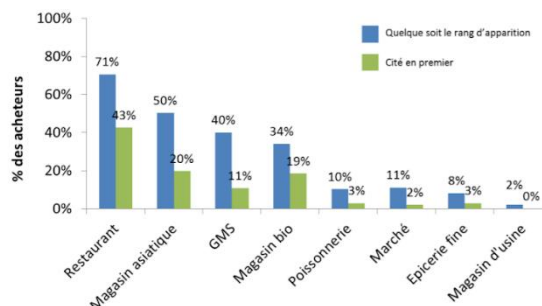


Figure 2: Lieux d'achats de l'algue (toutes sortes confondues) des consommateurs français.

Une recherche, dans le cadre de notre travail, de produits à base d'algues a été menée dans les canaux de distribution belges, peu de produits sont disponibles dans les supermarchés. Au *Delhaize*, sur leur site d'achat en ligne, il est possible de retrouver des boulettes aux algues ou du "matériel" pour des sushis à préparer à domicile tel que des Yakinori, comme illustré par la Figure 3.

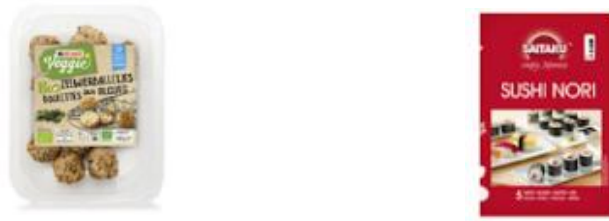


Figure 3 : (de la gauche vers la droite) : Boulettes aux algues du Delhaize, Algue nori pour la préparation de sushi maison Delhaize.

Dans d'autres supermarchés, tel que *Colruyt*, il est possible d'observer la même gamme de produits exposée dans les rayons ou sur leur site de vente en ligne. Malgré les différences de produits proposés par le magasin, le nombre de produits à base d'algue est faible. Les produits disponibles sont des steaks végétaux, des algues pour sushis et des caviars aux algues comme le montre la Figure 4. Le steak végétarien est constitué d'algue Dulse, une algue rouge. Les feuilles d'algues sont à base de Yakinori.



Figure 4 (de la gauche vers la droite) : Produits du Colruyt: Feuille d'algue pour la préparation de sushi maison, Steak végétal aux algues, Caviar d'algues.

La Figure 5 présente la liste des produits proposés par le commerce en ligne de *Carrefour* lorsque la recherche "Algue" est introduite. Encore une fois, peu de produits à base d'algues sont disponibles et la plupart sont des produits pour la conception de sushis à domicile. Il est intéressant de préciser que les algues utilisées ne sont pas tout le temps inscrites sur le packaging. Effectivement, l'algue utilisée pour les produits de droite et du milieu n'est pas indiquée alors que le produit de gauche précise qu'il est composé de wakame.



Figure 5 (de la gauche vers la droite) : Produits du Carrefour: Wakame pour la préparation de sushi maison, Salade d'algues, Nori pour la préparation d'algues maison.

Contrairement aux supermarchés, dans les magasins bio, beaucoup plus de produits à base d'algues sont disponibles et principalement à base algue pure telle que de la spiruline. On retrouve énormément d'algues en poudre, en comprimés, en paillettes ou en mélange avec d'autres composés tel que du gingembre. La Figure 6 présente le type de produit présent dans les magasins bio.



Figure 6 (de la gauche vers la droite) : Produits de magasins bio en ligne: Spiruline en paillette, Spiruline en poudre bio.

La Figure 7 ci-dessous résume l'ensemble des produits à base d'algues existant en France. Seulement trois catégories de produits recouvrent 68% de ceux présents sur le marché français. La première catégorie est constituée de produits à base d'algue brute telle que de la spiruline séchée et réduite en farine ou en paillettes. La deuxième catégorie comprend les produits tartinables à base d'algue. Enfin, la troisième catégorie est constituée de condiments tels que des produits qui s'utilisent comme des épices. Concernant les pâtes à base d'algue, celles-ci ne représentent que 5% des produits à base d'algue présents sur le marché français.

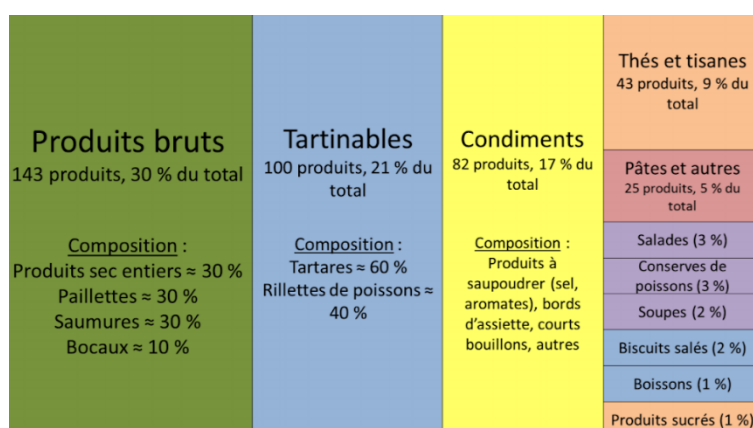


Figure 7: Pourcentage des différents produits dans lesquels l'algue est utilisée en France (Le Bras, 2015).

1.2 Consommation alimentaire de l'algue (données qualitatives)

Cette partie permet de donner une idée sur ce à quoi se réfère le consommateur quand il entend parler d'algues. Après un focus group réalisé par IDEALGUE (appel d'offre dans le cadre des investissements d'avenir) (2014), il en ressort que le mot “algue” rimerait avec “alimentation” et “santé” pour les consommateurs et les non-consommateurs. Ces deux mots sont en parfaite corrélation avec le projet que l'on voudrait mettre en place. Effectivement, malgré le manque de consommation d'algue en Europe, il est bon de savoir que les gens se rendent compte que l'algue peut être mangée. De plus, le côté santé, également évoqué, est un argument que l'on voudrait utiliser pour favoriser l'achat de notre produit. Il est donc positif que les (non-)consommateurs soient déjà au courant que les algues sont bonnes pour la santé. Cependant, ces affirmations sont tirées d'un test qualitatif et non quantitatif, il faut donc rester prudent sur l'interprétation de ces données (Le Bras, 2014).

Malgré les craintes liées à la consommation d'algues qui seront évoquées dans le point suivant, certaines personnes sont motivées à consommer et à acheter les algues. Les raisons sont les suivantes : la santé pour la qualité nutritionnelle, l'écologie pour la diminution de la consommation et donc de la production de viande, l'originalité pour le côté “néo-aliment” de l'algue.

1.3 Cible théorique

Les cibles théoriques présentées ci-dessous sont également issues d'une étude française (Déchand, 2016). Cela signifie qu'encore une fois, les résultats ne peuvent être appliqués correctement sur le marché belge et que cette partie est une extrapolation de ce que pourraient être les cibles belges.

De manière générale, ce qui ressort de l'enquête (Déchand, 2016) est que les consommateurs d'algues ont entre 25 et 55 ans, et sont curieux en gastronomie. Ils aiment aussi cuisiner et ont des revenus plutôt élevés. Il s'agirait principalement de femmes, exerçant une fonction de cadre et habitant dans une région huppée. Les consommateurs d'algues peuvent être classés en différentes catégories qui sont résumées par la Figure 8 ci-dessous.

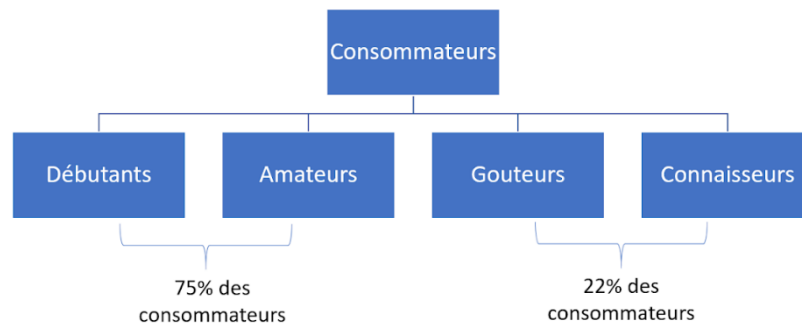


Figure 8: Classement des consommateurs français d'algues en sous classe.

Les consommateurs regroupés dans les catégories débutants et amateurs sont des consommateurs d'algue dans des plats asiatiques (sushis, par exemple) dont la fréquence de consommation est faible pour les débutants et élevée pour les amateurs. À elles seules, ces deux catégories représentent 75% des consommateurs. Les catégories goûteurs et connaisseurs rassemblent les consommateurs qui sont intellectuellement ouverts, qui connaissent plusieurs espèces d'algues et qui consomment de l'algue sous différentes formes. Les deux dernières classes constituent 22% de l'échantillon sur lequel l'enquête a été menée (825 personnes). Ces deux classes sont plus curieuses et plus aptes à la consommation d'algue dans des pâtes (Le Bras, 2015).

Il est possible d'identifier trois principales craintes que nos cibles pourraient avoir vis-à-vis de l'algue : l'accessibilité, la compréhension et l'appréhension du produit. Actuellement, il existe peu de produits constitués d'algues et donc peu d'offres. Lorsque des produits à base d'algues sont disponibles, ceux-ci sont principalement proposés dans des magasins bio, beaucoup moins fréquentés que les supermarchés. De plus, le consommateur ne visualise pas encore assez à quel moment il pourrait manger de l'algue ou avec quoi il devrait l'associer. Un manque de connaissance se fait également ressentir vis-à-vis de la préparation et de la conservation, ce qui freine l'utilisation d'algue. En ce qui concerne l'appréhension du produit, les consommateurs et les non-consommateurs ont peur d'un mauvais goût (trop salé, iodé, "trop le goût de la mer", ...) et d'une texture trop proche des algues que l'on voit sur les plages. L'appréhension est la crainte la plus importante pour les non-consommateurs alors que les consommateurs, eux, appréhendent beaucoup moins l'algue car ils la consomment plus régulièrement. Malgré cela, environ 60% des consommateurs considère le goût et la texture comme bons (Le Bras, 2015).

1.4 Consommation alimentaire de la spiruline (données quantitatives)

En ce qui concerne la Belgique, des données concernant le nombre de végétariens et de flexitariens ont été recueillies afin d'analyser le nombre de cibles potentielles pour notre produit à base de spiruline.

Une enquête a été menée par iVox pour le compte de l'ASBL EVA et montre qu'en 2017, 44% de la population enquêtée (1000 individus) avait réduit sa consommation en viande par rapport à l'année précédente. Dans ces 44%, 7% n'en mangeait plus du tout et 9% diminuait leur consommation par semaine (maximum quatre fois par semaine). Dans cette brève analyse, le cas des sportifs n'est pas pris en compte.

Sachant que la Belgique comporte plus ou moins 11 000 000 d'habitants, puisqu'en 2017, 9% de la population suivait un régime flexitarien, un marché de 990 000 flexitariens serait ouvert à notre produit. Concernant les végétariens et/ou végétaliens, 770 000 personnes ne consommeraient pas du tout de viande en Belgique. La proportion des végétaliens et des végétariens de ces 7% n'étant pas définie, il est impossible de donner une approximation du nombre de personnes cibles à ajouter aux 990 000 flexitariens. De plus, dans le cas des végétaliens, notre produit ne pourra pas leur être proposé puisqu'il contient du lactosérum et du parmesan, tandis qu'il est parfaitement approprié pour les végétariens.

En Belgique, la vente de spiruline se fait principalement dans les magasins biologiques. Elle se retrouve très souvent sous forme de comprimés et de poudre et est très rarement incorporée dans les aliments. Le côté médical est nettement mieux mis en évidence que l'aspect nutritionnel et alimentaire, comme démontré ci-dessous par la Figure 9.



Figure 9 (de la gauche vers la droite) : Spiruline bio en poudre, Spiruline bio en comprimés.

Dans un autre magasin bio, on retrouve exactement le même produit en comprimés. De plus, dans ce même magasin on peut retrouver de la spiruline incorporée dans des pâtes sèches. Mais dans ces pâtes, la spiruline n'est pas utilisée pour ses propriétés nutritionnelles mais pour sa coloration bleutée. Ces produits sont présentés par la Figure 10.

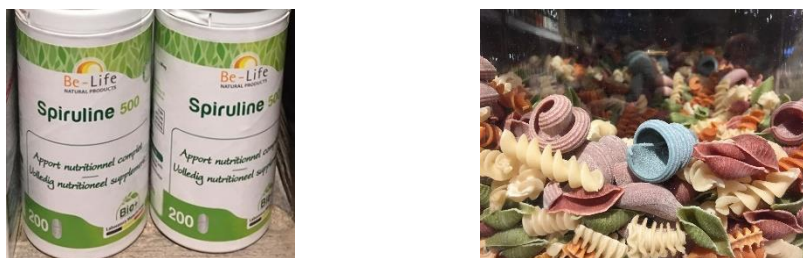


Figure 10 (de la gauche vers la droite) : Spiruline bio en comprimé, pâtes sèches contenant de la spiruline.

En Belgique, des recherches ont été effectuées dans des supermarchés (*Colruyt, Match, Delhaize, ...*) afin de trouver de la spiruline dans des denrées alimentaires, mais ces recherches n'ont donné aucun résultat, que ce soit en comprimés ou incorporée dans les aliments. Le seul produit à base d'algues trouvé, qui n'est même pas de la spiruline, est du Wakamé (*Colruyt*). D'autres canaux de distribution pour la spiruline, comme les pharmacies, sont également utilisés. En pharmacie, la spiruline peut se retrouver sous forme de poudre, de comprimés, ou encore de gélules.

Il ne faut évidemment pas perdre de vue que nous sommes dans un contexte de mondialisation et d'e-commerce, ce qui rend la spiruline disponible partout et sous toutes

formes : en poudre, en comprimés, en paillettes, et fraîche. Cet aspect sera détaillé dans le point suivant.

Grâce à une enquête de consommation de spiruline en paillettes effectuée en 2015 en France (Déchand, 2016), il est possible de récolter quelques informations sur les habitudes des consommateurs. Malgré le fait que l'enquête soit française et donc non représentative du marché belge, la proximité entre ces deux pays ainsi que les similarités entre leurs habitudes culturelles et alimentaires permettent tout de même de prendre cette enquête comme base. Sur 156 sujets retenus, 25% consommerait de la spiruline sous forme de cure entre 3 et 6 mois par an alors que 45% en consommerait de manière continue toute l'année. 75% des répondants n'a pas de régime particulier alors que 15% a un régime végétarien ou végétalien (12% végétariens et 3% végétaliens). 85% des consommateurs de spiruline sont des sportifs dont l'activité physique peut varier de 1 à 2 h/semaine jusqu'à 10h/ semaine. 33% des répondants consomme de la spiruline afin d'être performant sportivement, 15% en consomme comme compléments afin de lutter contre des carences et de profiter de ses bienfaits, et 8% pour des raisons nutritionnelles (protéines végétales). 2,3% de l'échantillon présente des difficultés à consommer de la spiruline à cause du goût et de l'odeur alors que 87% ne voit aucun inconvénient à la consommation de spiruline. 60% consomme la spiruline dans une boisson comme un médicament et environ 1% de l'échantillon ajoute la spiruline en paillettes dans leurs plats (Déchand, 2016).

1.5 Analyse de la concurrence

1.5.1 Pâtes enrichies

Lors de l'analyse concurrentielle des pâtes qui suit, on considère comme produit concurrent toutes les pâtes sèches et farcies qui sont enrichies d'un ingrédient donnant à l'aliment un meilleur profil nutritionnel.

- La Figure 11 représente les pâtes sèches enrichies en 7 céréales produites par *De Cecco*. Les pâtes sont enrichies en protéines et en fibres alimentaires.



Figure 11 : Pâtes sèches aux 7 céréales De Cecco.¹

- Cette même marque propose aussi des pâtes de légumes afin d'enrichir celles-ci en éléments nutritionnels typiques du végétal utilisé. La Figure 12 présente ces pâtes.



Figure 12 : Pâtes sèches aux épinards De Cecco².

- *Melio* produit des pâtes sèches enrichies en farine de grillons. Ce produit consiste à diminuer les impacts environnementaux grâce à la méthode de production des grillons. Ensuite, ces pâtes jouent sur l'aspect nutritionnel : 100g de pâtes contiennent 25 g de protéines. De plus, l'apport quotidien en vitamine B12 atteint presque les 50% en consommant 100 g. La Figure 13 présente ce produit.



Figure 13 : Pâtes sèches aux grillons Melio³.

¹ https://www.dececco.com/be_fr/products/pates-formats-speciaux/

² https://www.dececco.com/be_fr/products/pates-formats-speciaux/

- *Barilla* propose des pâtes sèches enrichies en protéines. L'enrichissement en protéines est lié à l'utilisation de légumineuse pour la farine. De plus, *Barilla* affirme que "la culture de la lentille est durable". La Figure 14 présente ces pâtes enrichies en protéines de légumineuse.



Figure 14 : Pâtes sèches aux légumineuses Barilla⁴.

- *Algamar* propose des spaghettis à la spiruline. La spiruline est incorporée dans la farine et ensuite extrudée pour former les pâtes. Encore une fois, l'enrichissement est nutritionnel. En effet, la spiruline va principalement améliorer la teneur en protéines. La Figure 15 présente ce produit ci-dessous.



Figure 15 : Spaghettis secs aux algues Algamar⁵.

1.5.2. Produit à base de spiruline

Dans la partie ci-dessous, différents produits à base de spiruline considérés comme concurrents seront énoncés.

³ <https://www.meliofood.com/>

⁴ <https://www.barilla.com/fr-fr>

⁵ <https://www.algamar.com/fr/algues-certifiees-bio/>

- Le premier type de produit à base de spiruline est: la spiruline en poudre. Celle-ci est abondamment proposée sur le marché. *Pharmaflore* propose ce produit et se positionne plus d'un point de vue santé que d'un point de vue nutritionnel. Effectivement, lors de la description de leur produit *Pharmaflore* évoque ses propriétés antiallergiques, hypolipémiantes et stimulantes du système immunitaire. La Figure 16 présente ce produit.



Figure 16 : Spiruline en poudre.

Malgré l'aspect santé mis en avant par certaines marques, d'autres marques telles que *Sevenhills Wholefoodset Spiruline Sud* jouent sur le côté nutritionnel (teneur en protéines). Leur proposition de valeur est que la spiruline en poudre contient plus de 60% de protéines et que les 9 acides aminés sont présents.

- La spiruline peut également se trouver sous forme de paillette. *Manjolive* est une société produisant ce type de spiruline. Leur stratégie autour de leur produit se base sur le fait que la spiruline en paillette est facile à consommer et à intégrer dans l'alimentation. De plus, sous cette forme, les pertes d'un point de vue nutritionnel sont plus faibles. La Figure 17 présente ce produit.



Figure 17 : Spiruline en paillette.

- La spiruline peut également se trouver sous forme de comprimé. *Detox Organica* produit cette forme de spiruline. La proposition de valeur est basée sur le nutritionnel, ils mettent en avant la forte teneur en protéines, en fer et en oligo-éléments du comprimé. La Figure 18 présente ce produit.



Figure 18 : Spiruline en comprimé Detox Organica⁶.

- Le dernier produit est la spiruline fraîche. Celle-ci est difficilement accessible malgré le fait que certaines marques comme *Spiruline France* en produisent. L'avantage mis en avant par les producteurs est que la spiruline fraîche ne subit aucun traitement et conserve la totalité de ses caractéristiques nutritionnelles. La Figure 19 présente ce produit.



Figure 19 : Spiruline fraîche⁷.

Suite à cette analyse, il ressort que le marché des pâtes enrichies est déjà présent. En effet, celui-ci contient plusieurs produits dont la proposition de valeur est l'enrichissement en protéines. Malgré cela, ce marché ne comprend que des pâtes sèches et aucun ravioli enrichis n'a été trouvé. De plus, des spaghettis à base de spiruline existent, cela signifie que la volonté d'intégrer la spiruline à l'aliment est recherchée par certains consommateurs. Enfin, la spiruline se trouvant sur le marché est principalement présente sous forme brute, elle n'est pas intégrée à des aliments.

1.5.3 Analyse des prix de la concurrence

Dans cette partie, les prix des concurrents de raviolis ricotta-épinards et de spiruline en poudre seront présentés.

⁶ <https://www.algamar.com/fr/algues-certifiees-bio/>

⁷ <https://www.olivier-microalgues.fr/12-spiruline-fraiche-surgelee>

Le Tableau 1 ci-dessous présente les prix de différents distributeurs de raviolis ricotta-épinards présents sur le marché.

Tableau 1: Comparaison des prix (€/kg) de raviolis ricotta-épinards de différents GMS et supermarchés.

Entreprise/ Marque/ Distributeur	Produit	Prix
Bertagni chez Delhaize	Raviolis ricotta-épinards	3,09 € pour 250 g 12,36 €/ kg
Boni chez Colruyt	Tortellinis ricotta-épinards	0,975 € pour 250 g 3,90 €/kg
Rana chez Colruyt	Tortellinis ricotta-épinards	2,96 € pour 250 g 11,88 €/kg
Carrefour	Raviolis bio ricotta-épinards	2,99 € pour 250 g 11,96 €/kg
Naturalia magasin bio (en ligne)	Raviolis épinards-emmental bio	3,90 € pour 250 g 15,60 €/kg

Suite à cette analyse, il est possible de déterminer une plage de prix dans laquelle se situent les raviolis ricotta-épinards. Celle-ci est de 3,90€/kg à 15,60€/kg. Les raviolis les plus chers se trouvent dans les magasins bio et les *Delhaize*. Les moins chers sont ceux des marques distributeurs tel que boni.

Le Tableau 2 présente les prix de spiruline en poudre de différents producteurs.

Tableau 2: Comparaison des prix (€/100g) de spiruline en poudre de différents fournisseurs.

Entreprise/Marque	Produit	Prix
<i>Biotona</i>	Spiruline en poudre bio	5,45€ pour 100 g
<i>Sana Gaïa</i>	Spiruline en poudre bio	4,78€ pour 100g
<i>Anima vital</i>	Spiruline en poudre	6,56€ pour 100g
<i>La spiruline de Montauban</i>	Spiruline en poudre	18€ pour 100g

Les prix pour la spiruline en poudre varient de 4,78€ /100 g à 18€ /100 g sachant que ceux-ci ne sont pas des prix de gros. Une hypothèse serait que nos raviolis soient plus chers que les traditionnels raviolis ricotta-épinards. Cela serait dû à la présence de spiruline qui est une matière première chère. Malgré cette hypothèse, selon notre parrain industriel, le prix d'épinards en poudre est de 5,87€/kg. Cela est un prix de gros que l'on ne peut comparer avec les prix énoncés pour la spiruline. Le prix de nos raviolis sera brièvement déterminé dans le point 4.5 de la partie IV (4.5 prix de revient).

1.6 Business Model Canvas

Pour ce BMC, les points proposition de valeur, cible, relation client, et canaux de distribution seront abordés afin de présenter notre stratégie d'approche sur le marché. (Annexe 1)

1.6.1 Proposition de valeur

Notre proposition de valeur, permettant de nous différencier, est représentée par trois axes principaux. Le premier est la nutrition. En effet, notre produit contient de la spiruline, ce qui permet de l'enrichir en protéines. Celle-ci contient également d'autres nutriments tels que des vitamines (B1), des acides gras polyinsaturés et des éléments minéraux (Fer).

Le deuxième pilier sur lequel repose notre proposition de valeur est l'environnement. La spiruline est d'origine végétale et non animale. Cela engendre, lors de la production, l'utilisation de moins d'eau et un dégagement plus faible en dioxyde de carbone. De plus, une partie de notre packaging sera constituée de matériaux issus du développement durable.

Enfin, le dernier axe constitue la facilité d'utilisation du produit. La seule étape de préparation pour le consommateur est la cuisson. Cette facilité de préparation se retrouve également dans le packaging par l'ouverture, le stockage et le transfert des raviolis dans la casserole.

1.6.2 Cibles

Les cibles touchées par notre produit seront les suivantes :

- Des personnes voulant un apport en protéines non animales telles que des végétariens et végétaliens.
- Des sportifs réguliers faisant attention à la fois à leur apport en protéines et à leur source variée.
- Des gens soucieux de l'environnement, mais également de leur alimentation qui doit être la plus variée possible.

Des personas sont des personnages fictifs et stéréotypés qui seraient intéressés par notre produit. Deux personas sont disponibles dans l'annexe 2.

1.6.3 Relation client

Une manière de rester en contact avec nos clients serait de leur expliquer pourquoi notre produit contient de la spiruline. Pour cela, un QR code sera implanté dans le packaging pour qu'ils s'informent rapidement. Une adresse mail permettra également de communiquer avec les clients afin de répondre à leurs questions.

1.6.4 Canaux de distribution

Les canaux de distribution visés peuvent être principalement les magasins bio (si notre produit l'est) car ceux-ci sont dans une optique de protection environnementale et de protection de la santé humaine. Ceci est en parfait accord avec notre propre positionnement. A partir du moment où un tel canal de distribution est visé, il faut absolument obtenir le label bio en réalisant un cahier des charges complexe et précis.

D'autres canaux de distribution peuvent être envisagés tels que les supermarchés. Actuellement, ceux-ci vendent peu de produits à base d'algues mais beaucoup de produits bios ou locaux. Encore une fois, le fait d'être bio pourrait être une porte d'entrée pour un nouveau canal de distribution. L'inconvénient des supermarchés est la visibilité. En effet, la proposition de produits est énorme pour un même besoin, la plupart des marques présentes proposent plusieurs références. Une marque telle que *Bertagni* propose des raviolis au pesto et basilic, des raviolis aux champignons, des raviolis au gorgonzola, ainsi que des raviolis aux aubergines sur un même rayon. L'autre difficulté est les conditions d'entrée dans un supermarché. En effet, un plan financier, un plan de communication, une étude de marché, le coût économique et plein d'autres documents sont nécessaires.

Des "fastfoods sains", tels que *Exki* et *Shape'n go* pourraient également proposer notre produit dans leur gamme. *Exki* propose des plats préparés sains qui prônent le végétal, le frais, le naturel et les agriculteurs respectueux de l'environnement. *Shape'n go* est un fastfood sain pour sportif. Ce genre de restauration rapide et saine pourrait donc être un canal de distribution envisageable.

2. Définition du produit

2.1 *La ricotta*

La ricotta est un fromage et est le constituant majeur de la farce de nos raviolis. Ce chapitre contient une présentation théorique de celle-ci, un point plus précis sur le lactosérum et le diagramme ainsi que les étapes de fabrication du produit.

2.1.1 *Présentation théorique (définition, caractéristiques)*

La ricotta est un fromage frais, granuleux et savoureux. Elle est largement consommée dans les pays méditerranéens. Elle peut être fabriquée exclusivement à partir du lait ou du lactosérum (encore appelé petit lait ou sérum) ou du mélange des deux (Besbes et al., 2003). Les pays méditerranéens produisaient essentiellement des fromages à pâtes dures, laissant dans le lactosérum énormément de matière grasse. Le lactosérum était alors trop gras que pour être valorisé en alimentation animale c'est donc de là qu'est venu l'idée de valoriser le lactosérum en faisant de la ricotta (Pizzillo et al., 2004). La ricotta est donc produite en récupérant toutes les matières grasses présentes dans le lactosérum.

2.1.2 *Le lactosérum*

Selon la FAO, Les quantités de lactosérum disponibles dans le monde sont considérables, c'est un sous-produit de l'industrie agroalimentaire laitière. En-effet, le lactosérum *“représente au moins 85 % du lait transformé en fromage”* (FAO, 1995).

Comme expliqué précédemment, le lactosérum provient de la fabrication du fromage. Voici le processus qu'il se passe lors de la transformation du lait pour la fabrication du fromage: le lait va tout d'abord être coagulé par ajout de présure, par l'action acidifiante de bactéries lactiques ou par acidification chimique. De cette action résulte une agrégation des micelles de caséine du lait, qui donne un gel (aussi appelé caillé ou coagulum) ainsi qu'un liquide aqueux, appelé lactosérum que l'on sépare ensuite du caillé (FAO, 1995).

Le lactosérum est formé en majeure partie d'eau (+- 87%), de protéines, de lactose, de matières grasses (+- 4%) et enfin de minéraux (Ca, K, P). La composition du lactosérum varie

en fonction de la fabrication dont il provient. Il existe deux catégories de lactosérum, le doux et l'acide. Ce qui différencie les deux est la teneur en acide lactique. En-effet, on remarque que si l'acidité est "*inférieure ou supérieure à 1,8 g d'acide lactique ($C_3H_6O_3$) par litre*", on obtient un lactosérum acide, ou un lactosérum doux (FAO, 1995):

- Le lactosérum doux : "*Le lactosérum doux est issu de la fabrication de fromage à pâte pressée cuite ou non cuite*" (FAO, 1995). Dans les fromages à pâte pressée cuite ou non cuite, on retrouve entre autres *l'Emmenthal, Gruyère, Orval, Reblochon*, etc ...
- Le lactosérum acide: "*Le lactosérum acide est issu des autres fromages obtenus par coagulation mixte ou lactique*" (FAO, 1995). Dans les fromages à pâte molle, on retrouve entre autres le *Brie* ou les pâtes fraîches comme le *Cottage Cheese*.

Les lactosérums acides contiennent moins de lactose et davantage de minéraux comme du calcium et du phosphore. Cette propriété est due à la déminéralisation de la micelle de caséine. Les protéines de lactosérum sont constituées principalement de protéines solubles. Attention cependant qu'une pasteurisation avec des valeurs élevées en température entraîne une dénaturation des protéines, et donc une diminution de la teneur en protéines.

Les propriétés techno-fonctionnelles des protéines présentes dans le lactosérum sont nombreuses: solubilité, capacité à absorber et à fixer l'eau, gélification, propriétés émulsifiantes ainsi que moussantes. Cependant, "*sa teneur relativement élevée en matières salines en fait un inconvénient majeur*" (FAO, 1995).

Il existe de nombreuses options de valorisation du lactosérum dans l'alimentation humaine et animale. Cependant, sa forte teneur en eau, sa salinité et son altérabilité rendent souvent difficile cette valorisation. Dans certains grands pays où l'industrie laitière est fortement industrialisée, l'accroissement considérable des quantités de fromages fabriqués par unité de production ne permettent plus d'éliminer le lactosérum (FAO, 1995) par valorisation dans l'alimentation humaine ou animale comme vu ci-dessus. Il se retrouve ainsi dans les cours d'eau, engendrant une pollution importante. En-effet, la DBO (demande biochimique en oxygène) pour la décomposition du lactosérum est de 40 000 (FAO, 1995), ce qui signifie qu' "*un litre de lactosérum nécessite 40g d'oxygène pour que ses matières organiques soient détruites*" (FAO, 1995). Les importants déversements de lactosérum dans la nature participent donc à l'eutrophisation des cours d'eau.

2.1.3 Diagramme et étapes de fabrication de la ricotta

La fabrication de la ricotta fermière est, dans la plupart des cas, réalisée dans de petites fromageries artisanales. Celle industrielle, est fabriquée dans de plus grosses industries avec des procédés de fabrication relativement semblables, mais à plus grande échelle (Pizzillo, et al., 2004). Les principales grandes étapes de fabrication de la ricotta se trouvent sur la Figure 20 ci-dessous.

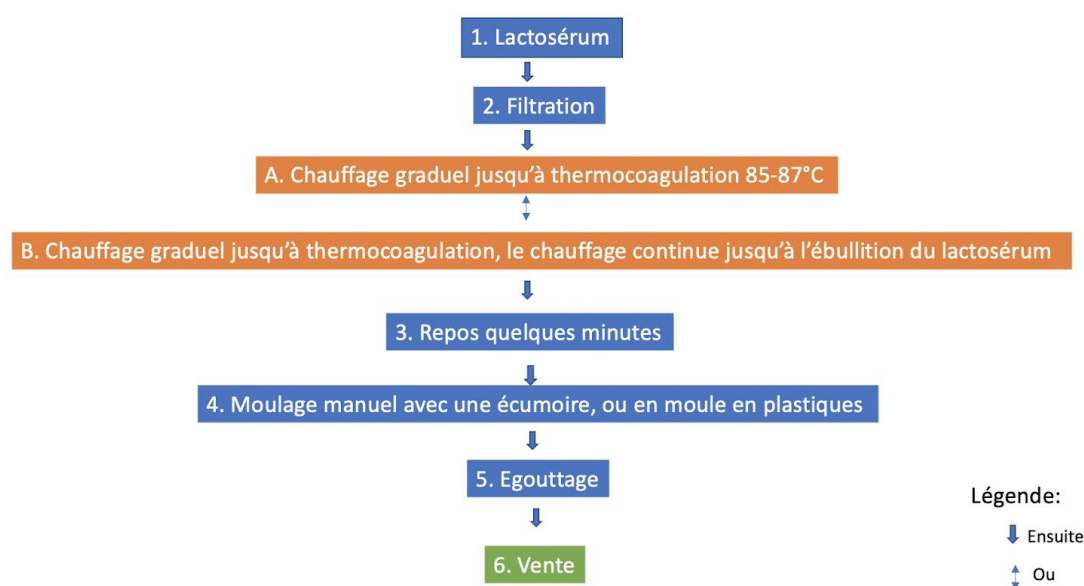


Figure 20: Schéma technologique de la production de la ricotta.

La fabrication de celle-ci commence premièrement par le lactosérum (1) qui va subir une filtration (2). Ensuite, le lactosérum va être chauffé (A et B). Dans le cadre de la fabrication fermière, le chauffage du lactosérum se fait dans la plupart des cas avec un système de chauffage classique au gaz. Lors de la fabrication de la ricotta industrielle, c'est la vapeur qui est utilisée (Pizzillo et al., 2004). Divers procédés de chauffage peuvent être employés. Le premier consiste en un chauffage graduel jusqu'à thermocoagulation vers 85°C - 87°C. Le second reprend le chauffage graduel du premier principe, mais continue jusqu'à ébullition du lactosérum (Pizzillo et al., 2004).

Après ce chauffage, un repos de quelques minutes va être effectué (3), ensuite le fromage va être moulé (4). A noter que dans le cadre de la production fermière, il n'existe pas de forme bien définie du produit fini en vue de sa commercialisation (Pizzillo et al., 2004). La dernière étape de production est un égouttage (5), après cela, la produit est prêt et peut être destiné à la vente (6).

2.3 La spiruline

2.3.1 Présentation théorique (définition et caractéristiques)

Définition : La spiruline est un nom commun utilisé pour les algues bleues, les cyanobactéries, du genre *Arthrospira*. Il existe 2 genres de spiruline: l'*Arthrospira* et la *Spirulina*. Seul le premier est d'ordre alimentaire. On la considère comme une algue microscopique appelée donc "microalgue" et elle tient son nom du fait que les cellules accolées les unes aux autres forment des filaments enroulés en hélicoïde comme le montre La Figure 21 (Karleskind, 2018).

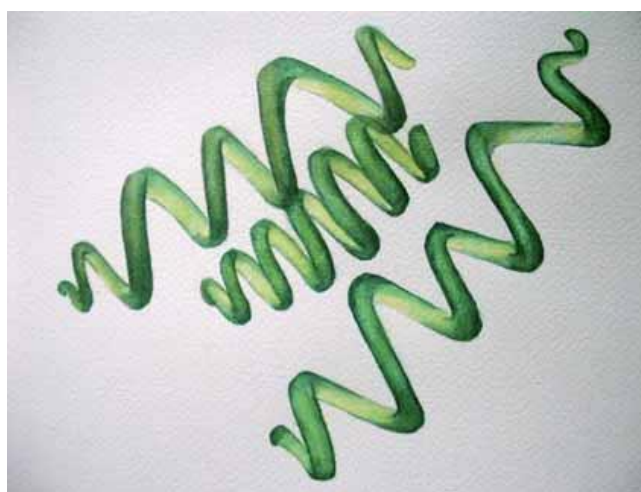


Figure 21 : Vue microscopique de la spiruline⁸.

Pour se développer, l'algue a besoin de beaucoup de paramètres en plus du soleil et du CO₂ nécessaires à la photosynthèse, ces paramètres concernent la composition de l'eau. En effet, celle-ci doit :

- Être légèrement salée : entre 3 et 5 g/l de NaCl
- Être fortement minéralisée en N, P, K, Mg, Fer et en oligoéléments (la concentration de ce mélange doit être inférieure à 1g/L)

⁸<https://sportoquotidien.files.wordpress.com/2012/08/spiruline.jpg>

- Riche en Bicarbonates de Sodium (8 g/l de NaHCO_3)
 - Extrêmement alcaline: $\text{pH} > 9,5$
 - Chaude entre 30°C et 35°C
- (Blanchard, 2019)

C'est pour cela qu'on retrouve généralement cette algue dans les lacs ou dans les mares temporaires.

Caractéristiques nutritionnelles (Karleskind, 2018) :

La spiruline est une source de composés bénéfiques pour la santé :

- Une très bonne teneur en protéines de qualité

En effet, elle contient 65% de son poids en protéines et renferme la plupart des acides aminés dont ceux essentiels: le seul qui est sous-représenté est la méthionine qui n'atteint que 80% des apports recommandés. La teneur en protéine de la spiruline est comparée avec d'autres aliments dans le Tableau 3.

Tableau 3: Quantité de protéines contenue dans différents aliments.

Aliments	Protéines (g)	% de protéines dans l'aliment
10 g de spiruline	6,5 g	65%
100 g de bœuf	20 g	20%
1 blanc d'œuf (50 g)	6,3 g	12,6%
150 g de lentilles cuites	12,3 g	8,2%

(Source: Karleskind, 2018)

- Des pigments et des molécules antioxydantes et anti-inflammatoires
 - La phycocyanine
 - La superoxydedismutase
 - La chlorophylle
 - La vitamine E
 - Le bêta-carotène

- Une teneur en fer biodisponible exceptionnelle

Le fer de la spiruline est 2 fois mieux absorbé que celui de la viande. Le Tableau 4 présente la quantité de fer dans différents aliments et le pourcentage d'absorption de celui-ci. Les épinards sont repris dans ce tableau et permettent une comparaison.

Tableau 4: Quantité de fer contenue dans différents aliments et pourcentage d'absorption.

Aliment (100 g)	Quantités de fer (mg)	Pourcentage de fer dans l'aliment
100 g de spiruline	50 à 180 mg	0,05 - 0,18%
100 g de haricots beurre	3,7 mg	0,0037%
100 g d'épinards crus	3,6 mg	0,0036%
100 g de lentilles cuites	3,3 mg	0,0033%
2 poignées d'amandes (100 g)	3,8 mg	0,0038%

(source: Karleskind, 2018)

- Une teneur en vitamine B controversée

Le mot “controversée” intervient ici car les teneurs en vitamine B varient d'une spiruline à l'autre et parfois n'en contiennent même pas.

- Des teneurs intéressantes en plusieurs vitamines du groupe B

Le Tableau 5 montre les quantités moyennes de vitamines du groupe B qui sont présentes dans la spiruline. On peut y voir qu'à l'exception de la vitamine B9, toutes les vitamines du groupe B sont représentées.

Tableau 5: *Quantité moyenne de vitamines B contenue dans 10 g de spiruline.*

Quantités moyennes de vitamines B contenues dans 10 g de spiruline		
Type de vitamine	Quantité (mg)	Pourcentage dans la spiruline
Vitamine B1	0,36 mg	0,0036%
Vitamine B2	0,46 mg	0,0046%
Vitamine B3	1,4 mg	0,014%
Vitamine B6	0,08 mg	0,0008%
Vitamine B12	30 à 64 µg	0,0003 - 0,00064%

(source: Karleskind, 2018)

- Une des meilleures sources alimentaires d'acide gamma-linolénique (GLA)

Le GLA est obtenu par transformation de son précurseur essentiel, l'acide linoléique. C'est donc une forme d'oméga-6 bénéfique.

- Une bonne source de calcium, magnésium et sélénium

Le Tableau 6 montre les taux moyens en minéraux qui sont présents dans la spiruline (calcium, magnésium, sélénium). Ces taux sont comparés par rapport aux apports quotidiens conseillés.

Tableau 6: *Quantité moyenne de minéraux présents dans la spiruline.*

Minéraux	Apports quotidiens conseillés	Quantités moyennes contenues dans 10 g de spiruline	
Magnésium	200 mg	25 à 50 mg	0,25 - 0,50%
Calcium	1000 mg	100 à 150 mg	1 - 1,5 %
Sélénium	2,5 mg	0,1 à 2,5 mg	0,001 - 0,025 %

(Source : Karleskind, 2018)

2.3.2 Diagramme de fabrication

La Figure 22 ne concerne que la fabrication de spiruline en poudre et que la production industrielle à grande échelle et ne nous sera utile que si nous nous concentrons sur une utilisation de spiruline en poudre dans notre produit fini.

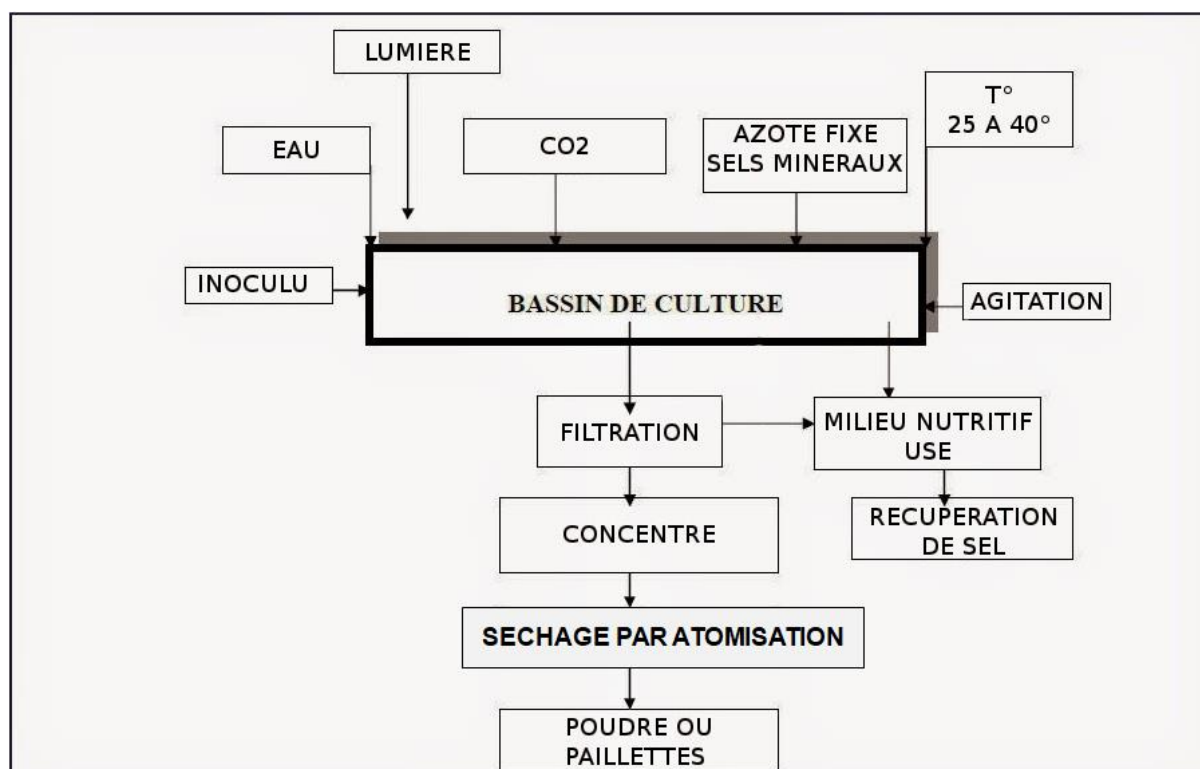


Figure 22: Diagramme de fabrication industrielle de la spiruline⁹.

Une innovation de la société *Alg&You* présentée dans la Figure 23 permet de cultiver de la spiruline fraîche grâce à un incubateur. Ce dernier pourrait se retrouver dans un processus de fabrication concernant les raviolis ricotta-spiruline afin de réduire les coûts dus à l'importation de spiruline en poudre et d'également pouvoir tester plusieurs possibilités de formes d'algue.

⁹<http://1.bp.blogspot.com/-fYCSHg4ThvE/VOpjv-JquI/AAAAAAAAADhY/bEqcTIuprN4/s1600/Shema%2Bde%2Bculture.JPG>



Figure 23 : “Bloom” de Alg&You¹⁰.

2.3.3 Étapes de fabrication

A. Fabrication industrielle (Henrikson, 1989)

Ces étapes de fabrication sont celles qui sont présentes dans la “EarthriseFarm” (Figure 24) qui se trouve en Californie où le climat est propice à la culture de spiruline en bassin. Dans cette ferme, on y trouve les plus grands bassins à culture de spiruline du monde entier.



Figure 24 : Les bassins de production de spiruline de l’EarthriseFarm¹¹.

Il faut savoir que la récolte ne se déroule pas toute l’année, celle-ci se passe entre avril et octobre. Lorsque l’été arrive à son pic, la récolte se fait toutes les 24h pour arriver à suivre la croissance de l’algue.

¹⁰<http://www.artdeville.fr/blanc-tailleur-une-reference-toulousaine>

¹¹<http://www.spirulinasource.com/PDF.cfm/EarthFoodSpirulina.pdf>

Voici comment se déroule leur fabrication industrielle de spiruline :

1. Récolte et séparation

Tout d'abord, les bassins possèdent des sortes de pales qui amènent la spiruline vers une pompe (Figure 25) qui envoie cette eau riche en algues vers le bâtiment de récolte. Dans ce bâtiment, la première étape est de séparer l'algue de l'eau grâce à différents tamis (Figure 25).



Figure 25 (de gauche à droite) : Système de pompe, Système de tamis¹².

Le premier tamis a comme rôle de filtrer les impuretés du bassin tandis que les tamis suivants ont pour but de récolter les algues microscopiques, l'eau obtenue par cette filtration est réutilisée dans les bassins. A la fin de cette opération, il y a obtention d'une pâte verte qu'on appellera le "concentré" mais contenant encore 80% d'eau c'est pour cela qu'il faut vite déshydrater le produit.

2. La déshydratation

La spiruline va être séchée par atomisation. Cette technique permet de préserver les nutriments, les pigments et les enzymes sensibles à la chaleur car, en effet, cette étape ne dure que quelques secondes avant que la spiruline en poudre ne tombe dans la trémie collectrice qui l'emmène vers la salle d'emballage.

Qu'est-ce que l'atomisation ?

L'atomisation (Figure 26) est un procédé de séchage à très haute température. Le produit est pulvérisé en petites gouttelettes dans le flux d'air chaud ce qui augmente la surface de contact et sèche plus rapidement le produit (seulement quelques secondes). Cela permet d'éviter une surcuisson qui entraînerait l'apparition de défauts organoleptiques.

¹² <http://www.spirulinasource.com/PDF.cfm/EarthFoodSpirulina.pdf>



Figure 26 : Tour d'atomisation¹³.

B. Fabrication à plus petite échelle

1) La filtration de la spiruline

L'eau de culture est récoltée à l'aide de pompes (Figure 27). Celle-ci est envoyée sur un tamis de toile très fine (les mailles sont invisibles à l'œil nu), ce qui permet de conserver uniquement une "pâte verte", appelée "biomasse" ou "concentré".

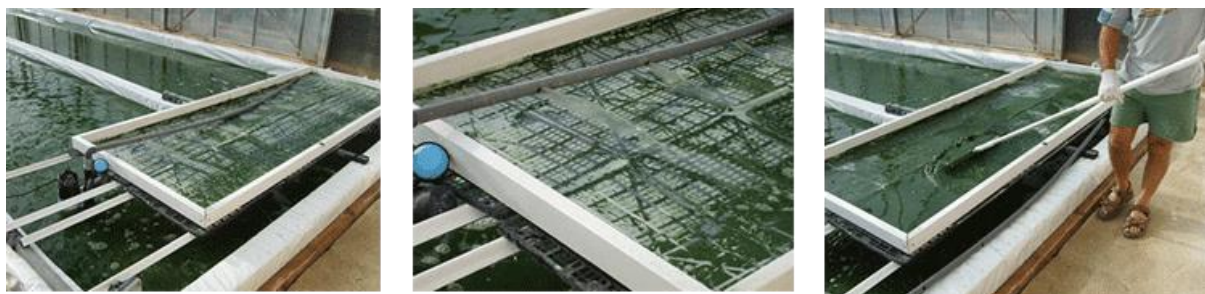


Figure 27 : Filtration de l'eau par tamisage¹⁴.

Il est nécessaire de mélanger la pâte pour la filtrer et en extraire le maximum d'eau. En attendant une dizaine de minutes, ce procédé se fait naturellement. La phase suivante consiste à rassembler la biomasse obtenue à l'aide d'une pelle en plastique et d'une petite raclette (Figure 28), il est important d'utiliser du matériel en matière plastique ou en inox afin d'éviter toute oxydation, ce qui pourrait altérer la qualité de la spiruline. Ensuite, il faut la stocker dans un bac dans un tissu (Figure 28) propre pour faciliter son transport jusqu'à la salle blanche.

¹³<http://www.spirulinasource.com/PDF.cfm/EarthFoodSpirulina.pdf>

¹⁴ <https://spiruline-des-iles-dor.com/content/14-etapes-de-production-de-la-spiruline>



Figure 28 : Obtention de la pâte¹⁵.

2) L'essorage de la spiruline

L'essorage est une étape très importante dans la production de la spiruline. Une biomasse mal essorée peut entraîner un mauvais séchage et, par conséquent, une spiruline de moins bonne qualité. La pâte verte est laissée dans le même tissu, dont les côtés seront repliés sur eux-mêmes, puis aplanie en forme de rectangle (Figure 29). Elle est ensuite placée dans un bac et subit une pression de plusieurs centaines de kilogrammes afin d'en extraire toute l'eau (Figure 29). Le pressage doit se faire sans tarder car il faut éviter que la biomasse souffre de la chaleur.



Figure 29 : Essorage de la spiruline¹⁶.

¹⁵ <https://spiruline-des-iles-dor.com/content/14-etapes-de-production-de-la-spiruline>

¹⁶ <https://spiruline-des-iles-dor.com/content/14-etapes-de-production-de-la-spiruline>

3) L'extrusion de la spiruline

Lorsque la biomasse est bien essorée, elle ressemble à une galette molle et compacte (Figure 30). Elle est roulée sur elle-même (Figure 30), placée dans le poussoir à saucisse en inox, adapté, et actionné par une manivelle, pour une extrusion en forme de « spaghettis ».



Figure 30 : Extrusion de spiruline¹⁷.

Ces « spaghettis » (Figure 31) sont disposés sur un cadre garni d'une moustiquaire en nylon que nous appelons « clayette ». Il est important de former des spaghettis réguliers, en évitant de faire des paquets, ce qui ralentirait le séchage.



Figure 31 : Formation de spaghettis¹⁸.

4) Le séchage de la spiruline

Les clayettes sont superposées sur un chariot (Figure 32), lequel sera placé dans une chambre noire munie de chauffages, de déshumidificateurs et d'un ventilateur central, où la température atteindra environ 45°C. Le temps de séchage varie selon l'épaisseur des spaghettis et le nombre de clayettes superposées mais, en général, pour un séchage optimal, il faut compter en moyenne aux alentours de 6 heures.

¹⁷ <https://spiruline-des-iles-dor.com/content/14-etapes-de-production-de-la-spiruline>

¹⁸ <https://spiruline-des-iles-dor.com/content/14-etapes-de-production-de-la-spiruline>



Figure 32 : Séchage des spaghettis de spiruline¹⁹.

5) Le broyage de la spiruline

Une spiruline bien séchée est craquante, ne colle pas à son support et se détache seule (Figure 33). Elle est broyée manuellement jusqu'à l'obtention de paillettes.



Figure 33 : Broyage de la spiruline séchée et formation des paillettes²⁰.

6) Stockage et conditionnement de la spiruline

La spiruline en paillettes est stockée dans des sachets étanches (Figure 34) à l'abri de la lumière et de l'humidité, et peut être conservée pendant plusieurs années en respectant ces conditions.



Figure 34 : Spiruline en paillettes conditionnée²¹.

¹⁹ <https://spiruline-des-iles-dor.com/content/14-etapes-de-production-de-la-spiruline>

²⁰ <https://spiruline-des-iles-dor.com/content/14-etapes-de-production-de-la-spiruline>

²¹ <https://spiruline-des-iles-dor.com/content/14-etapes-de-production-de-la-spiruline>

2.3.4 Les différentes formes de spiruline

A. Spiruline fraîche :

L'algue sous cette forme est très difficile à trouver en raison de sa durée de conservation très courte. Elle ne sera donc vendue que sur les marchés ou directement dans les élevages. En effet, la durée de conservation de celle-ci est de quelques heures à température ambiante, de 3 - 4 jours au frais et jusqu'à un an au congélateur (Spiruline France, 2015).

Contrairement aux autres formes, elle n'a subi aucun traitement thermique si ce n'est qu'une réfrigération immédiate. Elle est donc obtenue juste après le pressage, c'est ce qu'on appelle le "concentré" sur le diagramme de fabrication (cfr. Partie I point 3.2). La DLC (Date Limite de Consommation) courte, citée ci-dessus, peut être allongée jusqu'à une dizaine de jours grâce à un conditionnement sous atmosphère protectrice (Karleskind, 2018).

B. Spiruline en poudre

La spiruline en poudre est la forme sous laquelle on retrouve le plus généralement le produit. La fabrication se passe dans des atomiseurs pour les grands producteurs ou par lyophilisation mais cette dernière technique n'est jamais utilisée car elle est beaucoup trop coûteuse. Les petits producteurs vont plutôt se tourner vers un séchage au soleil qui prendra nettement plus de temps (Jourdan, 2001).

Il faut également savoir que le séchage est l'un des 2 seuls moyens, avec la réfrigération, de garder la spiruline assez longtemps pour la consommation. En effet, ces techniques permettent d'obtenir une DLC de 5 ans mais la première laisse apparaître un goût et une odeur désagréable tandis que la seconde n'altère pas le goût mais laisse apparaître une coloration bleue (Jourdan, 2001).

C. Spiruline en paillettes

La spiruline en paillettes résulte d'un procédé de plus petites productions. Comme dit ci-dessus, les petits producteurs ont un procédé de séchage au soleil ou dans des fours dans nos

régions, la température est donc plus basse (+/- 45°C) et la spiruline y est disposée sous forme de “spaghettis” qui absorbent mieux la chaleur. Cette étape dure environ 6 heures et c’est après cela qu’un broyage grossier sera réalisé afin d’obtenir des paillettes et plus soutenu pour obtenir de la poudre. La conservation sera moins efficace qu’un séchage par atomiseur car au lieu de 5 ans, la DLC sera réduite à 2 ans (Boutique de Manjolive; Spiruline France, 2015).

2.3.5 Qualité nutritionnelle

Le Tableau 7 présente les valeurs nutritionnelles de la spiruline séchée plus en détails. Ceci confirme bien toutes les caractéristiques reprises dans le point 2.3.1 et qui sont plus visibles dans la Figure schématique 35 reprise ci-dessous.

Tableau 7: Composition nutritionnelle de la poudre de spiruline séchée produite commercialement (par 100 g) (source: Tang G. et al., 2011).

Energy Content	373 kcal
Total Fat	4.3 g
- saturated fat	1.95
- PUFA	1.93
- MUFA	0.26
- Cholesterol	< 0.1
- gamma-Linolenic acid (GLA)	1080 mg
Carbohydrate	17.8 g
Protein	63 g
Vitamin A (as beta-Carotene)	352,000 IU
Total carotenoids (mean)	504 mg
- β-carotene (mean)	211 mg
- Zeaxanthin	101 mg
Vitamin K	1090 µg
Vitamin B1 (Thiamine HCL)	0.5 mg
Vitamin B2	4.5 mg
Niacin	14.9 mg
Vitamin B 6 (Pyridoxine HCL)	0.96 mg
Vitamin B12	162 µg
Calcium	468 mg
Phosphorus	961 mg
Iron	87.4 mg
Iodine	142 µg
Magnesium	319 mg
Zinc	1.45 mg
Selenium	25.5 mg
Copper	0.47 mg
Potassium	1660 mg
Manganese	3.26 mg
Sodium	641 mg



Figure 35 : Composition de la spiruline (%)²².

Selon une étude (Desmorieux, H., & Hernandez, F., 2004), le taux de protéines et de sucres présents dans la spiruline est différent en fonction du mode de séchage. En effet, plusieurs modes de séchage existent dans le monde. Dans notre travail, nous abordons le séchage par atomisation (spiruline en poudre) et par convection à 40°C (spiruline en paillettes) mais il existe également des techniques de séchage par infrarouge ou par lyophilisation. L'étude nous montre donc par ce graphique (Figure 36) les pertes en protéines selon les différents modes de séchage ainsi que la disposition du concentré lors de ce séchage (en cylindre ou en une couche fine).

²²<https://www.echlorial.fr/blog/infographie-composition-spiruline/>

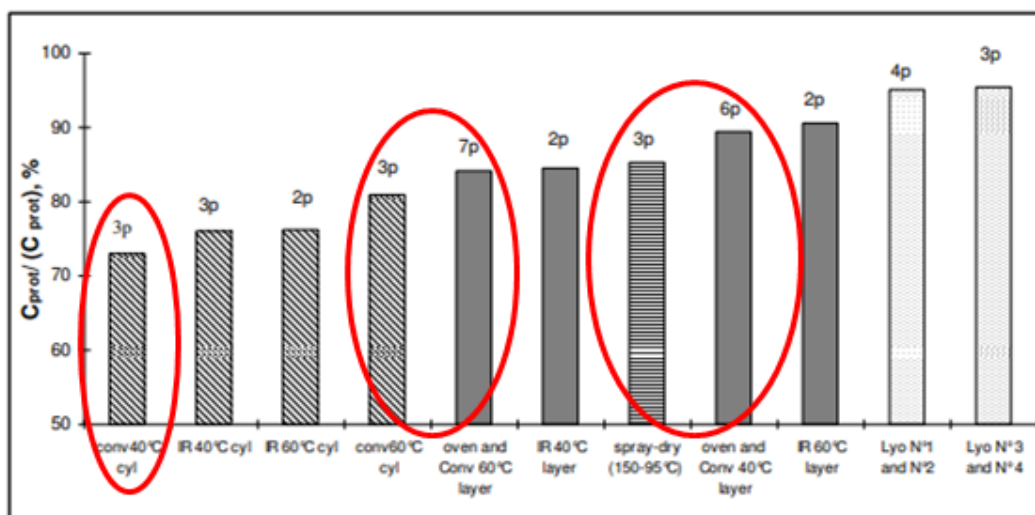


Figure 36: Effet des différentes méthodes de séchage sur le rapport teneur en protéines après séchage / teneur initiale en protéines de la spiruline (Source : Desmorieux, 2004).

Il est clair que si l'on compare les méthodes qui nous intéressent (reprises dans les cercles rouges), le séchage par convection à 40°C utilisé pour la spiruline en paillettes est la méthode avec une plus faible perte de protéines (10%) suivie de près par le séchage par atomisation utilisé pour la spiruline en poudre (15% de perte).

De plus, les processus de séchage ne dégradent pas que certaines protéines thermolabiles mais également des vitamines et des minéraux qui font que le produit final est dépourvu de sa vitalité. Ensuite, le composé phycocyanique, qui donne à la spiruline ses puissantes propriétés anti-inflammatoires et anti-oxydantes, devient presque totalement inexistant (Desmorieux, 2004).

2.3.6 Qualités organoleptiques

L'odeur ainsi que le goût de la spiruline sont gages de qualité. En effet, elle doit avoir un léger goût amer ou pas du tout de goût. La spiruline fraîche de bonne qualité est tellement fade qu'elle peut se mélanger avec n'importe quel ingrédient à l'inverse des autres algues qui ont un goût plutôt iodé non apprécié de certaines personnes (Jourdan, 2001).

A l'inverse, si elle est trop amère ou trop salée c'est que son environnement de culture était mal adapté. Ce sera pareil pour l'odeur, car, une spiruline de bonne qualité a une odeur très légère d'océan. Si ce n'est pas le cas, cela veut dire que, soit elle contient un taux élevé de bactéries provenant de nutriments fermentés, soit que son taux d'oxydation est important (Karleskind, 2018).

- Spiruline bio

Une spiruline ne peut être bio que si aucun engrais, pesticide ou produit de synthèse n'a été utilisé pour aider sa croissance ou le traitement des bassins de culture. Pour cela, il faudra donc respecter un cahier des charges qui, pour la spiruline, est celui concernant les "algues marines". Peu de petits spiruliniers français possèdent ce label car ils le considèrent peu écologique (augmentation de la consommation d'eau, rejet d'eau chargée, ...) mais cela ne les empêche pas de produire une algue de qualité (Karleskind, 2018).

2.4 Les pâtes alimentaires

La fabrication des pâtes alimentaires se fait en deux temps. Premièrement, les grains de blé doivent être nettoyés et transformés en semoule ou en farine. Dans un deuxième temps, la farine ou la semoule de blé est transformée en pâte à l'aide de procédés mécaniques, d'ajout d'eau et d'éventuels ingrédients ou additifs.

2.4.1 La mouture du blé

La mouture du blé est un procédé physique ayant pour objectif de séparer les parties comestibles du blé des éléments impropres à la consommation (Figure 37). Les premières parties comestibles sont les farines, aussi appelées "l'amande", qui constituent les réserves nutritives du grain de blé. Elles sont principalement composées d'amidon à 82% et de protéines à 12%. Les secondes sont le son, l'enveloppe protectrice du grain, et les troisièmes parties comestibles sont le germe, base du grain riche en lipides et sels minéraux (Alimentaire, 2012).

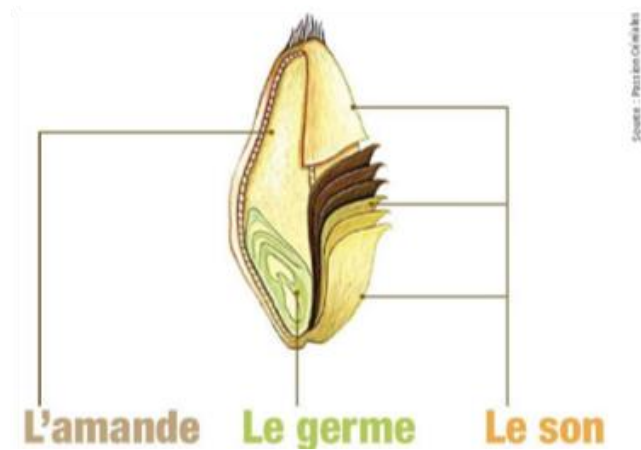


Figure 37: Grain de blé (Passions, 2016).

La mouture du blé dans les moulins industriels actuels est schématisée par la Figure 38 ci-dessous :

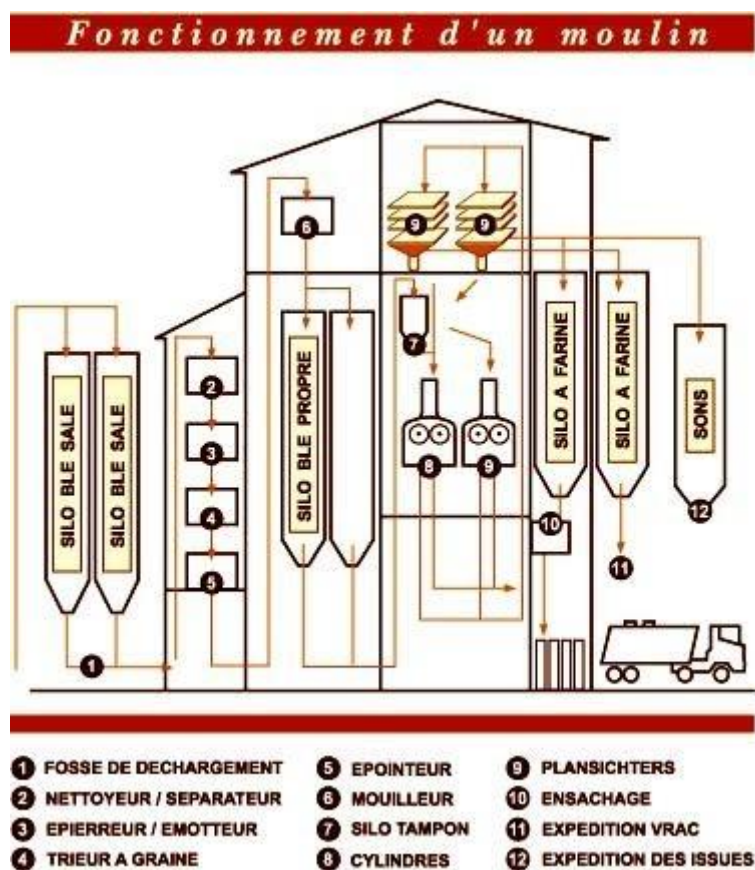


Figure 38: La mouture du blé (Alimentaire, 2012).

- Le blé est réceptionné dans des silos dits de « blé sale », c'est-à-dire pas encore nettoyé. Le passage dans ces silos est le plus court possible car le blé contient encore de nombreux déchets et pathogènes susceptibles d'altérer la qualité des farines (**point 1**).
- Le blé sale est alors nettoyé de toutes traces de terre, de restes d'autres végétaux, d'insectes et de pierres (**points 2 et 3**).
- Les grains de blés sont triés suivant leur taille pour ne garder que ceux correspondants aux capacités des machines et aux produits attendus (**point 4**).
- Les grains de blé sont époutés afin que leur pointe n'abime pas les machines suivantes dans le processus de mouture (**point 5**).
- Les grains de blé sont humidifiés afin de ne pas stresser le germe durant le stockage, ce qui pourrait l'amener à consommer les nutriments du grain (**point 6**). Le blé peut alors être stocké dans des silos de « blé propre ».
- Le blé va ensuite être broyé par des cylindres. En résulte une farine grossière (**point 7 et 8**).
- La farine grossière est envoyée dans des plansichters (**point 9**). Ces machines sont des armoires superposant différents tamis de plus en plus fins. De cette façon, les différentes farines, les germes et les sons sont séparés.

2.4.2 De la farine aux pâtes alimentaires

Après la réception et l'entreposage des différents produits nécessaires à la fabrication des pâtes alimentaires, trois grandes étapes participent à leur élaboration: le mélange et le pétrissage, l'extrusion et enfin le séchage (Alimentaire, 2012) :

1. Les différents ingrédients et additifs sont rassemblés dans un pétrin où se déroulent les processus de mélange et de pétrissage. De l'eau chauffée est également ajoutée au mélange. La pâte est malaxée afin d'être rendue la plus homogène possible. La qualité finale des pâtes alimentaires dépend fortement de la qualité du pétrissage de la pâte.
2. L'extrusion, ou le laminage, est le procédé par lequel l'air est extrait de la pâte. L'extrusion se déroule dans une chambre à vide munie d'une vis sans fin. Il est important que l'air soit totalement extrait de la pâte, auquel cas des tâches blanches et des marques d'oxydation se formeraient. Au fur et à mesure de la sortie de la pâte, le processus de découpe peut avoir lieu directement ou après séchage. Des lames coupent

les filaments de pâte de blé déjà modelés à la longueur souhaitée. Les produits à ce stade sont des pâtes alimentaires propres à la consommation mais pas à la conservation.

3. Le séchage est l'étape qui distingue les pâtes fraîches (non séchées, conditionnées sous vides et rapidement périssables) des pâtes alimentaires classiques. L'étape de séchage des pâtes se passe en deux temps. Un premier séchage court élimine une faible quantité d'eau et permet d'éviter qu'elles ne collent ensemble. Un second séchage a lieu dans un des séchoirs rotatifs ou à bandes suivant la fragilité du produit.

Le processus d'élaboration des pâtes alimentaires se clôture par leur emballage, entreposage et expédition. La qualité des pâtes alimentaires est déterminée par le bon déroulement de tous les processus depuis la récolte du blé jusqu'au produit fini. La qualité dépendra également de celle des grains utilisés, les pâtes de meilleure qualité étant faites à base de blé dur et non de blé tendre. La qualité du produit fini se caractérise par leur goût, leur capacité à rester *al dente*, leur couleur jaune-ambrée ainsi que l'absence de taches et d'odeurs (Alimentaire, 2012).

3. Conception des raviolis

3.1 Fabrication de raviolis

Les raviolis consistent en un fourrage entre deux petites feuilles de pâte de farine de blé, dont les bords sont scellés tout autour, de manière à former une enveloppe fermée. La garniture est généralement constituée de ricotta fraîche et de divers assaisonnements (épinards ou spiruline comme dans le cadre de notre travail). La majeure partie de cette garniture (aussi appelée farce) forme un renflement au centre des raviolis "dont le diamètre est à peu près un demi-quart des trois quarts du diamètre, de la longueur, des raviolis pris individuellement" (Virgil, 1960). Ces raviolis sont dès lors consommés après une brève cuisson, en les faisant bouillir dans de l'eau, en les égouttant et en ajoutant, généralement, de la sauce à spaghetti et du fromage râpé.

Ces raviolis frais doivent être consommés rapidement (à conserver entre 0°C et 4°C et à consommer maximum trois jours après ouverture), en raison de la nature périssable de leurs ingrédients humides (pâte fraîche et ricotta). En-effet, les pâtes employées pour réaliser les raviolis sont dites “fraîches”, c’est-à-dire qu’elles n’ont pas subi de procédé de séchage comme les pâtes alimentaires sèches classiques.

3.2 Diagramme théorique de fabrication de raviolis

La Figure 39 ci-dessous est une coupe permettant de comprendre le fonctionnement interne d’un automate fabriquant des raviolis. Le but ici n’est pas de rentrer dans les détails précis du mécanisme de telles machines, mais bien d’avoir une idée sur le mode de fabrication des raviolis.

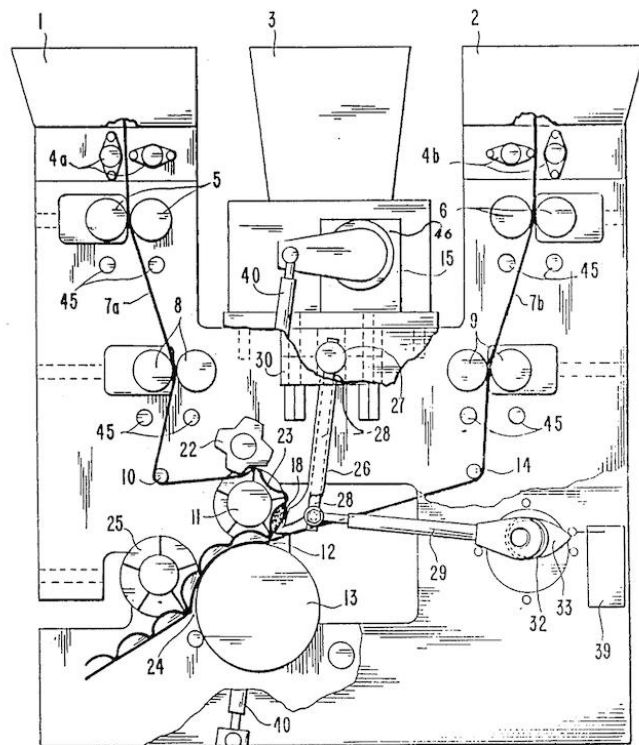


Figure 39: “Machine for making ravioli having an improved fill mechanism” (Battaglia, 1989).

La machine à ravioli comprend deux trémies de pâte (1 et 2), entre lesquelles se trouve une trémie de matériau de remplissage (3) contenant la farce du ravioli comme par exemple de la ricotta avec de la spiruline. Les feuilles de pâtes provenant des trémies 1 et 2 sont acheminées jusqu’à un point de contact.

A ce point de contact est acheminé le matériau de remplissage via une pompe spécifique. Le matériau de remplissage va donc être apporté en quantité précise correspondant au volume de la farce désirée dans le ravioli. Après que la matière de remplissage ait été introduite dans la poche de pâte, les deux feuilles vont être scellées et façonnées de façon individuelle (13). Les feuilles de pâte maintenant scellées et remplies passent ensuite à travers un second pincement (24). Une matrice de découpe (25) est conçue de sorte que chaque ravioli puisse être facilement découpé de la feuille de pâte. Les raviolis tombent ensuite sur une bande transporteuse (non représentée sur le schéma) pour être livrée à la zone de traitement et d'emballage (Battaglia, 1989). En fonction de la forme de la matrice de découpe, les raviolis peuvent avoir n'importe quelle forme comme par exemple carrée, ronde, elliptique, coquillage, ...

PARTIE II : CAHIER DES CHARGES

THÉORIQUE DU PRODUIT

Le cahier des charges théorique du produit a pour but de définir les différentes caractéristiques principales que nos raviolis à la ricotta et à la spiruline devront posséder au terme de leur fabrication. Ce cahier des charges vise à répondre le plus adéquatement et le plus précisément aux objectifs de départ. De plus, il permet de servir par la suite de repère une fois les essais en laboratoire commencés au cours du second quadrimestre.

Le contenu de cette deuxième partie est basé sur les différentes composantes présentes dans un cahier des charges ainsi que sur la structure du programme du master MICA, “les 5S”. Ceux-ci recouvrent les aspects santé, sécurité, satisfaction, service, et sociétal.

1. Santé

L’aspect santé est le fondement de notre produit. En effet, en vertu des nombreux avantages qu’a la spiruline, celle-ci permet au consommateur d’acheter un produit sain à plusieurs niveaux. Dans ce point, les différents aspects avantageux de notre produit seront envisagés et calculés.

1.1 Les protéines

Notre produit se veut d’avoir une plus-value pour le consommateur. En effet, si l’on se réfère aux avantages de la spiruline, celui la caractérisant le mieux est sa forte teneur en protéines. C’est pour cela que nous avons cherché à pouvoir l’indiquer sur notre emballage grâce à la réglementation de l’EFSA n°1924/2006.

L'allégation "Source de protéines" : "Une allégation selon laquelle une denrée alimentaire est une source de protéines, ou toute autre allégation susceptible d'avoir le même sens pour le consommateur, ne peut être faite que si 12 % au moins de la valeur énergétique de la denrée alimentaire sont produits par des protéines." (RÈGLEMENT (CE) No 1924/2006).

L'étiquetage peut également mentionner "Riche en protéines", pour cela la réglementation de l'EFSA stipule : "Une allégation selon laquelle une denrée alimentaire est riche en protéines, ou toute autre allégation susceptible d'avoir le même sens pour le consommateur, ne peut être faite que si 20 % au moins de la valeur énergétique de la denrée alimentaire sont produits par des protéines." (RÈGLEMENT (CE) No 1924/2006)

A partir de ces données, nous avons voulu nous référer au standard qui sont les raviolis ricotta-épinards. Dans ceux-ci, l'étiquette (Figure 40) indique que *Pasta Della Mamma* incorpore 32% de ricotta, 11% d'œuf, 11% d'épinards et environ 46% de pâte (obtenu par soustraction des autres ingrédients) à son produit fini.



Figure 40 : Liste d'ingrédients des raviolis ricotta-épinards de Pasta Della Mamma.

1.1.1 Calculs du pourcentage d'énergie apportée par les protéines de 500 g de raviolis

Le but serait d'obtenir l'allégation « Riche en protéines ». Celle-ci sera obtenue grâce aux protéines présentes principalement dans la spiruline mais aussi dans la semoule de blé dur, les œufs et la ricotta. Pour obtenir cette allégation, 20% de l'apport en énergie total doit provenir des protéines (RÈGLEMENT (CE) No 1924/2006). La démarche que nous avons suivie est la suivante : un calcul de l'énergie apportée par les protéines de chaque ingrédient, un calcul de la quantité d'ingrédient à utiliser pour 500 g raviolis ricotta-spiruline et un calcul de l'énergie apportée par les protéines du produit fini.

Calcul de l'énergie apportée par les protéines de chaque ingrédient

La quantité d'énergie apportée par les protéines de chaque ingrédient d'un ravioli ricotta spiruline a été déterminée. Les informations sont tirées soit de la littérature, soit d'ingrédients du commerce utilisés pour la production du produit. Le Tableau 8 ci-dessous illustre ce propos.

Tableau 8: Teneur en protéines et en énergie des différents ingrédients de ravioli ricotta-épinards.

	Semoule de blé dur	Œufs	Spiruline en poudre	Ricotta
Teneur en protéines pour 100 g d'ingrédient	10,20%	11,40%	65%	9,50%
Energie pour 100 g d'ingrédient	347 Kcal	76 Kcal	373 Kcal	115 Kcal

Calcul de la quantité d'ingrédients pour 500 g de raviolis ricotta-spiruline

Ensuite, nous avons défini de manière théorique la quantité d'ingrédient qu'il faudra mettre pour réaliser 500 g de raviolis ricotta-spiruline. Les données pour la semoule de blé dur, les œufs et la ricotta sont issues de notre standard provenant de chez *Pasta Della Mamma*. Les valeurs présentées dans le Tableau 9 proviennent de l'étiquette de 500 g de raviolis ricotta-épinards de *Pasta Della Mamma* ci-dessus (Figure 40).

Tableau 9: Quantité d'ingrédients dans 500 g de raviolis, conversion de % en g.

	Semoule de blé dur	Œufs	Spiruline en poudre	Ricotta
Teneur en ingrédients dans le produit en %	50%	11%	4%	35%
Quantité en g pour 500 g de raviolis	250 g	55 g	20 g	175 g

La quantité d'ingrédients présentée dans le Tableau 9 ci-dessus ne comprend en aucun cas l'aspect pratique. Les valeurs sont choisies de manière théorique par rapport à des standards de ravioli ricotta-épinards. Les valeurs ci-dessus devront, sans doute, être modifiées par rapport aux résultats obtenus après production des raviolis. L'évolution sera présentée dans la partie résultats (cfr. Partie IV, point 1.1.1).

Les 4% de spiruline ont été déterminés pour obtenir 500 g de produit fini mais également pour que 20% de l'apport en énergie total provienne des protéines.

Calcul de la quantité d'énergie apportée par les protéines du produit fini

Le calcul a été réalisé en multipliant la quantité d'ingrédient pour 500 g de raviolis avec la teneur en protéines de ce même ingrédient. Cette étape se répète avec tous les ingrédients pour avoir la quantité totale de protéines du produit fini.

Exemple : Pour la semoule de blé dur, il faut multiplier 10,20% (teneur en protéines pour 100 g) avec 250 g (quantité d'ingrédient utilisée). Cette opération est à répéter pour tous les ingrédients. Le Tableau 10 ci-dessous reprend l'ensemble des calculs.

Tableau 10: Calcul des quantités de protéines apportées par chaque ingrédient.

	Semoule de blé dur	Œufs	Spiruline en poudre	Ricotta
Calcul	10,20% * 250 g	11,40% * 55 g	65% * 20 g	35% * 175 g
Quantité de protéines en g dans le produit fini	25,50 g	6,27 g	13,00 g	16,62 g
Total	61,39 g de protéine pour 500 g de raviolis ricotta-spiruline			

Il est possible de déterminer la quantité d'énergie fournie par la conversion des protéines en énergie. Effectivement, 1 g de protéine fournit 4 Kcal. Dans le produit fini il y a 61,39 g de protéine donc :

$$61,39 \times 4 = 245,58 \text{ Kcal}$$

Si la quantité d'énergie totale du produit fini est connue, il est possible de déterminer le % d'énergie apportée par les protéines. Tableau 11 montre la quantité d'énergie présente dans 500 g de raviolis ricotta-spiruline.

Tableau 11: Quantité d'énergie dans 500 g de raviolis ricotta-spiruline

	Semoule de blé dur	Œufs	Spiruline en poudre	Ricotta
Calcul	$(347/100) * 250$	$(76/100) * 55$	$(373/100) * 20$	$(115/100) * 175$
Energie totale en Kcal dans 500 g de ravioli	867,5	41,8	74,6	201,25
Total	1185,15 Kcal pour 500 g de raviolis ricotta-spiruline			

Il est désormais possible de déterminer le pourcentage d'énergie apportée par les protéines par rapport à l'énergie totale du produit. Le calcul est le suivant :

$$245,48 \text{ Kcal (Énergie des protéines)} / 1185,15 \text{ (Énergie totale du produit)} * 100$$

$$= \underline{\underline{20,71\%}}$$

Le résultat est de 20,71%. Cela signifie que 20,71% de l'énergie totale du produit fini provient des protéines de tous les ingrédients. En suivant ce raisonnement théorique, l'allégation « Riche en protéines » est obtenue.

1.1.2 Qualité des protéines

Grâce à une étude (Volkman et al., 2008), il nous a été possible de calculer la dose des acides aminés essentiels dans nos 20 g de spiruline et de les comparer avec les apports journaliers recommandés (AJR) pour un adulte de 70 kg afin de calculer le pourcentage des AJR couverts par cette algue. Les résultats sont repris dans le Tableau 12 ci-dessous.

Tableau 12: Les acides aminés essentiels de la spiruline et leurs AJR.

Acides aminés essentiels	Dose dans 20 g de spiruline (mg)	AJR pour un adulte de 70 kg (mg)	% de l'AJR couvert
Phénylalanine	689	1750	39,4%
Leucine	1274	2730	46,7%
Méthionine	325	1050	31,0%
Lysine	624	2100	29,7%
Isoleucine	871	1400	62,2%
Valine	923	1960	47,1%
Thréonine	806	1050	76,8%
Tryptophane	39	280	13,9%

20 g de spiruline permet donc de recouvrir correctement certains AJR comme celui de l'isoleucine et de la thréonine. Les AJR de certains acides aminés sont moyennement recouverts comme pour la phénylalanine, la leucine, la méthionine, la lysine et la valine. L'AJR du tryptophane est faiblement recouvert par 20 g de spiruline.

1.2 Les vitamines de la spiruline

La spiruline comprend plusieurs types de vitamines mais le groupe le plus représenté est le groupe des vitamines B. En effet, à l'exception de la B9, toutes les autres sont représentées.

1.2.1 La vitamine B1

Les vitamines du groupe B sont présentes dans la spiruline et sont donc un atout non négligeable pour notre produit final. C'est pour cela que le but est de limiter les pertes lors de la cuisson ou du lessivage lorsque celle-ci se passe dans de l'eau. Pour cela, nous nous sommes concentrés sur la thiamine (vitamine B1) qui se trouve être la plus thermosensible et la plus soluble. Si on limite les pertes en thiamine, qui se conserve difficilement, on s'assure

que les autres vitamines seront présentes également ou que leur destruction/dénaturation soit également limitée (Volkman et al., 2008).

Afin de s'assurer de la présence de la vitamine B1 dans les raviolis, la température à laquelle celle-ci est détruite doit être mentionnée. Le lessivage ne sera pas pris en compte ici car la farce, comprenant les composés vitaminiques, ne sera pas en contact avec l'eau de cuisson puisqu'elle sera protégée par la pâte alimentaire. La vitamine B1 est totalement détruite à une température de 248°C, la dénaturation quant à elle débute à 108,9°C (Burdick, 2000).

En effet, pour expliquer ceci, le Tableau 13 ci-dessous nous montre la dégradation de la thiamine en fonction de la température et de la durée de cuisson, pour différentes valeurs de pH. La dénaturation est exprimée en pourcent.

Tableau 13: La dénaturation estimée de la thiamine dans un tampon phosphate

<i>t</i> (min)	<i>T</i> = 110°C				<i>T</i> = 130°C				<i>T</i> = 150°C			
	pH = 4	pH = 5	pH = 6	pH = 7	pH = 4	pH = 5	pH = 6	pH = 7	pH = 4	pH = 5	pH = 6	pH = 7
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.22	0.25	0.70	4.94	1.50	1.67	4.66	29.20	8.23	9.12	23.76	85.95
2	0.44	0.49	1.39	9.64	2.98	3.31	9.11	49.88	15.78	17.40	41.88	98.03
3	0.66	0.74	2.08	14.11	4.43	4.92	13.35	64.52	22.71	24.93	55.69	99.72
4	0.88	0.98	2.76	18.35	5.86	6.51	17.39	74.88	29.07	31.78	66.22	99.96
5	1.10	1.23	3.44	22.39	7.28	8.07	21.24	82.22	34.90	38.00	74.25	99.99
6	1.32	1.47	4.12	26.23	8.67	9.60	24.91	87.41	40.26	43.65	80.37	.
7	1.54	1.71	4.79	29.87	10.04	11.11	28.41	91.09	45.17	48.79	85.03	.
8	1.76	1.96	5.45	33.34	11.39	12.59	31.75	93.69	49.68	53.46	88.59	.
9	1.98	2.20	6.11	36.64	12.71	14.05	34.93	95.53	53.82	57.70	91.30	.
10	2.19	2.44	6.77	39.77	14.02	15.49	37.97	96.84	57.62	61.56	93.37	.

La cuisson théorique de notre produit se passe dans de l'eau à pH=7, à +/- 100°C pendant 4 minutes. Avec ces données, nous pouvons observer que pour le même temps et le même pH, une cuisson à 110°C entraîne une perte de 18,35 % de la thiamine. Le calcul va donc être fait afin de savoir si cela engendre une grande perte en vitamines dans notre produit. Cette température dénaturante de 110° ne sera jamais atteinte dans notre farce. En effet, le produit cuit dans l'eau bouillante à +/- 100°C n'atteindra jamais une température qui pourrait avoir un impact sur les vitamines. Comme nous montre l'étude (Giannuzzi, 1998), la température à cœur du produit atteindra un maximum de 99,5°C. Lorsque la spiruline en poudre sera incorporée dans la pâte les valeurs pour 100°C seront à prendre en compte.

La quantité de spiruline de départ à incorporer dans la farce sera de 4 % (20 g). Comme indiqué précédemment (cfr. Partie I point 2.3.5.), 10 g de spiruline contiennent 0,36 mg de vitamine B1. La quantité en thiamine pour 20 g de spiruline en poudre est donc

doublée (0,72 g). Si la cuisson se fait pendant 4 minutes à 110°C, la quantité restante de vitamine B1 est de 0,59 mg pour 20 g de spiruline en poudre.

1.2.2 Apport journalier recommandé en vitamine B1 couvert par l'enrichissement en spiruline

Le Tableau 14 présente l'apport en spiruline de notre produit et celui en vitamines B1 qui en découle ainsi que les AJR de cette même thiamine.

Tableau 14: Apport en thiamine pour 20 g de spiruline et son AJR.

Apport en spiruline	Apport en B1 par les raviolis	AJR pour la vitamine B1	% de l'AJR couvert par la spiruline
20 g	0,59 mg	1,5 mg	40%

20 g de spiruline permet de couvrir 40% de l'AJR en thiamine. Cette valeur est à la fois surestimée car il faut manger 500 g de raviolis pour un apport de 0,59 mg de vitamine B1. Cette valeur est aussi sous-estimée car la température de cuisson n'atteindra pas 110°C à cœur, ce qui signifie que les pertes sont plus faibles et donc que l'AJR plus grand.

1.3 Les minéraux (fer et calcium)

La spiruline contient une teneur en fer biodisponible, de plus, celui-ci est deux fois mieux absorbé que celui de la viande. Sachant que dans 10 g de spiruline on trouve 18 mg de fer, dans 20 g on trouvera 36 mg. La température de fusion du fer est d'environ 1500°C. La chaleur de cuisson n'altérant pas le fer, on peut donc affirmer que nos 20 g de spiruline auront un apport de 36 mg de fer. L'apport journalier recommandé est de 9 mg par jour.

La spiruline est également une bonne source de calcium, comme pour le fer, elle ne sera pas altérée lors de la cuisson. En-effet, sa température de fusion est de 840°C. Sachant que 10 g de spiruline contient 1000 mg de calcium, 20 g contient donc 2000 mg. L'AJR est de 1000 mg (données récupérées sur l'Anses).

En conclusion, avec 20 g de spiruline, l'apport journalier recommandé en fer et calcium sera respecté pour une portion de 500 g de raviolis.

1.4 Aspect santé sur l'étiquette

Les mentions obligatoires selon le règlement INCO (règlement n°1169/2011) sont les suivantes:

- Déclaration nutritionnelle

Une déclaration nutritionnelle doit être faite sur l'étiquette afin d'informer le consommateur et elle devra comprendre 7 principaux éléments qui sont :

- La valeur énergétique
- La matière grasse ; dont les acides gras saturés
- Les glucides ; dont le sucre
- Les protéines
- Le sel

Dans notre cas, la spiruline apportant des vitamines et des éléments minéraux, il est possible de rajouter ces micronutriments à cette déclaration. L'énergie doit être exprimée en KJ ou en Kcal et les nutriments en g de nutriment pour 100g d'aliments. Les valeurs nutritionnelles de référence doivent être indiquées sur l'étiquette également.

- Nutri-score

Conformément à l'arrêté royal du 1 mars 2019, le nutri-score devra être calculé et indiqué sur l'étiquette de l'emballage. Le calcul se fait en accordant à chaque nutriment une plage de note allant de 0 à 10 (énergie, sucre simple, sel, acide gras saturé) ou de 0 à 5 (protéines, fibres). Selon la quantité d'un nutriment, le score varie entre 0 et 10 ou 0 et 5. Tous les scores sont additionnés sachant que ceux de l'énergie, des sucres simples, du sel et des acides gras saturés sont négatifs.

2. Sécurité

Cet aspect comprend les risques microbiologiques des raviolis mais également de la spiruline. De plus, les métaux lourds et la DJA sont également présentés pour la spiruline. Enfin, l'aspect sécurité sera abordé d'un point de vue de l'étiquetage.

2.1 Risques microbiologiques des pâtes fraîches

Les risques microbiologiques doivent être analysés attentivement étant donné que les pâtes utilisées seront des pâtes fraîches et non des pâtes sèches. Compte tenu de leur caractère “frais” et donc de la présence d’eau, la présence et le développement d’agents microbiologiques sera favorisé. Le Tableau 15 ci-dessous reprend, selon certains règlements, les limites acceptables de certains micro-organismes dans les pâtes fraîches.

Tableau 15: Risques microbiologiques dans les pâtes fraîches nature ou farcies (Ministère de la santé, Critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires Lignes directrices pour l’interprétation, 2018).

Pâtes fraîches		n	c	m	M	Signification	Etape d’application du critère	Références
Pâtes fraîches nature ou farcies (Tortellini, Ravioli, Conchiglie, Agnolotti, Grantortelli, Spätzle, Schupfnudeln)	Moississures	5	2	10 ⁶ UFC/g	10 ⁶ UFC/g	Altération	Distribution	Mikrobiologi-sche Untersuchung von Lebensmitteln J. Baumgart Hygieneverordnung 2002)
	E. coli	5	2	10UFC/g	10 ³ UFC/g	CHP	Distribution	
	Staphylocoques coagulase positive	5	2	10 ³ UFC/g	10 ³ UFC/g	Santé 2	Distribution	
	Salmonella	5	0	Abs/25g		Santé 1/CSA	Distribution	Règlement 2073/2005/CE
	Bacillus cereus	5	2	10 ³ UFC/g	10 ⁴ UFC/g	Santé 2	Consommation	Normes Québec 2009
	Clostridium perfringens	5	2	10 ³ UFC/g	10 ⁴ UFC/g	Santé 2	Consommation	Normes Québec 2009

Tableau 15 montre les risques microbiologiques du ravioli. Malgré cette énumération, la bactérie *L.monocytogenes* n’est pas reprise alors qu’on la retrouve facilement dans le lait et donc dans les fromages. C’est donc pour cela que la partie suivante énumère les risques microbiologiques du fromage frais.

2.2 Risques microbiologiques du fromage frais

Le Tableau 16 ci-dessous présente tous les risques microbiologiques relatifs aux fromages. La dernière section du tableau est celle qui nous intéresse le plus, celle-ci concerne les fromages frais (à pâte molle, non affinés). Trois micro-organismes ont été retenus : *E.coli*, *L. monocytogenes*, *Salmonella*, leur limite acceptable se trouve dans le tableau.

Tableau 16: Risques microbiologiques présents les produits à base de lait (Ministère de la santé, Critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires Lignes directrices pour l'interprétation, 2018).

Fromages frais (fromage à pâte molle, non affiné) (au lait pasteurisé)	<i>E. coli</i>	5	2	10 ² UFC/g	10 ³ UFC/g	Santé 2	Fabrication niveau le plus élevé	Règlement 2073/2005/CE
	<i>L. monocytogenes</i>	5	0	100 UFC/g		Santé 1/CSA	Consommation	
	<i>Salmonella</i>	5	0	Abs/25g		Santé 1/CSA	Consommation	Règlement ministériel du 10 août 1995 relatif aux produits laitiers Règlement 2073/2005/CE

2.3 Risques microbiologiques et chimiques des algues

2.3.1 Réglementation

La spiruline n'a pas subi d'évaluation du risque par l'EFSA et n'est pas considérée comme médicinale en Europe. Cependant, elle est bien reconnue comme un aliment par la FAO tandis que le Codex la répertorie comme un additif alimentaire, en tant que colorant (ANSES, 2017).

Vis à vis de cette spiruline, deux types de contaminations peuvent être problématiques.

1. Contaminations par des métaux lourds:

Le Tableau 17 énumère les métaux lourds pouvant constituer un risque lors de la consommation d'algues. Le tableau exprime la teneur maximale en métaux lourds et d'iode en mg/kg d'aliments secs. Les techniques de prélèvement d'échantillons et d'analyses sont fixées dans le règlement (CE) N° 333/2007.

Tableau 17: Teneur maximale en métaux lourds et en iode dans les algues/légumes/condiments (mg/kg sec), (CEVA, Réglementation algues alimentaires Synthèse 10/02/2014).

Algues légumes ou condiments en mg par kg sec	
Arsenic minéral	3
Cadmium	0,5
Mercure	0,1
Plomb	5
Etain	5
Iode	2 000

Certaines protéines (les phycobiliprotéines) de la spiruline sont dotées d'un fort pouvoir chélatant. Ceci explique la présence de métaux lourds dans celle-ci. En effet, si l'eau de culture est chargée en différents métaux, la spiruline va directement les capter et cela va

donc se retrouver dans les produits finis. C'est pour cela qu'il faut faire attention à l'eau de culture utilisée.

Une étude (Al-Dhabi, 2013) a pu montrer que sur 25 échantillons de spiruline commercialisés sur le marché, aucun ne montre un taux en métaux lourds plus élevé en Ni, Zn, Hg, Pt, Mg et Mn que les DJA. Ceci résulte, comme expliqué ci-dessus, de la qualité de l'eau de la culture qui est souvent analysée dans les productions industrielles de spiruline en poudre. Il faudra donc s'assurer de la provenance de celle-ci à l'achat.

2. Contaminations par des micro-organismes :

Les techniques à utiliser pour les analyses microbiologiques sont soit celles de référence (ISO), soit les alternatives validées conformément au protocole défini dans la norme EN/ISO 16140, par exemple celles certifiées par AFNOR Validation. Les risques microbiologiques pour les algues séchées sont présentés dans le Tableau 18.

Tableau 18: Risques microbiologiques des algues séchées (CEVA, Réglementation algues alimentaires Synthèse 10/02/2014).

Germes aérobies mésophiles	$\leq 10^5$ / gramme
Coliformes fécaux	≤ 10 / gramme
Anaérobies sulfitoréducteurs	$\leq 10^2$ / gramme
<i>Staphylococcus aureus</i>	$\leq 10^2$ / gramme
<i>Clostridium perfringens</i>	≤ 1 / gramme
<i>Salmonella</i>	absence dans 25 grammes

Il faut savoir que les conditions fortement basiques de la culture de spiruline (pH de l'ordre de 10) ne permettent pas le développement d'autres bactéries pathogènes. Mais, les risques peuvent être présents lors des manipulations suivant la culture, autrement dit la récolte, le lavage, le séchage, le stockage ou encore le conditionnement. De plus, un autre risque de contamination par des micro-organismes est celui par des cyanobactéries d'autres genres produisant des toxines appelées cyanotoxines (ANSES, 2017).

Aucune réglementation n'existe en ce qui concerne les additifs autorisés avec la spiruline. En effet, à l'heure actuelle la spiruline se consomme pure sans additif nécessaire à sa conservation.

2.3.2 Doses journalières admissibles de la spiruline

L'article 15 du décret 2006-352 relatif aux compléments alimentaires ne fait pas l'objet de restrictions d'emploi ou de recommandations de substances à surveiller pour la spiruline. Malgré un manque de restriction, le Codex Alimentarius répertorie la spiruline comme un additif alimentaire en tant que colorant et il existe donc une limitation de leur concentration maximale qui est de l'ordre de 0,5 à 2% m/m (gramme/gramme d'aliment). Tandis que, pour la FDA, la spiruline a un statut de GRAS aux doses de **3 à 6 g/j.** (ANSES, 2017).

2.4 L'étiquetage

Les mentions obligatoires selon le règlement INCO (règlement n°1169/2011) sont les suivantes:

1. Date limite de consommation et date limite d'utilisation optimale:

Notre produit devra avoir une DLC ou une DLUO. Conformément au règlement européen n°1169/2011, la DLC ou la DLUO sont des mentions obligatoires qu'il faudra indiquer.

Notre produit aura une DLC plutôt qu'une DLUO car notre denrée alimentaire est microbiologiquement très périssable et constitue après peu de temps un danger pour la santé humaine. Comme une DLC est utilisée, la mention " À consommer jusqu'au..." ou "À consommer avant le ..." est obligatoire. La durabilité de notre produit sera inférieure à 3 mois et implique donc d'inscrire la DLC sous cette forme : Jour/Mois.

Le règlement européen n°178/2002 stipule que « toutes denrées alimentaires mises sur le marché doivent être saines et sûres » c'est donc pour cela que la vérification de la DLC par l'industrie agroalimentaire doit se faire. Cela peut se faire par un test de vieillissement ou un challenge test.

2. Allergènes

Il faut citer les substances ou produits provoquant des allergies ou des intolérances. Ces substances ou produits doivent être indiqués dans une police différente afin d'être remarqués par le consommateur. La liste se trouve dans les annexes du règlement INCO.

Dans le cas de notre produit, il y a utilisation de semoule de blé dur et d'œufs pour la conception de la pâte. De plus, le ravioli contient de la ricotta et du parmesan, donc des protéines de lait, un troisième allergène qui lui se trouve dans la farce.

Mentions obligatoires complémentaires

Si le produit est conservé sous atmosphère protectrice il faut le mentionner, s'il possède également des édulcorants.

Afin de garantir une bonne conservation du produit, celui-ci sera emballé dans un plastique sous atmosphère protectrice. Tout comme *Pasta Della Mamma*, l'atmosphère sera constituée d'azote et de dioxyde de carbone. Les proportions de ces deux mélanges peuvent être multiples mais la proportion choisie de gaz est soit identique à celle de *Pasta Della Mamma*, 80% de dioxyde de carbone et 20% d'azote, soit différente selon les conditions en laboratoire.

Le Tableau 19 est issu du règlement n°1333/2008ci-dessous et énumère les gaz autorisés dans les raviolis.

Tableau 19: Gaz autorisés dans les denrées alimentaires.

Additifs alimentaires dont la présence est permise dans toutes les catégories de denrées alimentaires à l'exclusion des denrées alimentaires pour nourrissons et enfants en bas âge, sauf dispositions spécifiques				
E 290	Dioxyde de carbone	quantum satis		Peut être utilisé dans les denrées alimentaires destinées aux nourrissons et aux enfants en bas âge
E 938	Argon	quantum satis		Peut être utilisé dans les denrées alimentaires destinées aux nourrissons et aux enfants en bas âge
E 939	Hélium	quantum satis		Peut être utilisé dans les denrées alimentaires destinées aux nourrissons et aux enfants en bas âge
E 941	Azote	quantum satis		Peut être utilisé dans les denrées alimentaires destinées aux nourrissons et aux enfants en bas âge
E 942	Protoxyde d'azote	quantum satis		Peut être utilisé dans les denrées alimentaires destinées aux nourrissons et aux enfants en bas âge
E 948	Oxygène	quantum satis		Peut être utilisé dans les denrées alimentaires destinées aux nourrissons et aux enfants en bas âge
E 949	Hydrogène	quantum satis		Peut être utilisé dans les denrées alimentaires destinées aux nourrissons et aux enfants en bas âge
E 338 - 452	Acide phosphorique — phosphates — diphosphates, triphosphates et polyphosphates	10 000	(1) (4) (57)	Uniquement denrées alimentaires séchées en poudre (autre-ment dit les denrées alimentaires séchées au cours de la fabri-cation et les mélanges de ces denrées), à l'exclusion des denrées alimentaires énumérées dans la partie A, tableau 1, de la présente annexe
E 551 - 559	Dioxyde de silicium – silicates	10 000	(1) (57)	Uniquement denrées alimentaires séchées en poudre (autre-ment dit les denrées alimentaires séchées au cours de la fabri-cation et les mélanges de ces denrées), à l'exclusion des denrées alimentaires énumérées dans la partie A, tableau 1, de la présente annexe Applicable: jusqu'au 31 janvier 2014

Le tableau 19 montre que le dioxyde de carbone et l'azote sont autorisés pour la conception d'une atmosphère protectrice pour des raviolis.

Réglementation sur le stockage des aliments

L'arrêté royal du 13 juillet 2014 relatif à l'hygiène des denrées alimentaires reprend un tableau qui liste les denrées alimentaires à réfrigérer et leurs conditions de température (Tableau 20). Sur celui-ci, notre produit sera repris dans la section n°21 : "Les denrées alimentaires qui portent une mention indiquant qu'elles doivent être tenues au frais, sans indication de température spécifique de conservation." Les conditions de températures pour ce type de produit sont les suivantes : $\leq +7,0$ °C.

Tableau 20: Conditions de stockage de différentes catégories d'aliments (Agence Fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire, 2014).

9) Produits de la pêche frais, entiers ou préparés, escargots frais et cuisses de grenouilles fraîches, les parties comestibles fraîches des mammifères marins et reptiles aquatiques, ainsi que les produits de crustacés et de mollusques cuits et réfrigérés;	Température approchant celle de la glace fondante : ≤ 4 °C
10) Produits de la pêche transformés, produits transformés d'escargots, de cuisses de grenouilles, de parties comestibles de mammifères marins et reptiles aquatiques;	$\leq +4,0$ °C
11) Lait cru;	$\leq +6,0$ °C
12) Salades ou croquettes de pomme de terre ou de légumes, ou plats et mets composés d'une ou plusieurs de ces denrées alimentaires;	$\leq +7,0$ °C
13) Fruits ou légumes découpés, une ou plusieurs sortes; jus de fruits ou de légumes fraîchement pressés une ou plusieurs sortes;	$\leq +7,0$ °C
14) Graines germées ou jeunes pousses;	$\leq +7,0$ °C
15) Lait pasteurisé, crème fraîche ou pasteurisée, lait battu (babeurre), frais ou pasteurisé;	$\leq +7,0$ °C
16) Yaourt et laits fermentés autres que ceux traités thermiquement et remplis aseptiquement;	$\leq +7,0$ °C
17) Fromage frais; fromage en tranches;	$\leq +7,0$ °C
18) Produits d'œuf liquides, dont la teneur en sucre est inférieure à 50 % ou dont la teneur en sel de cuisine est inférieure à 15 %;	$\leq +7,0$ °C
19) Produits de la pâtisserie contenant soit de la crème ou des succédanés de la crème, soit une crème préparée à base de produits visés par l'arrêté royal du 24 mai 1976 concernant les poudres et autres composés destinés à la préparation de pudding et de denrées analogues;	$\leq +7,0$ °C
20) Œufs cuits pelés;	$\leq +7,0$ °C
21) Les denrées alimentaires qui portent une mention, qui fait apparaître qu'elles doivent être tenues au frais, sans indication de température spécifique de conservation.	$\leq +7,0$ °C

Notre référence, des raviolis ricotta-épinards vendus par *Pasta Della Mamma*, a sur l'étiquetage cette mention concernant les conditions de conservation : "doit être conservé à +4°C". Ceci est détaillé dans la fiche technique de ce produit en annexe n°3 De plus, l'étiquetage comprend le moyen et le temps de conservation après ouverture c'est à dire : "au réfrigérateur pendant maximum 3 jours".

3. Satisfaction

Cette partie comprend la description qualitative et quantitative de nos raviolis d'un point de vue de la texture, de l'Aw et l'humidité, et de la couleur. Lors de l'élaboration de cette partie, il a été difficile de trouver des données quantitatives d'un point de vue de la couleur et de la texture. Malgré l'aide de notre parrain industriel, les documents fournis ne donnaient que des données subjectives. Le goût sera abordé par une analyse sensorielle théorique.

3.1 Texture du ravioli cuit

Voici une caractérisation qualitative des raviolis ricotta spiruline (dénomination française) avec les paramètres quantifiables qui s'y rapportent. Le but est de caractériser de manière théorique notre ravioli d'un point de vue la texture. Cette caractérisation est présentée au Tableau 21.

Tableau 21: Description des paramètres mécaniques d'un ravioli et comparaison avec d'autres aliments (Delacharlerie et al., 2008).

Dénomination française	Paramètres mécaniques	Produit « exemple »
Mou	Dureté faible	Fromage blanc
Friable	Fracturabilité faible	Madeleine
Collant	Adhérence faible	Guimauve
Dense, compact, lourd	Densité élevée	Pâte d'amandes
Moelleux	Élasticité faible	Mie de pain
Tendre	Chewiness faible	Petits pois
Dénomination française	Paramètres géométrique	Produit « exemple »
Grossier	Grande particule	Gruau d'avoine
Dénomination française	Paramètres de surface	Produit « exemple »
Humide	Humidité faible	Pomme

Les paramètres énoncés dans le tableau ci-dessus ne pourront être utilisés car ils ne sont pas transformés en données quantifiables. Ces données sont présentées à titre indicatif. Lors de la partie pratique, la texture sera mesurée sur nos raviolis.

D'autres données concernant la texture sont disponibles dans la fiche technique des raviolis ricotta épinards de *Pasta Della Mamma* en annexe n°3, mais encore une fois, aucune donnée chiffrée n'est fournie concernant la texture. Les données sont subjectives : bonne texture et masticabilité faible.

3.2 *Aw et humidité*

L'activité de l'eau des raviolis est située entre $0,92 \leq A_w \leq 0,97$. Ces données proviennent de la fiche technique produit de notre parrain industriel. Cette fiche peut être consultée dans l'annexe n°3.

Cette donnée d'activité de l'eau sera utilisée comme référence pour le séchage de nos raviolis dans la partie pratique de ce travail. Nous considérons que se trouver dans cette tranche de données d' A_w limite au maximum notre modification de texture et notre développement microbien dans le produit.

L'humidité des raviolis est supérieure ou égale à 24%. Encore une fois, cette donnée provient de la fiche technique de notre parrain industriel.

3.3 *Colorimétrie*

Encore une fois, aucune donnée quantifiable et scientifique concernant la couleur du ravioli n'a été trouvée. La fiche technique des raviolis de notre parrain nous donne cependant des informations sur la couleur de la pâte qui doit être "le jaune typique de l'œuf".

Dans la partie pratique, le colorimètre sera utilisé afin de caractériser les trois paramètres suivants : la clarté (L^*), l'indice de rouge (a^*) et l'indice de jaune (b^*) du ravioli. La Figure 41 illustre les trois paramètres et leur échelle de couleur.

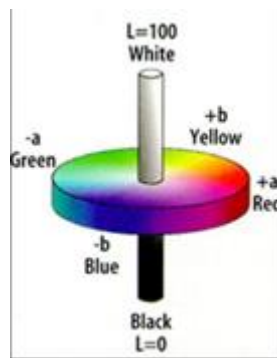


Figure 41: Échelle de couleur des paramètres L^* a^* b^* .

3.4 Goût

Aucune analyse sensorielle sur les raviolis ricotta-épinards n’a été trouvée. Encore une fois, la fiche technique nous donne de brèves informations sur le goût et l’odeur du ravioli. Effectivement, “Le goût et l’odeur doivent être typiques d’un ravioli ricotta épinard et ne peuvent présenter des goûts et des odeurs étrangers”. Cette fiche technique se retrouve dans l’annexe n°3.

Les analyses sensorielles nous permettant de caractériser le goût ne pourront pas être réalisées de manière pratique dans ce travail à cause d’un manque de temps lié à la crise du coronavirus. Cependant, un plan d’action théorique pour la réalisation d’analyse sensorielle a été établi.

3.4.1 Test hédonique sur la ricotta

Pour réaliser ce test, deux ricottas distinctes seraient présentées à des jurys: une *Galbani* et une *Boni*. Le participant devrait exprimer quelle ricotta il préfère entre ces deux-ci.

3.4.2 Flash profile

Un flash profile est utilisé pour deux raisons. La première est que le produit a un nouvel ingrédient (la spiruline) qui n’a pas pour habitude d’être consommé. Il ne sert à rien de le comparer avec d’autres raviolis préexistants. Le mieux est de connaître les descripteurs qui sont reliés à notre produit. Deuxièmement, le flash profile permet de déterminer les

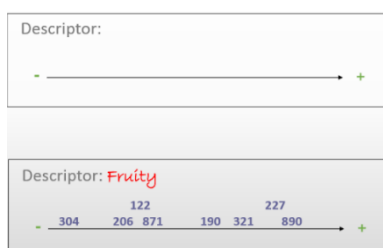
descripteurs qui seront par la suite utilisés pour la conception de la liste du RATA (Rate All That Apply).

Suite à cette méthode d'analyse sensorielle, le goût du ravioli et la texture de la farce et de la pâte sont visés. Pour le profil flash, un standard du ravioli va être défini plus tard dans la partie pratique.

Méthodologie :

1. Faire goûter le produit aux participants
2. Après avoir goûté, ceux-ci écrivent une liste de descripteurs qui sont liés au produit. Cette liste est à faire de manière individuelle.
3. Chacun à leur tour, les participants énoncent leurs descripteurs.
4. Tous sont rassemblés sur un document. Cette étape de mise en commun permet à certains participants de modifier leurs descripteurs si ceux des autres sont mieux formulés, cela permet également d'ajouter des descripteurs auxquels les participants n'avaient pas pensé.
5. Après la mise en commun, chaque participant, de manière individuelle, classe les produits goûtés selon un descripteur.

Voici un exemple d'échelle allant d'une intensité faible vers une intensité élevée pour un descripteur étant "fruité". Certains produits peuvent être situés au même niveau sur l'échelle. Cette explication est présentée par la Figure 42 ci-dessous.



*Figure 42: Échelle de descripteurs allant d'une intensité faible vers une intensité élevée.
Pour chaque descripteur, cette échelle est à réaliser.*

6. Ensuite les données sont analysées.

Plan d'action :

Pour cette expérience, différents raviolis vont être réalisés afin de les comparer sur différents paramètres et de les classer en fonction de leur intensité. Pour cela, certains paramètres vont différer :

- La farine : semoule et farine complète
- La farine et spiruline : pâte avec spiruline et sans spiruline

Le nombre d'échantillons est de 4 par participants. L'échantillon est un demi-ravioli, le but est de ne pas saturer le panel. Les échantillons sont présentés tous en même temps, l'ordre de dégustation n'est pas défini. De l'eau et des biscuits secs sont mis à disposition afin d'enlever tout goût interférant. Les échantillons sont numérotés aléatoirement afin de ne pas créer de suite logique que le participant pourrait mal interpréter.

3.4.3 Rate all that apply

Le RATA est une analyse sensorielle permettant de faire une sélection des descripteurs appropriés pour le produit goûté. De plus, chaque descripteur pourra être intensifié. Encore une fois, un ravioli standard est déterminé dans la partie pratique.

Méthode et plan d'action :

1. Les participants goûtent les produits proposés
2. Pour chaque produit, ils cochent les descripteurs appropriés présents sur une liste préalablement créée
3. Pour chaque descripteur, une intensité est déterminée. Ceci est représenté par la Figure

43

<input type="checkbox"/>	Juteux	1	2	3	4	5
<input checked="" type="checkbox"/>	Ferme	1	2	3	<input checked="" type="checkbox"/>	5
<input type="checkbox"/>	Sucré	1	2	3	4	5
<input checked="" type="checkbox"/>	Amer	<input checked="" type="checkbox"/>	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>	Acide	1	2	3	4	5
<input checked="" type="checkbox"/>	Odeur de Fraise	1	2	<input checked="" type="checkbox"/>	4	5

Figure 43 : Exemple de liste de descripteurs et intensité associée à chacun

4. Analyse de l'ensemble des données.

Création de la liste de descripteurs:

Cette liste a été créée avec des descripteurs qui sont susceptibles de caractériser notre produit.

La Figure 44 comprend ces descripteurs et leur échelle d'intensité.

○ Umami	1	2	3	4	5
○ Amer	1	2	3	4	5
○ Végétal	1	2	3	4	5
○ Aillé	1	2	3	4	5
○ Acide	1	2	3	4	5
○ Doux	1	2	3	4	5
○ Terreux	1	2	3	4	5
○ Fade	1	2	3	4	5
○ Epicé	1	2	3	4	5
○ Salé	1	2	3	4	5
○ Fromage	1	2	3	4	5
○ Sucré	1	2	3	4	5

Figure 44: Liste de descripteurs pour des raviolis ricotta-spiruline et échelle d'intensité pour chaque descripteur.

3.4.4 Test hédonique sur les raviolis

Le but de l'analyse est tout d'abord de déterminer si la couleur du ravioli est bien représentative de la gamme de produit et si celle-ci plaît au consommateur.

Les couleurs des raviolis seront les suivantes:

- Jaune lié à une pâte aux œufs traditionnelle
- Vert lié à une pâte avec de la spiruline
- Brun lié à une pâte avec de la farine complète

Les participants vont faire une appréciation des couleurs séparément afin de déterminer si elle leur plaît et si celle-ci est représentative de la gamme de produit suggérée.

4. Service

Dans ce point, l'ensemble des fonctions de l'emballage sont énoncées: transport, facilité d'ouverture, reconnaissance du produit, reconnaissance de la marque, informations du consommateur par l'étiquette.

4.1 Cahier de charges fonctionnel de l'emballage

4.1.1 Fonctions primaires de l'emballage

Le cahier de charges de l'emballage a été établi sur la base de la règle dite des "10 R" de l'éco-conception (Léonard, 2019). Ces règles montrent quels principes adopter et quelles règles suivre afin de diminuer les déchets, le poids des emballages pour avoir un meilleur impact sur l'environnement et être ainsi plus écologique. Le cahier de charges de l'emballage a pour but d'assurer plusieurs fonctions primaires:

- **Reconnaître le produit et les ingrédients**

Un logo "Alguente" (Figure 45) qui présente une forme de ravioli par ses dentelures permet d'identifier la spiruline par la présence de l'algue, du nom et des couleurs typiques de celle-ci.



Figure 45 : Logo Alguente

Une fenêtre plastifiée qui permet aux consommateurs de voir les raviolis. Ceci assure également une fonction d'assurance de qualité pour le consommateur, "on mange avec les yeux".

Les couleurs utilisées pour l'étiquette mais également pour l'écriture sur le packaging se rapprochent le plus possible d'un bleu pétrole (Figure 46). Ce bleu pétrole représente la couleur de la spiruline dont la référence est disponible en annexe 4.



Figure 46 (de gauche à droite) : couleur bleu pétrole, couleur de la spiruline

Le jaune va également être utilisé pour l'écriture et la couleur sur l'étiquette. Le jaune représente la pâte alimentaire présente pour former les raviolis et enfermer la farce (Figure 47). Sa dénomination précise est le jaune bouton d'or dont la référence complète est disponible dans l'annexe 4 (Figure 47). La couleur utilisée pour le logo sera plus foncée.



Figure 47 (de gauche à droite) : couleur jaune bouton d'or, couleur de la pâte.

- **Transmettre les informations sur le produit**

Une étiquette avec l'ensemble des mentions légales déjà énoncées dans les parties précédentes sera présente.

Un QR code sera disponible sur le packaging. Celui-ci, une fois scanné, permet d'accéder à un site expliquant ce qu'est la spiruline mais également quelles sont ses qualités nutritionnelles. Le site contiendra aussi des informations sur le moyen de culture utilisé pour la spiruline et ses avantages environnementaux (cfr. Partie IV, point 4.3).

Encore une fois, le logo sera une brève source d'informations sur les raviolis et l'ingrédient principal, la spiruline. Les informations trouvées sur le logo ont déjà été énoncées dans la partie précédente.

- **Créer une différenciation et innover pour booster les ventes**

La forme du packaging va être considérée comme une différenciation par rapport aux autres packagings existant dont le but est de contenir des raviolis. Celle-ci sera un cylindre (Figure 48) de même style que les “Pringles”. Le but est d’empiler les raviolis les uns sur les autres ou de les mettre en vrac dans un cylindre.



Figure 48 : Packaging circulaire désiré.

L’encre utilisée pour les informations sera également un moyen d'innover dans le packaging. Actuellement, rien n’est disponible sur le marché mais des alternatives vont se présenter. Effectivement, une encre à base de spiruline pourrait être utilisée sur le packaging. Celle-ci est un coproduit de la production de spiruline et est utilisée pour contrer l’utilisation d’encre provenant de la pétrochimie. Elle est considérée comme durable et ayant un impact carbone négatif. Elle est la seule à base d’algue, il n’en existe aucune autre pour l’instant. Elle a été utilisée pour la réalisation d’un guide touristique de l’état du Colorado (Jenny Brewer, 2019). La Figure 49 montre un exemple d'utilisation de cette encre pour l'impression d'un guide touristique de l'état du Colorado:

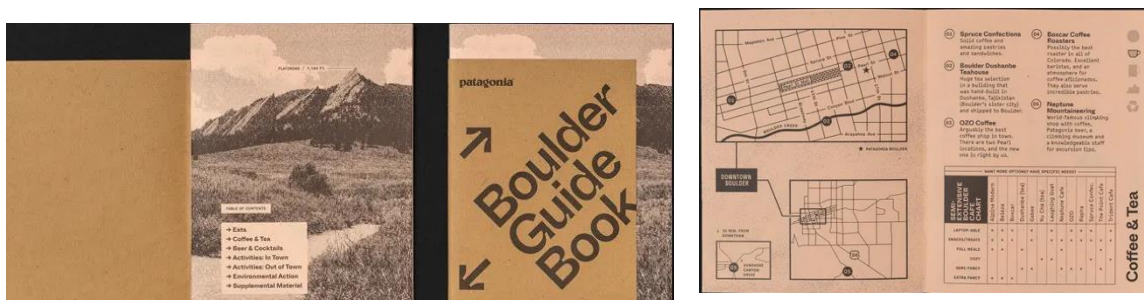


Figure 49 : Dépliant imprimé avec de l’encre à la spiruline (Brewer, 2019).

Pour cette encre, il existe deux inconvénients par rapport à notre projet. Le premier est que la couleur obtenue n'est pas celle du bleu pétrole qui était désirée. C'est un compromis auquel il faudra faire face, une encre durable à base d'algue ou une couleur représentant celle de la spiruline mais issue du pétrole.

Le second inconvénient est que le produit n'est pas disponible sur le marché et il n'est pas encore certifié que cette encre pourra être utilisée sur tout type de matériel d'emballage.

La forme de la fenêtre sur le packaging est également un moyen de se différencier. Celle-ci ressemblerait à un hublot d'un bateau (Figure 50), d'un sous-marin pour mettre en évidence le côté mer lié à l'algue. Même si notre produit n'est pas une algue en soi, pour les consommateurs cela équivaut à une algue. D'un point de vue de la conception du packaging, si cela est trop cher pour concevoir un hublot en relief, celui-ci sera imprimé sur l'étiquette ou directement sur le carton.



Figure 50 : De gauche vers la droite : hublot, types de packaging souhaités.

- **Protéger le produit et assurer la sécurité des marchandises**

Le plastique utilisé pour emballer les raviolis n'est pas assez rigide pour protéger les raviolis de quelconque choc ou manipulation. C'est pour cela que la boîte de carton rigide permettra une plus grande protection et sécurité du produit.

- **Contenir les raviolis**

Le poids final souhaité est de 500 g qui est le même que celui analysé chez nos concurrents. Les raviolis sont empilés les uns sur les autres. Par rapport à la référence de raviolis ricotta épinards choisie, on sait que 500 g contient environ 22 raviolis. La référence a un diamètre de 6,5 cm et une épaisseur de 2 cm.

- **Adaptation au transport et au stockage**

Au vu des dimensions du packaging (cfr. Point “contenir les raviolis”), le logiciel *Picador* va être utilisé afin de déterminer la position optimale des boîtes dans le carton de transport pour minimiser les pertes. Le nombre de cylindres par boîte ainsi que le nombre de boîtes par palette seront également calculés.

1) Calcul de la dimension d'un ravioli

Pour les raviolis ronds : 6 cm de diamètre (Annexe 5)

Calcul d'une sphère :

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$$

$$V = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 3,25^3$$

$$V = 143,79 \text{ cm}^3$$

Volume d'un quart de sphère :

$$V = 143,79 / 2$$

$$V = 71,89 \text{ cm}^3$$

2) Calcul de la dimension d'une boîte pour 22 raviolis

$$V = 71,89 \cdot 22$$

$$V = 1581,73 \text{ cm}^3$$

Calcul d'un cylindre

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Le rayon est de 4,5 cm car les raviolis sont empilés les uns sur les autres mais pas totalement sur le même axe. Si la hauteur est de 25 cm, le volume du cylindre est de 1589,63 cm³ et comprend donc les 22 raviolis.

3) Calcul du nombre de cylindres dans l'emballage secondaire

Un emballage secondaire de type carton FEFCO 201 double cannelure brun à pour dimensions (en cm) de 50x40x25. Le volume de la boîte fait donc 50 000 cm³ et peut donc contenir environ 31 cylindres sans compter les pertes de volume (50 000/1589,63).

La palette en Europe a une dimension (en cm) de 120x80. La hauteur théorique choisie serait de 2 mètres.

- **Imperméabilité à l'eau et aux gaz**

L'imperméabilité à ces 2 facteurs permet à notre produit de garder un environnement stable dans le packaging. En effet, certains produits sont secs et ne doivent pas gagner en humidité (chips, biscuits, ...) et d'autres sont emballés sous atmosphère protectrice avec un mélange de gaz connu et choisi dans des proportions connues. Cette imperméabilité permet donc de garder ces constantes stables dans le temps et d'ainsi assurer le non-développement des microorganismes, de retarder l'oxydation, d'allonger le temps de conservation et d'éviter la perte des qualités organoleptiques du produit.

Afin d'arriver à ces critères stricts, la Figure 51 présente les différents matériaux que l'on souhaite utiliser:

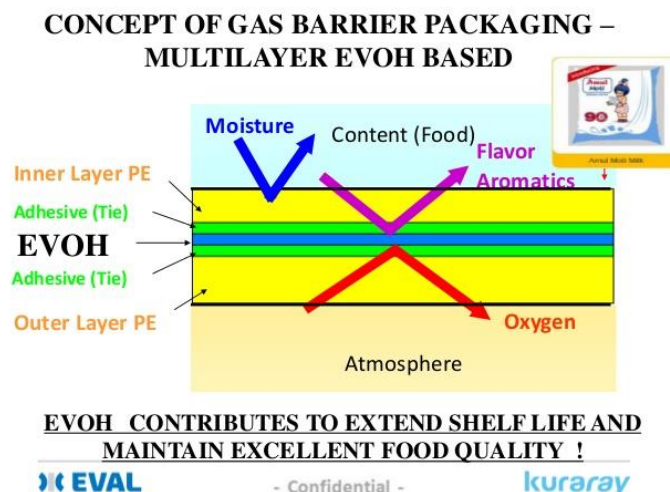


Figure 51: Concept de packaging imperméable aux gaz composé d'EVOH (EVOAL, 2015).

Dans ce concept de packaging imperméable aux gaz repris en Figure 51, le film plastique utilisé est une couche d'EVOH (Ethylène Vinyl Alcohol) qui présente des propriétés intéressantes pour notre produit fini. L'EVOH est un matériau plastique extrudable qui est une excellente barrière à l'oxygène, l'eau et à d'autres produits volatils, il permet donc de préserver également les saveurs et les arômes des aliments.

Afin de remplacer une des deux couches de Polyéthylène (PE) présentes dans la figure ci-dessus, nous aimerions utiliser de l'APET qui demeure l'une des alternatives aux autres polymères les plus respectueuses de l'environnement. Nous nous retrouverons donc avec une couche APET/EVOH/PE formant ainsi un plastique complexe souple (ou rigide), qui nous fournira un matériau basique pour le conditionnement des produits frais. De plus, il est également possible de placer le produit sous atmosphère modifiée avec ce genre de complexe. Cette possibilité rendrait le packaging très imperméable à l'eau, à l'oxygène et résisterait à une température de -20°C et à un remplissage à chaud inférieur à 80°C.

Cette association de polymères formera un film plastique qui pourra être accolé au carton certifié FSC ou recyclé. L'emballage externe pourra donc entièrement servir au support pour les mentions légales ainsi qu'à la présentation du produit sans devoir se soucier de l'aspect conservation de ce dernier.

4.1.2 Fonctions secondaires de l'emballage

Voici les différentes fonctions secondaires requises (Léonard, 2019) pour un emballage primaire.

- **Facilité d'ouverture et conservation**

L'ouverture se fera facilement grâce à un couvercle également en carton (Figure 52) tout comme pour le packaging. Ce couvercle assure une conservation par sa "soudure" qu'il faudra défaire pour ouvrir la boîte (Figure 52) comme utilisé dans beaucoup d'emballage comme par exemple les boîtes de pâtes sèches. Après ouverture, il est possible de refermer le cylindre en reposant le couvercle.



Figure 52 (de gauche à droite) : Boîte cylindrique en carton avec couvercle, système simplifié d'ouverture.

- **Facilité de transport et de disposition dans une caisse**

La forme cylindrique permet une facilité de transport. La disposition est soit horizontale soit verticale et permet une bonne stabilisation des cylindres dans la boîte en carton.

- **Manipulation aisée du produit**

Le cylindre et son couvercle permettent d'avoir une ouverture facile, une fermeture réalisable après l'ouverture, une facilité de versement dans la casserole ainsi que d'une prise en main facile.

- **Résistance aux chocs, aux chutes, à une compression, à une fissuration, à une déchirure, à l'usure et au gerbage**

Le carton doit conférer absolument une certaine rigidité à l'emballage afin de résister à tous types de chocs et d'accidents lors des manipulations.

- **Cohérence avec la marque, positionnement du produit et reconnaissance aisée de la marque**

Le logo, les couleurs (bleu-vert et jaune) ainsi que le packaging unique pour des raviolis font que notre marque et son positionnement sont facilement identifiables.

Le nom “*Alguente*” peut se décomposer en 2 :

- Le mot “Algue” pour la spiruline qui enrichit les raviolis.
- Le mot “Al Dente” pour les pâtes fraîches et caractérisant une cuisson parfaite de celles-ci.

- **En accord avec le concept d'éco-responsabilité**

Le carton sera soit un carton recyclé soit aura un label FSC. L' APET est un plastique recyclable. De plus, l'encre utilisée pourrait être une encre à base d'eau car, comme expliqué plus haut, l'encre à la spiruline est introuvable sur le marché. Si une étiquette est utilisée celle-ci pourra être en papier FSC également.

- **Format adapté à la mise en rayon**

La hauteur ainsi que le diamètre de l'emballage permettent une mise en rayon verticale du produit et d'ainsi prendre moins d'espace tout en permettant un facing vertical important.

- **Dimensions de l'étiquette adaptées**

Le Règlement n°1169/2011 dit INCO (JOUE, 2011), mentionne que l'étiquette dépend de la surface de notre emballage. "Le règlement prévoit, pour les mentions obligatoires, une taille de caractère de minimum de 1,2 mm. Toutefois, lorsque la face la plus grande de l'emballage présente une surface inférieure à 80 cm², la taille de caractère minimum est réduite à 0,9 mm."

4.2 Règlements relatifs à l'étiquetage

Les mentions obligatoires selon le règlement INCO (règlement n°1169/2011) sont les suivantes :

- **Dénomination de la denrée**

La nomination de la denrée alimentaire doit se faire en fonction de la dénomination légale. Si celle-ci n'existe pas, le nom du produit doit être une explication de la denrée alimentaire. Sur base de produits existants, notre dénomination légale est « Pâtes fraîches aux œufs farcies à la ricotta et aux algues ».

- **Liste des ingrédients**

Les ingrédients doivent être énumérés dans l'ordre décroissant de leur importance pondérale au moment de leur mise en œuvre. Certaines modalités techniques doivent être prises en compte concernant les additifs alimentaires impliquant leur nom de catégorie suivi du code « Exxx » ou de leur nom spécifique.

La proportion des ingrédients se présente comme suit pour des raviolis ricotta-épinards de la marque *Rana* (quantité décroissante):

1. Semoule de blé dur (31,1%)
2. Ricotta (petit lait, crème, sel) (13,6%)
3. Semoule de blé dur
4. Œufs (10,8%)
5. Epinards

La marque *Rana* présente les ingrédients sous une autre forme (Figure 53). Elle présente à la fois les ingrédients présents dans la pâte alimentaire et les ingrédients de la farce.

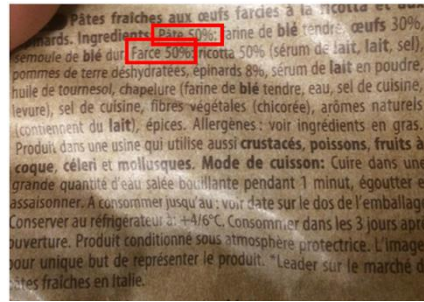


Figure 53 : Liste des ingrédients des raviolis Rana.

- **Quantité d'un ingrédient**

La quantité d'un ingrédient doit être indiquée sur l'étiquette à partir du moment où l'ingrédient est dans la dénomination du produit, si l'ingrédient est mis en évidence sur l'étiquette (en gras, par exemple) ou si l'ingrédient est essentiel pour caractériser l'aliment.

La dénomination du produit pourrait très bien contenir le mot algue ou encore spiruline ce qui nous oblige à indiquer la quantité de spiruline dans le produit. De plus, la spiruline étant la proposition de valeur il se peut qu'elle soit mise en évidence sur l'étiquette ce qui renforce l'obligation d'indiquer la quantité. La dénomination légale actuelle est : "pâtes fraîches aux œufs farcis à la ricotta et aux algues". Les ingrédients suivants devront être dès lors quantifiés : œufs, ricotta, algue (spiruline) car ils sont dans la dénomination. De plus, le blé lui aussi devra être quantifié car c'est un allergène et donc mis en évidence.

La quantité de l'ingrédient sera indiquée en pourcentage du poids total de l'aliment.

- **Poids net du produit**

Selon l'arrêté royal du 28 décembre 1979, la quantité nominale (masse que l'emballage est censé contenir) doit être inscrite sur l'emballage de manière lisible, indélébile et visible. La taille minimum de la police est déterminée selon la quantité nominale. Si celle-ci se trouve entre 300 et 500 g, la taille de la police doit être au minimum de 4 millimètres pour le poids. La quantité de raviolis dans notre emballage sera de 500 g.

Cet arrêté parle également de contenu effectif qui est la masse réellement contenue par l'emballage. Celle-ci doit respecter les écarts tolérés indiqués dans cet arrêté. Si la quantité nominale est de 500 g, l'écart maximum toléré en moins est de 3%. Cela signifie que le contenu effectif doit être au minimum de 285 g, en dessous de cette mesure le producteur est en fraude.

La quantité nominale doit également être suivie du symbole « e » dont les proportions dimensionnelles sont à respecter selon le poids affiché (par exemple : 500 g = 4mm). Ce symbole présente que la quantité apposée sur l'emballage est estimée et présente donc une marge d'erreur tolérée. Le poids va donc devoir être vérifié par le producteur. Le protocole de mesure est décrit dans l'arrêté énoncé à plusieurs reprises ci-dessus.

5. Sociétal

Ce point ne va pas être développé dans ce travail car les informations qui auraient dû être dans cette partie ont déjà été énoncées précédemment. Effectivement, l'introduction présente la spiruline comme alternative aux protéines animales ce qui diminue l'impact environnemental. Ce point aurait été le principal argument de cette partie mais il a déjà été développé de long en large. De plus, les cibles auxquelles répond notre produit ont déjà été citées dans l'introduction et dans le BMC.

PARTIE III : DÉVELOPPEMENT

PRATIQUE DU PRODUIT

Cette partie comprend toutes les étapes de formulation théoriques et pratiques réalisées afin d’obtenir notre produit. Elle se divise en deux chapitres. Une première “méthode” qui comprend un mode opératoire théorique pour la production artisanale de raviolis à la spiruline, ainsi qu’un second mode opératoire adapté à la production industrielle. Dans le deuxième chapitre sont présentés toutes les manipulations et résultats obtenus lors des nombreuses séances de formulation.

1. Méthode

1.1 Méthode pour la production artisanale de raviolis à la spiruline

Au plus nous abordons une approche de fabrication semblable aux produits proposés par *Pasta Della Mamma*, au plus il sera facile pour notre production de raviolis à la spiruline de passer à grande échelle. C’est donc pourquoi l’ensemble de la production artisanale et des tests se feront sur base d’un standard. Ce standard a déjà été évoqué et utilisé pour divers calculs dans la partie santé du cahier des charges théorique.

- **Mode opératoire de la production de raviolis ricotta-spiruline:**

1. Liste des ingrédients:

- 250 g de semoule de blé dur
- 1 œuf
- 175 g de ricotta
- 20 g de spiruline sèche
- Sel
- Épices (poivre, sel)

2. Préparation:

- Pour la pâte:
 - Mélanger la semoule, l'œuf et le sel dans le robot (*Kitchen Aid*)
 - Déterminer les paramètres optimaux
- Pour la farce:
 - Homogénéiser la ricotta avec la spiruline sèche, le poivre, le sel, l'ail et le citron (mélange manuel)
- Fabrication des raviolis:
 - Fariner la table
 - Étendre la pâte sur la table
 - Marquer la pâte avec les formes à raviolis
 - Déposer la farce dans chaque ravioli
 - Étendre la deuxième pâte au-dessus de la première
 - Fermer et découper les raviolis

La cuisson des raviolis est de 10 minutes. Après ce temps, l'entièreté du ravioli est cuit.

1.2 Méthode pour la production industrielle de raviolis à la spiruline

1.2.1 Diagramme de fabrication et explication

Le processus de fabrication est celui actuellement utilisé par la société *Mylena Tortellini* (Annexe 6) pour produire des pâtes raviolis ricotta épinards. Ce processus comprend toutes les étapes allant des matières premières au produit fini (Figure 54).

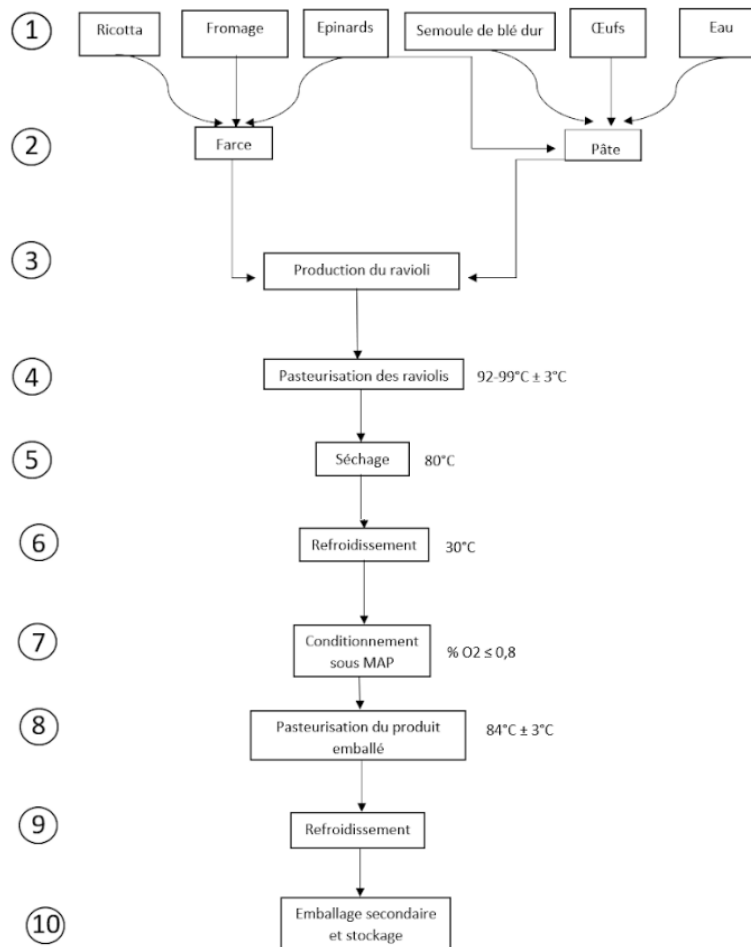


Figure 54: Schéma de fabrication industrielle de raviolis ricotta-épinards.

1) Réception et stockage des matières premières

- La ricotta et le fromage sont des matières premières réfrigérées qui seront stockées dans un réfrigérateur ayant comme consigne de température +2°C.
- Les ovoproduits sont préalablement décortiqués, pasteurisés et stockés dans un réfrigérateur.
- Les épinards sont soit des épinards en poudre, soit des épinards entiers. Les épinards entiers arrivent congelés et doivent donc être stockés dans un congélateur à une température de -18°C.
- Chaque ingrédient peut être dosé séparément afin de produire une farce et une pâte homogène dans le temps.

2) Formation de la farce et de la pâte

- Le procédé de fabrication de la farce et de la pâte est identique, il s'agit de mélanger les ingrédients.
- La farce est produite à partir de fromage de ricotta et d'épinards entiers. La farce est ensuite entreposée dans un réfrigérateur à +2°C.
- La pâte est produite en mélangeant des œufs, de l'eau et de la semoule de blé et des épinards en poudre. La pâte doit être laminée.

3) Production du ravioli

- Lors de la formation du ravioli, deux feuilles de pâtes sont jointes l'une à l'autre en ajoutant en leur milieu la farce.
- Les deux feuilles sont collées et ensuite coupées pour séparer les raviolis.

4) Pasteurisation des raviolis

- La pasteurisation se fait avec de la vapeur variant de 92°C à 99°C selon le type de ravioli.
- La durée de l'opération sera de 140 secondes.
- La température à cœur du produit dépendra du type de ravioli, elle variera entre 75°C et 80°C.

5) Séchage

- Le séchage se fait avec un système circulant de l'air chaud à 80°C pendant 9 à 12 minutes.
- La température à cœur du produit durant cette phase atteindra 60°C.

6) Refroidissement

- Cette opération dure entre 4 et 5 minutes. Le système de refroidissement est un système utilisant des flux d'air, la température de consigne est de 30°C.
- Après refroidissement, le produit atteint une température de 45°C.

7) Conditionnement sous atmosphère modifiée

- Les gaz utilisés pour la mise sous atmosphère modifiée sont l'azote et le dioxyde de carbone.
- Il se peut que l'azote soit utilisé seul pour modifier la composition gazeuse de l'emballage.

8) Pasteurisation du produit emballé

- L'emballage comprenant les raviolis est pasteurisé à une température de 84°C. Les raviolis auront une température à cœur de 80°C. Cette opération durera 6 minutes.
- Une seconde pasteurisation est nécessaire afin d'atteindre une durée de vie du produit de 150 jours après production. Sans cette nouvelle pasteurisation, la durée de conservation serait beaucoup plus courte.

9) Refroidissement

- Après pasteurisation, l'emballage et son contenu est refroidi par des systèmes à flux d'air.
- La température des produits en une heure sera inférieure à 24°C. Après 5 minutes, la température à cœur du produit diminue de 15°C. Après 10 minutes, la température à cœur du produit diminue de 30°C.

10) Mise en carton et réfrigération

- Après un passage au détecteur de métal, les produits sont groupés dans un emballage secondaire (cartons) et sont stockés dans un réfrigérateur à +4°C.

1.2.2 Processus industriel adapté à des raviolis ricotta spiruline en poudre

La seule différence par rapport à un ravioli traditionnel est que notre produit contient de la spiruline en poudre. C'est le seul élément qu'il faudra adapter à un tel processus industriel.

Dans le procédé de fabrication présenté ci-dessus, des épinards en poudre sont utilisés. Notre spiruline, elle aussi, est en poudre. Cela signifie que le procédé de fabrication des raviolis ricotta-épinards prend déjà en compte que certains des ingrédients sont en poudre. Intégrer de la spiruline à la place d'épinards doit donc être réalisable.

Actuellement, les épinards en poudre sont stockés à température ambiante et ne nécessitent pas de réfrigération (tout comme la spiruline en poudre). D'un point de vue industriel, la quantité d'épinards en poudre est mesurée par un doseur et ensuite véhiculée par un convoyeur pour la préparation de la pâte à qui une couleur verte est donnée. Les épinards en poudre ne sont utilisés que pour donner la couleur verte à la pâte. Bien que les deux matières comparées ici soient en poudre, la spiruline, elle, doit se retrouver dans la farce et non dans la pâte. La seule différence est donc la destination de la spiruline et non le moyen de l'acheminer à la farce. En conclusion, d'un point de vue du procédé de fabrication, il n'est pas utile de revoir tout le procédé car celui-ci prévoit déjà de gérer des matières premières en poudre.

La farce des raviolis ricotta-épinards de *Mylena Tortellini* est constituée d'épinards entiers surgelés. Pour la gestion de cette matière première, il est nécessaire d'avoir un lieu de stockage à -18°C. De plus, il faut également une technique de décongélation. La spiruline en poudre, quant à elle, ne nécessite pas ce genre de stockage. Un stockage à température ambiante dans un endroit sec suffit.

1.2.3 Différences concernant les risques microbiologiques des matières

Bien que le procédé de fabrication pour produire les raviolis ricotta-spiruline ne soit pas affecté par le changement de matière première, les risques microbiologiques eux peuvent être différents. Les risques microbiologiques de la spiruline vont donc être comparés avec ceux des épinards frais. Le Tableau 22 ci-dessous reprend ces risques.

Tableau 22: Comparaison des risques microbiologiques de la spiruline en poudre avec les risques microbiologiques d'épinards frais (World Health Organization, 2008).

Risques microbiologiques de la spiruline en poudre	Risques microbiologiques d'épinards frais
FMAT	<i>Listeria monocytogenes</i>
Coliformes fécaux	<i>Escherichia coli</i>
Anaérobies sulfitoréducteurs	<i>Salmonella enterica</i>
<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Campylobacter</i>
<i>Clostridium perfringens</i>	<i>Shigella spp.</i>
<i>Salmonella</i>	Hépatite A virus
	Norovirus
	<i>Cyclospora cayatenensis</i>
	<i>Cryptosporidium</i>
	<i>Yersinia pseudotuberculosis</i>

Le tableau comparatif 22 montre que le remplacement des épinards frais par la spiruline en poudre élimine des risques microbiologiques tels que certains virus (Hépatite A virus et Norovirus), mais également des protozoaires tel que *Cyclospora cayatenensis*. Cela éliminerait également la contamination par des parasites comme *Cryptosporidium* et certaine bactéries telle que *Campylobacter*. A l'inverse, utiliser de la spiruline en poudre ajoute certains risques comme la contamination du produit par des bactéries telles que les *Anaérobies sulfitoréducteurs*, *Clostridium perfringens* et *Staphylococcus aureus*.

D'un point de vue chimique, le remplacement des épinards frais par la spiruline en poudre supprimera certains risques comme la contamination par les nitrates. Effectivement, les épinards, qu'ils soient frais surgelés ou congelés, sont constitués de nitrates. Cette teneur en nitrate ne doit pas dépasser une valeur maximale qu'il est possible de retrouver dans le règlement européen suivant: RÈGLEMENT (UE) No 1258/2011. L'apport en spiruline augmente le risque de contamination en métaux lourds tels que l'arsenic minéral, le cadmium, le mercure, le plomb, l'étain et de certains oligo-éléments tel que l'iode (RÈGLEMENT (UE) No 1258/2011, 2011).

2. Expérimentations et résultats

2.1 Élaboration de raviolis ricotta-spiruline

Objectif

L'objectif de la manipulation est l'élaboration de raviolis ricotta-spiruline. La proportion des ingrédients a été élaborée sur base des raviolis ricotta-épinards commercialisés par notre parrain industriel (*Pasta Della Mamma*). La méthode utilisée s'inspire de celle présente dans le point 1.1 de cette partie.

Matériel et méthode

Liste et quantité des ingrédients utilisés :

- Spiruline en poudre (20 g)
- Semoule de blé dur (250 g)
- Farine de blé
- Œufs (1 œuf)
- Eau (75 g)
- Sel (3 g)
- Ricotta (175 g)

Réalisation de la pâte

Les ingrédients suivants sont mélangés: 250 g de semoule de blé dur, 1 œuf entier, 3 g de sel. La quantité de sel est déterminée avec un *Ilibi*, une cuillère doseuse électronique. Le mélange a été fait avec le *Kitchen Aid* et terminé à la main afin d'avoir le résultat désiré au niveau de la pâte alimentaire: une pâte lisse, légèrement humide et élastique (Figure 55).



Figure 55 (de gauche à droite) : Ilibi (cuillère peseuse), Kitchen Aid (pétrisseur), Pâte pétrie.

Réalisation de la farce

La spiruline en poudre est incorporée dans la ricotta. Le mélange se fait simplement à l'aide d'une spatule (Figure 56).



Figure 56 : Réalisation de la farce.

Laminage de la pâte

Cette opération se fait à l'aide du *Kitchen Aid* muni du laminoir. Premièrement, la pâte est laminée au premier niveau 3 fois. Ensuite, le niveau est augmenté afin d'obtenir l'épaisseur de pâte souhaitée. Lors de cette manipulation, nous nous sommes arrêtés au niveau 3 sur le laminoir (Figure 57).



Figure 57 (de gauche à droite) : Kitchen Aid, laminage avec aide du Kitchen Aid.

L'eau est ensuite mise à chauffer dans une casserole à 95°C et des moules d'une taille définie sont choisis afin de définir la taille de nos raviolis (Figure 58).



Figure 58 (de gauche à droite) : Mode de cuisson des raviolis, Emporte-pièces.

Formation des raviolis

La farce est placée sur la pâte qui va ensuite être repliée et collée grâce à du jaune d'œuf. Cela va former les anolinis (Figure 59).



Figure 59 : Remplissage des raviolis.

Pasteurisation et séchage des raviolis

Celle-ci se déroulera pendant 2 minutes dans la casserole d'eau chaude chauffée précédemment à 95°C. Le séchage, quant à lui, prendra place dans le four préchauffé à 105°C et se déroulera également pendant 2 minutes. Après le séchage, les pâtes sont placées au frigo à 4°C pour stopper toute cuisson (Figure 60).



Figure 60 (de gauche à droite) : pasteurisation des raviolis, séchage des raviolis

Cuisson et dégustation

Après ces étapes, les raviolis sont prêts à être cuits pendant 5 minutes dans une casserole d'eau salée (10 g par litre) portée à ébullition à l'aide d'une plaque à induction. Les pâtes sont ensuite prêtes à être dégustées.

Résultats et discussion

D'un point de vue organoleptique, nous avons établi les conclusions suivantes pour notre première réalisation des raviolis ricotta-spiruline:

- La pâte est bien cuite mais un peu trop sèche
- Il y a trop de pâte par rapport à la quantité de farce
- Le goût de la farce est trop "terreux", la texture est poudreuse et pas assez moelleuse. Le goût de la spiruline est beaucoup trop fort.

Ces dégustations sont réalisées en présence des membres du *Smart Gastronomy Lab* (Figure 61). Ces dégustations sont subjectives car peu de personnes goûtent le ravioli.



Figure 61 : Dégustation des raviolis.

Plan d'action pour la manipulation suivante

- Assaisonner la farce (ail en poudre)
- Rajouter du parmesan dans la farce
- Lors du laminage de la pâte: passer plusieurs fois au niveau 1 en repliant la pâte et aller jusqu'au niveau 5 pour avoir une pâte encore plus fine.
- Utilisation d'un moule à ravioli

2.2 Amélioration du goût et de la texture de la farce

Objectif

Nous comptons ajouter un ingrédient supplémentaire afin d'améliorer le goût et la texture de la farce.

Matériel et méthode

Le parmesan est le premier ingrédient choisi afin de modifier les caractéristiques organoleptiques de la farce. Tableau 23 indique la composition nutritionnelle de celui-ci.

Tableau 23: Valeurs nutritionnelles pour 100 g de parmesan.

Energie	402 Kcal-1672 Kj
Matières grasses	30 g
dont acides gras saturés	20 g
Hydrate de carbone	0 g
Protéines	32 g
Sel	1,6 g

Avec l'ajout de ce nouvel ingrédient, la teneur en protéine ainsi que l'énergie des raviolis vont être modifiées, comme le montre Tableau 24.

Tableau 24: Teneur en protéines et en énergie des différents ingrédients.

	Semoule de blé dur	Œufs	Spiruline en poudre	Ricotta	Parmesan (en poudre)
Teneur en protéines pour 100 g d'ingrédient	10,20%	11,40%	65%	9,50%	32%
Energie pour 100 g d'ingrédient	347 Kcal	76 Kcal	373 Kcal	115 Kcal	402 Kcal

La quantité de spiruline va être diminuée de moitié. En-effet, la concentration initialement choisie en spiruline était trop importante et résultait en une farce trop sèche avec un goût trop fort. La quantité de parmesan est calculée afin d'obtenir la même quantité d'énergie provenant des protéines que la référence (c'est-à-dire de 20%). Ceci est expliqué au Tableau 25.

Tableau 25: Quantité d'ingrédients dans 500 g de raviolis, conversion de % en g.

	Semoule de blé dur	Œufs	Spiruline en poudre	Ricotta	Parmesan (en poudre)
Teneur en ingrédient dans le produit en %	50%	11%	2%	35%	2%
Quantité en g pour 500 g de raviolis	250 g	55 g	10 g	175 g	10 g

La quantité de parmesan ajoutée est de 10 g. Le calcul de l'énergie apportée par les protéines est donc de 20,27%, ce qui est toujours au-dessus de 20% et permet donc une allégation.

Liste et quantité des ingrédients utilisés

- Spiruline en poudre (10 g)
- Semoule de blé dur (250 g)
- Farine de blé
- Œufs (1 œuf = 54 g)
- Eau (71 g)
- Sel (3 g)
- Parmesan (10 g)
- 0,30 g de poivre
- Chute en pâte : 140 g de pâte non utilisée (441 g de raviolis réalisés)

Le procédé de fabrication reste le même que la première manipulation à quelques différences près: la réalisation du ravioli se fait grâce à un moule cette fois-ci afin d'avoir une forme plus nette du ravioli (Figure 62). Une première couche de pâte est mise sur le moule, la farce est placée et la deuxième couche de pâte vient refermer le ravioli. Un rouleau à pâtisserie est ensuite utilisé afin d'aplatir la pâte.



Figure 62 (de gauche à droite): Raviolis avec une couche de pâte et la face. Raviolis finis.

Résultats et discussion

- Le ravioli n'a toujours pas assez de goût.
- Le ravioli est toujours trop épais d'un point de vue de la pâte.

Plan d'action pour la manipulation suivante

En conséquence, des ingrédients supplémentaires vont être ajoutés à la farce. Le sel et l'ail sont les ingrédients choisis afin d'améliorer le goût. La manipulation suivante a été réalisée le même jour à la manipulation précédente.

Liste et quantité d'ingrédients utilisés

- Spiruline en poudre (10 g)
- Semoule de blé dur (250 g)
- Farine de blé
- Œufs (1 œuf = 48 g)
- Eau (77 g)
- Sel (3,1 g) dans la pâte et 3 g de sel dans la farce
- Parmesan (10 g)
- 5 tours de moulin de poivre
- Ail (dans la farce = 1 g)

Le moule n'est plus utilisé. Les étapes de pré-cuisson et de séchage sont retirées du processus de fabrication pour cause d'une mauvaise gestion de celles-ci.

Les raviolis sont réalisés grâce à un double repliement de la pâte sur la farce. Cette technique permet d'augmenter l'étanchéité du ravioli afin de ne pas ramollir ou d'introduire une trop grande quantité d'eau dans la farce. Le but étant d'obtenir une pâte bien ferme.

Résultats et discussion

D'un point de vue organoleptique, les raviolis obtenus présentent toujours un problème de texture au niveau de la pâte. En-effet, celle-ci est trop mouillée, trop molle, la texture n'est pas ferme. De plus, ils sont flasques et non fermes, et la farce est trop visible au travers de la pâte. La différence est très visible entre nos raviolis et le ravioli de *Pasta Della Mamma* (entouré en rouge). La couleur de notre pâte est trop pâle et blanchâtre (Figure 63). Le goût a été amélioré grâce à l'ajout de sel. Toutefois, la quantité est à ajuster car le résultat est trop salé.



Figure 63 : Comparaison entre les raviolis “Alguente” et un ravioli industriel.

Plan d'action pour la manipulation suivante

- Faire une pâte plus épaisse (passer du niveau 5 au niveau 4)
- Utiliser que du jaune d'œuf et mettre le moins possible d'eau.
- Augmenter le nombre de jaunes d'œufs pour faire la pâte
- Diminuer la quantité de sel dans la farce

2.3 Amélioration de la texture et de l'aspect organoleptique de la pâte

Objectif

Deux paramètres vont être testés lors de cette manipulation:

Paramètre 1:

l'idée est de jouer sur l'épaisseur de la pâte (épaisseur 3 ou 4 sur le laminoir de la *Kitchen Aid*), et de voir quelle épaisseur rend la formulation plus aisée, laquelle est la plus attrayante, et enfin lors de la dégustation quelle épaisseur séduit le plus.

Paramètre 2:

doubler la quantité d'œufs dans la pâte. Lors de l'utilisation de 2 œufs, le calcul pour obtenir 20% ou plus de l'énergie qui provient des protéines n'a pas été effectué. Il le sera ultérieurement.

Matériel et méthode

Le même matériel et méthode utilisé ci-dessus a été utilisé lors de cette manipulation.

Résultats et discussion

Le Tableau 26 présente la comparaison entre les raviolis dont l'épaisseur et la teneur en œuf ont été modifiées.

Tableau 26: Analyse organoleptique de la pâte.

	Épaisseur 3	Épaisseur 4
1 œuf	Trop épais Trop de pâte Manque de sel	Pas assez cuit (5 min de cuisson).
2 œufs	Trop épais Temps de cuisson trop faible	Trop épais à cause de la méthode de pliage du ravioli.

L'épaisseur 3 du laminoir donne un ravioli trop épais malgré un temps de cuisson adapté (7min30). L'épaisseur 4 semble être l'épaisseur la mieux adaptée mais la technique de pliage du ravioli est à travailler. Celle-ci engendre une superposition de plusieurs couches de pâte rendant la pâte trop épaisse. De plus, lors de la cuisson, la superposition des couches empêche la cuisson de l'intérieur du ravioli alors que l'extérieur est parfaitement cuit.

Plan d'action pour la manipulation suivante

Pour la prochaine manipulation, la pâte ne sera plus pliée de cette manière et l'épaisseur 4 sera maintenue. Le temps de cuisson sera de 7min30.

2.4 Optimisation et quantification de la proportion pâte-farce

Objectif

Le but est de déterminer un moyen de quantification des raviolis afin de savoir quelle quantité de farce mettre par ravioli. De plus, une optimisation de l'espace disponible sur la pâte sera réalisée.

Matériel et méthode

- Spiruline en poudre (10 g)
- Semoule de blé dur (250 g)
- Farine de blé
- Ricotta (175 g)
- Œufs (2 œufs = 112 g)

- Eau (77 g)
- Sel (3,1 g) dans la pâte et 3 g dans la farce
- Parmesan (10 g)
- 0,45 g de poivre
- Chute en pâte: 140 g de pâte non utilisée (441 g de raviolis réalisés)
- Pâte non utilisée (198 g)
- Ail (dans la farce: 1 g)
- Jus de citron, 2 gouttes par ravioli

Le temps de cuisson est de 10 minutes, l'épaisseur est de 4 sur le *Kitchen Aid*. Le nombre de passages au niveau 1 est de 5 afin de bien travailler la pâte. La technique de pliage est une superposition de deux couches l'une sur l'autre. Lors de cette manipulation, un tampon a été utilisé afin d'avoir la forme d'un anolini. La quantité de farce par ravioli se situe entre 8 et 10 g.

Résultats et discussions

La farce plaît à l'ensemble des participants à la dégustation, la pâte est bien cuite et n'a plus ce problème d'épaisseur (Figure 64). Le problème majeur est une perte en pâte trop importante.



Figure 64 : Raviolis anolinis finis.

Avec cette recette, la quantité en protéines a été modifiée, donc la quantité d'énergie apportée par les protéines est modifiée aussi.

Pour 500 g de raviolis, 557 g d'ingrédients sont utilisés. Ici, 28,16% de l'énergie provient des protéines. Ce qui permet d'avoir l'allégation mais aussi d'avoir une formulation qui engendre un produit organoleptiquement correct (pour le goût et la texture). Le calcul est de nouveau réalisé dans Tableau 27 ci-dessous.

Tableau 27: Quantité d'ingrédients pour 500 g de raviolis ricotta-spiruline.

	Semoule de blé dur	Œufs	Spiruline en poudre	Ricotta	Parmesan (en poudre)
Teneur en ingrédient dans le produit en %	44,88%	20,10%	1,79%	31,41%	1,79%
Quantité en g pour 500 g de raviolis	250 g	112 g	10 g	175 g	10g

2.5 Élargissement de la longueur de gamme du produit

Objectif

Nous voudrions mettre un peu de spiruline dans la pâte afin de jouer sur l'aspect visuel du ravioli et le rendre vert à vert foncé comme la couleur de la farce (Figure 65).



Figure 65 : De la gauche vers la droite : Réalisation du ravioli, Ravioli fini et cuit avec une pâte verte.

Matériel et méthode

- Pâte
 - Semoule (250 g)
 - Spiruline (4 g)
 - Œuf (149 g)
 - Sel (3 g)

- Eau (11 ml)

- Farce
 - Ricotta (175 g)
 - Ail (1 g)
 - Poivre (5 tours) = 0,45 g
 - Sel (2 g)
 - Citron (4 ml)
 - Spiruline (10 g)

La mise en place de la farce a été réalisée via une poche à douille jetable, le tout sur une balance afin de contrôler au mieux la répartition et le poids de la farce dans chaque ravioli.

Résultats et discussions

- Une couleur verte satisfaisante, expérience en bouche agréable
- 200 g de “perte” de pâte due aux chutes lors de l’élaboration des raviolis
- Accueil favorable du citron dans la farce

La Figure 66 montre le ravioli fini et son épaisseur.



Figure 66 : Découpe d’un ravioli ricotta-spiruline avec une pâte verte.

Plan d'action pour les manipulations suivantes

- Faire un repas entier avec les raviolis (comment les accompagner, combien en manger, la taille du ravioli est-elle adéquate, comportement après le repas).
- Goûter le ravioli avec une sauce et du fromage.
- Rajouter de la farce. Cette suggestion est délicate car le fabricant a à cœur d'optimiser ses coûts de production en ajustant au mieux les quantités des ingrédients, tout en respectant l'équilibre avec l'expérience en bouche.
- Essayer l'accessoire de *Kitchen Aid* permettant de semi-automatiser le processus de mise de la farce entre les deux feuilles de pâtes afin de simplifier/automatiser ce processus.
- Réfléchir à comment valoriser les pertes de pâtes, comment optimiser au mieux la production pour limiter les pertes.

2.6 Optimisation du processus de fabrication des raviolis

Objectif

Nous voudrions diminuer la quantité de perte en pâte. Pour régler ce problème, un moule à ravioli carré est utilisé. La forme ronde est donc remplacée par une forme carrée.

Matériel et méthode

Liste des ingrédients

- Pâte
 - 2 g de spiruline en poudre
 - 250 g de semoule de blé dur
 - 2 œufs
 - 3 g de sel
- Farce
 - 6 ml de citron
 - 10 g de spiruline en poudre

- 175 g de ricotta
- 10 g de parmesan en poudre
- 2 g de sel
- 0,5 g de poivre
- 1 g d'ail en poudre

Paramètres

- La cuisson est de 10 min 30
- 5 g de farce par ravioli
- Utilisation d'un moule de 16 raviolis
- 126 g de perte de pâte
- 469 g de raviolis
- 36 raviolis réalisés

Résultats et discussions

La perte en pâte de la manipulation précédente avoisinait les 200 g de pâte. Lors de cette manipulation, le moule carré a permis de diminuer de 37% la perte en pâte (126 g de perte en pâte). La Figure 67 ci-dessous montre les raviolis finis ainsi que leur fabrication.



Figure 67 (de gauche à droite) : Raviolis finis ricotta-spiruline avec de la spiruline dans la pâte, Fabrication des raviolis avec de la spiruline dans la pâte.

2.7 Analyse qualitative: simulation d'une prise de repas avec le produit fini

Objectifs

Le premier but est de tester si une assiette complète de raviolis à partir de spiruline est mangeable ou si après quelques raviolis ceux-ci deviennent écœurants. Les raviolis seront accompagnés de deux sauces différentes (une sauce hollandaise et une sauce tomate). Le second but de cette manipulation est de comparer un ravioli avec une pâte sans spiruline et un ravioli avec une pâte à partir de spiruline (Figure 68).



Figure 68 : Mélange de raviolis ricotta-spiruline avec de la spiruline dans la pâte ainsi que de raviolis ricotta-spiruline “nature”.

La recette reste la même que la manipulation précédente pour les raviolis avec spiruline dans la pâte, sauf qu’il faut évidemment rajouter de la spiruline en poudre. Pour ce qui est des raviolis avec une pâte normale, la recette nous servira de standard pour les analyses hédoniques telles que celles expliquées dans le point 3.4 de la partie II. Voici la recette de la pâte sans spiruline:

Liste des ingrédients

- Pâte
 - 250 g de semoule de blé dur
 - 2 œufs
 - 3 g de sel
- Farce
 - 6 ml de citron
 - 10 g de spiruline en poudre
 - 175 g de ricotta
 - 10 g de parmesan en poudre
 - 2 g de sel
 - 0,5 g de poivre
 - 1 g d’ail en poudre

Après la manipulation, la perte et la production en pâte sont comptées. 130 g de pâte est perdu pour 460 g de pâte produite.

Résultats et discussions

L'assiette est tout à fait mangeable, les raviolis ne sont pas écoeurants et les parts ont été mangées dans leur intégralité (+/- 10 raviolis par personne). La sauce tomate se marie mieux avec les raviolis que la sauce hollandaise car elle est plus légère et plus savoureuse. Chaque personne ayant reçu la même proportion de raviolis avec une pâte blanche et avec une pâte verte, ce qui ressort de ce test est qu'il n'y a pas de différence de goûts entre ces 2 pâtes car, dans les 2 cas, le goût de la sauce prend le dessus (Figure 69).



Figure 69 (de gauche à droite) : Raviolis ricotta-spiruline avec une sauce hollandaise, Raviolis ricotta-spiruline avec une sauce tomate.

Plan d'action pour la manipulation suivante

La prochaine manipulation sera menée sur le type de farine utilisée dans la pâte. De la farine complète sera utilisée afin d'enrichir encore plus le ravioli en protéines mais également pour rajouter des fibres.

2.8 Poursuite de l'élargissement de la longueur de gamme du produit

Objectif

Nous aimerions utiliser de la farine complète lors de l'élaboration de la pâte à ravioli. Le but de la manipulation est de faire bénéficier les consommateurs des bienfaits d'une farine

complète tout en s'assurant que les qualités organoleptiques de la pâte ne s'éloignent pas trop de celles de la pâte réalisée avec une semoule classique.

Deux farines complètes ont été ici utilisées: de la farine “*Soubry* pour pain complet” ainsi que de la farine “*Anco* pour pâtisserie intégrale” (Figure 70).



Figure 70 (de gauche à droite) : Farine complète Soubry, Farine pour pâtisserie Anco.

Liste des ingrédients

- Pâte
 - Farine complète (250 g)
 - Œuf (108 g)
 - Sel (3 g)
 - Eau (17 ml)
- Farce
 - Ricotta (*Galbani*) (175 g)
 - Ail (1 g)
 - Parmesan (10 g)
 - Poivre (45 g)
 - Sel (3 g)
 - Citron (5 ml)
 - Spiruline (10 g)

La Figure 71 montre les raviolis finis avec les farines *Soubry* et *Anco*.



Figure 71 (de gauche à droite) : Raviolis finis composés de farine *Soubry* pour pain complet, Raviolis finis composés de farine *Anco* pour pâtisserie intégrale.

Résultats et discussions

Farine <i>Soubry</i>	Farine <i>Anco</i>
<p>Pâte un peu trop sèche, aspect granuleux en bouche.</p> <p>Temps de cuisson employé adéquat, goût agréable.</p> <p>Les raviolis avant cuisson craquent à cause d'une pâte trop sèche.</p> <p>En conséquence, on constate une perte de la farce dans l'eau de cuisson.</p>	<p>Goût agréable, aspect moins granuleux en bouche.</p> <p>Texture de la pâte ni trop sèche ni trop humide.</p> <p>La pâte pourrait peut-être être plus fine.</p> <p>Farine plus raffinée/broyée, aspect moins brut et granuleux en bouche.</p>

Plan d'action pour la manipulation suivante

- Essayer une pâte avec un niveau de laminage plus fin (5)
- Élaborer une pâte complète avec spiruline

2.9 Elaboration d'un procédé de séchage en vue d'un conditionnement à chaud du produit fini

Objectif

Nos raviolis vont être conditionnés à chaud afin d'éliminer une grande partie de la flore microbienne. Un conditionnement à chaud sous-entend une température de minimum 65°C à cœur. Le but de cette manipulation est donc de déterminer un temps et une température de pré-cuisson nécessaire afin de garantir une température à cœur de 65°C dans nos raviolis.

Un palier de température/temps a été testé dans l'étuve "*Rational Self Cooking Center Senses*": 8 minutes - 80°C - humidité 0. La température à cœur du ravioli va être prise à l'aide d'une sonde de température (Figure 72).



Figure 72 : Prise de température à cœur à l'aide d'une sonde.

Résultats et discussions

On peut s'apercevoir lors de la prise à cœur de la température dans le ravioli qu'après 8 minutes à 80°C dans l'étuve, on obtient 74°C. On peut donc conclure que 8 minutes à 80°C sont suffisantes dans ce type d'étuve ("*Rational Self Cooking Center Senses*") pour garantir une température à cœur de 65°C nécessaire au conditionnement à chaud.

PARTIE IV : CAHIER DES CHARGES

PRATIQUE

Le cahier des charges pratique a été élaboré à la suite du développement pratique du produit. Son fondement repose donc sur toutes les expérimentations effectuées au cours du second quadrimestre et détaillées dans la partie III, ainsi que sur base de toutes les informations théoriques et caractéristiques principales présentes dans la partie II “Cahier des charges théorique du produit”. Ce cahier de charge est donc une adaptation pratique de toutes les caractéristiques théoriques de produit définies précédemment visant à répondre le plus adéquatement et le plus précisément aux objectifs de départ et aux attentes des consommateurs. Il regroupe donc tous les éléments et caractéristiques permettant l'élaboration de la fiche technique du produit.

Le contenu de cette quatrième partie est basé sur quatre des cinq composantes présentes dans le cahier des charges théorique du produit.

1. Santé

Tableau 28 récapitule les résultats obtenus pour 3 raviolis différents en termes de teneur en protéines, en fibres alimentaires et en vitamine B1.

Tableau 28: Teneur en protéines, fibres alimentaires et vitamine B1 pour 3 différents raviolis.

	Semoule de blé dur	Semoule de blé dur + spiruline	Farine complète
Protéines (% E tot)	22,68 %	23,09 %	22,69 %
Fibres alimentaires (g)	5,625 g	5,575 g	19,125 g
Vitamine B1 (mg)	0,030115 mg	0,036138 mg	0,030115 mg

Dans le point suivant, les calculs détaillés sont présentés pour chaque type de ravioli se rapportant au tableau ci-dessus.

1.1 Raviolis avec de la semoule de blé dur

1.1.1 Protéines

Les calculs expliqués ci-dessous sont ceux repris dans la partie santé du cahier des charges produit.

Calcul de l'énergie apportée par les protéines de chaque ingrédient

Grâce à une étude (Volkman et al., 2008), il nous a été possible de calculer la dose des acides aminés essentiels dans nos 10 g de spiruline et de les comparer avec les AJR pour un adulte de 70 kg. Les résultats sont repris par le Tableau 29 ci-dessous.

Tableau 29: Profil en acides aminés de la spiruline et couverture de l'AJR en certains acides aminés par 10 g de spiruline.

Acides aminés essentiels	Dose dans 10 g de spiruline (mg)	AJR pour un adulte de 70 kg (mg)	% de l'AJR couvert
Phénylalanine	344,5	1750	19,6%
Leucine	637	2730	23,35%
Méthionine	162,5	1050	15,5%
Lysine	132	2100	14,85%
Isoleucine	435,5	1400	31,1%
Valine	461,5	1960	23,55%
Thréonine	403	1050	38,4%
Tryptophane	19,5	280	6,95%

Le parmesan a été ajouté dans la farce et est donc présent, en plus, dans les calculs (Tableau 30).

Tableau 30: Calcul de la teneur en protéines de chaque ingrédient et quantité d'énergie apportée par chaque ingrédient (ajout de parmesan).

	Semoule de blé dur	Œufs	Spiruline en poudre	Ricotta	Parmesan
Teneur en protéines pour 100 g d'ingrédient	10,20%	11,40%	65%	9,50%	32%
Énergie pour 100 g d'ingrédient	347 Kcal	76 Kcal	373 Kcal	115 Kcal	402 Kcal

Calcul de la quantité d'ingrédients pour 500 g de raviolis ricotta-spiruline

Le Tableau 31 reprend la quantité de chaque ingrédient pour faire 500 g de raviolis ricotta-spiruline.

Tableau 31: Quantité de chaque ingrédient (g) pour 500 g de raviolis.

	Semoule de blé dur	Œufs	Spiruline en poudre	Ricotta	Parmesan
Teneur en ingrédient dans le produit en %	45%	20%	2%	31%	2%
Quantité en g pour 500 g de raviolis	225 g	100 g	10 g	155 g	10 g

Calcul de la quantité d'énergie apportée par les protéines du produit fini

Le calcul est réalisé en multipliant la quantité d'ingrédient pour 500 g de raviolis avec la teneur en protéine de ce même ingrédient. Cette étape se répète avec tous les ingrédients pour avoir la quantité totale de protéines du produit fini. Les résultats sont présentés dans le Tableau 32.

Tableau 32: Calcul de la quantité totale de protéines (g) pour chaque ingrédient.

	Semoule de blé dur	Œufs	Spiruline en poudre	Ricotta	Parmesan
Calcul	10,20% * 225 g	11,40% * 100 g	65% * 10 g	9,50% * 155 g	32%*10 g
Quantité de protéines en g dans le produit fini	22,95 g	11,4 g	6,5 g	14,725 g	3,2 g
Total	58,78 g de protéines pour 500 g de raviolis ricotta-spiruline				

Il est possible de déterminer la quantité d'énergie fournie par des produits car on sait que 1 gr de protéines fournit 4 Kcal. Dans le produit fini, il y a 58,78 g de protéines donc :

$$58,78*4 = 235,10 \text{ Kcal}$$

Si la quantité d'énergie totale du produit fini est connue, il est possible de déterminer le % d'énergie apportée par les protéines (Tableau 33).

Tableau 33: Calcul de l'énergie totale amenée par chaque ingrédient.

	Semoule de blé dur	Œufs	Spiruline en poudre	Ricotta	Parmesan
Calcul	$(347/100) * 225$	$(76/100) * 100$	$(373/100) * 10$	$(115/100) * 155$	$(402/100) * 10$
Energie totale en Kcal dans 500 g de raviolis	780,75 Kcal	76 Kcal	37,3 Kcal	178,25 Kcal	40,2 Kcal
Total	1112,5 Kcal pour 500 g de raviolis ricotta-spiruline				

Il est désormais possible de déterminer le pourcentage d'énergie apportée par les protéines par rapport à l'énergie totale du produit.

Le calcul est le suivant :

$$235,10 \text{ Kcal (Énergie des protéines)} / 1112,5 \text{ (Énergie totale du produit)} * 100$$

Le résultat est de 21,13%. Cela signifie que 21,13% de l'énergie totale du produit fini provient des protéines de tous les ingrédients. En suivant ce raisonnement théorique, l'allégation « **Riche en protéines** » est obtenue.

1.1.2 Fibres alimentaires

La quantité de fibres présente dans la farine complète est de 2,5 g / 100 g. Si nous incorporons 225 g de cet ingrédient pour nos 500 g de raviolis, nous obtiendrons une quantité de 5,625 g de fibres alimentaires dans ceux-ci.

1.1.3 Vitamine B1

Comme expliqué dans la qualité nutritionnelle de la spiruline (Partie I, point 2.3.5), il y a 0,5 mg de thiamine par 100 g de spiruline. Ce qui porte le taux à 0,05 mg dans nos 500 g de raviolis.

Ensuite, nous savons que 39,77 % de cette thiamine est dégradée pendant la cuisson des raviolis qui se passe à pH=7 à 110°C pendant 10 minutes (Partie II, point 1.2.1). Il restera donc 60,23% de la thiamine après cuisson, ce qui, après calculs, nous donne une quantité de 0,030115 mg dans 500 g de raviolis.

Lors du procédé industrialisé, une étape supplémentaire consistant à sécher le ravioli est présente. Celle-ci se déroulant à 80°C pendant 8 minutes et, ayant seulement ces données sur la dégradation de la thiamine, il n'est donc pas possible de savoir si cette étape présente une certaine perte en vitamine pour notre produit. C'est donc pour cela que la quantité théorique de 0,030115 mg de vitamine B1 sera maintenue.

1.2 Raviolis avec de la semoule de blé dur et de la spiruline dans la pâte

1.2.1 Protéines

Dans cette partie, la seule différence est que 2 g de spiruline ont été ajoutés à la pâte. Les calculs afin de déterminer la quantité d'énergie fournie par les protéines de raviolis ricotta-spiruline avec de la spiruline dans la pâte seront identiques au point 1.1.1 Protéines. C'est donc pour cela que le résultat est directement énoncé ci-dessous.

Le résultat est de 21,51%. Cela signifie que 21,51% de l'énergie totale du produit fini provient des protéines de tous les ingrédients. En suivant ce raisonnement théorique, l'allégation « Riche en protéines » est obtenue.

1.2.2 Fibres alimentaires

La quantité de fibres présente dans la farine complète est de 2,5 g / 100 g. Si nous incorporons 223 g de cet ingrédient pour nos 500 g de raviolis, nous obtiendrons une quantité de 5,575 g de fibres alimentaires dans ceux-ci.

1.2.3 Vitamine B1

La quantité en vitamine B1 augmente légèrement par rapport au ravioli précédent car de la spiruline est ajoutée à la pâte. Le procédé de cuisson étant identique, la quantité en vitamine B1 restante sera de 60,23%, ce qui équivaut à 0,036138 mg dans 500 g de raviolis.

1.3 Raviolis avec de la farine complète

1.3.1 Protéines

Dans cette partie, la seule différence par rapport aux raviolis ricotta-spiruline “normaux” est que de la farine complète est utilisée. La quantité en protéines pour 100 g de la semoule de blé dur est différente. Effectivement, la semoule de blé dur contient 10,2% de protéines pour 100 g alors que la farine complète en contient 9,3% pour 100 g. Cette différence est introduite dans les calculs mais ceux-ci restent identiques au point 1.1.1.

Le résultat est de 21,08%. Cela signifie que 21,08% de l'énergie totale du produit fini provient des protéines de tous les ingrédients. En suivant ce raisonnement théorique, l'allégation « Riche en protéines » est obtenue.

1.3.2 Fibres alimentaires

La quantité de fibres présente dans la farine complète est de 8,5 g / 100 g. Si nous incorporons 225 g de cet ingrédient pour nos 500 g de raviolis, nous obtiendrons une quantité de 19,125 g de fibres alimentaires dans ceux-ci.

1.3.3 Vitamine B1

La quantité de spiruline étant la même que dans les raviolis avec une pâte de semoule de blé dur, les calculs et la quantité finale de vitamine B1 (0,030115 mg dans 500 g de raviolis) seront les mêmes que ceux repris dans la Partie IV 1.1.3 pour les raviolis à la semoule de blé dur.

1.4 Nutri-score

Le calcul du Nutri-Score a été réalisé avec “Outil de calcul du Nutri-score” gratuitement fourni par les services de SPF santé publique. Le calcul est automatisé dans un fichier Excel, celui-ci comprend plusieurs feuilles. La feuille choisie pour le calcul est la feuille portant le nom “Aliments solides ou liquides”. Il suffit de rentrer les données nutritionnelles dans ce document pour que le Nutri-score soit automatiquement généré. Le calcul du Nutri-score des raviolis ricotta-spiruline se trouve ci-dessous, dans Tableau 34.

Tableau 34: Calcul du Nutri-score des raviolis ricotta-spiruline par l’outil du SPF santé publique.

Produit	Marque	Valeur énergétique (KJ/100g ou 100mL)	Matières grasses (g/100g ou 100mL)	Acides gras saturés (g/100g ou 100mL)	Sucres (g/100g ou 100mL)	Protéines (g/100g ou 100mL)	Sel (g/100g ou 100mL)	Fibres AOAC (g/100g ou 100mL)	Unité d'expression des valeurs nutritionnelles (menu déroulant)	Fruits, légumes, légumineuses, fruits à coques, huiles de colza, de noix et d'olive (g/100g ou 100mL)	Sodium (mg/100g ou 100mL)	score	Nutri-Score	couleur
Raviolis Ricotta-Spiruline	Alguente	924	6	3	2	10	1	1	Pour 100g	0	400	2	Nutriscore_B	Vert clair

Après calcul, notre Nutri-score s’avère être “B”. Le Nutri-score se trouvera sur notre packaging et plus précisément sur l’étiquette. Il sera mis en évidence afin d’être directement vu par le consommateur.

2. Satisfaction

2.1 Caractérisation de la couleur

La couleur (L^* , a^* , b^*) de différents échantillons a été mesurée. La cuisson est le facteur distinguant les échantillons. Effectivement, des tests de colorimétrie ont été effectués avec le *Color Flex EZ* sur des raviolis secs non-cuits et des raviolis secs cuits afin de déterminer les différences de couleur avant et après cuisson. La mesure est faite à l’endroit où la farce est contenue. Pour les raviolis cuits, ceux-ci sont placés dans une cellule en verre afin de ne pas mouiller l’objectif (Figure 73).



Figure 73 : Ravioli cuit dans une cellule de mesure pour le *Color Flex*.

Pour les échantillons secs, ceux-ci sont placés directement sur le *Color Flex*. Quatre échantillons secs cuits et non cuits ont été analysés.

Le paramètre L^* représente la clarté de l'échantillon. Les valeurs pour ce paramètre se situent entre 0 (noir) et 100 (blanc). Les bâtonnets bleus représentent les raviolis non-cuits alors que les bâtonnets rouges représentent les cuits. Sur ce graphique, les raviolis non-cuits semblent être plus clairs que les raviolis cuits. Cela s'explique par la présence de farine sur le ravioli cru. Une fois cuit, la farine reste dans l'eau de cuisson et plus sur le ravioli. Une deuxième explication est que le ravioli cuit devient plus clair et donc plus transparent, ce qui augmente la visibilité de la farce qui est foncée. Les moyennes pour les raviolis non-cuits et cuits sont respectivement de 69 et 62. La Figure 74 indique les valeurs de L^* des raviolis cuits et non-cuits.

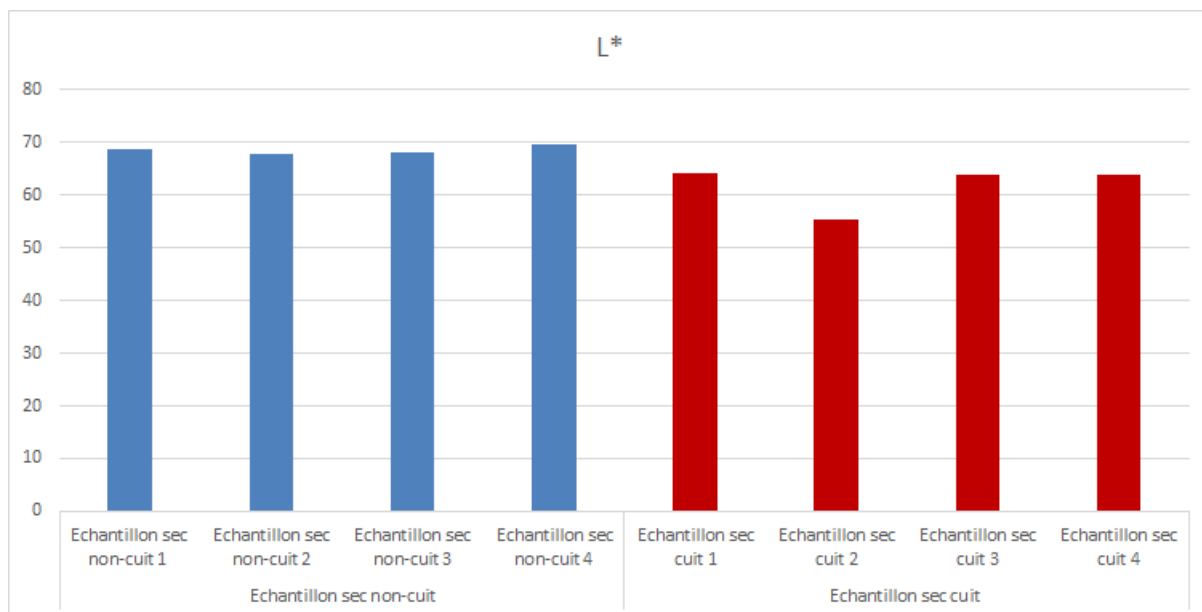


Figure 74: Valeurs du paramètre L^* pour les raviolis cuits et non-cuits.

Un test statistique a été réalisé afin de déterminer si la cuisson a un impact sur la clarté du produit ou non. Le test statistique réalisé est une comparaison des moyennes de deux échantillons indépendants. Il a été impossible de comparer les moyennes car l'hypothèse nulle a été acceptée lors du test d'homoscédasticité. Ce qui signifie que les variances sont hétérogènes. Il est donc impossible de comparer des moyennes lorsque les variances sont différentes les unes des autres. Tous les tests statistiques sont disponibles dans l'annexe n° 7.

Le paramètre a^* est la valeur sur une échelle allant du vert au rouge. Lorsque le " a^* " a une valeur négative cela signifie que la surface du produit se rapproche du vert. Lorsque le " a^* " est positif, la couleur de la surface se rapproche du rouge. Les valeurs de a^* des raviolis cuits et non-cuits sont représentées dans la Figure 75 ci-dessous.

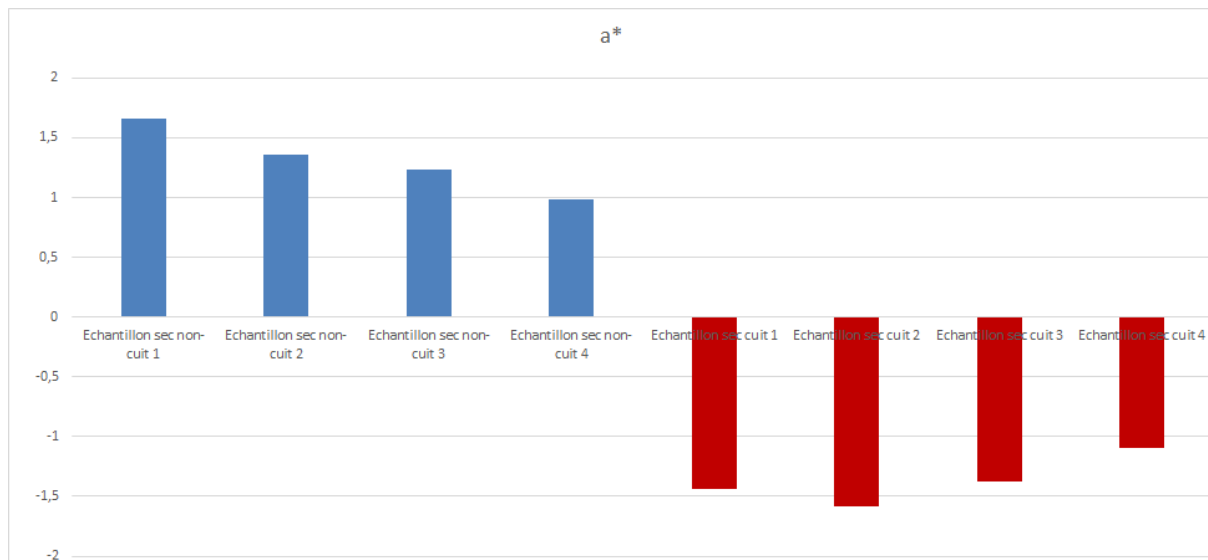


Figure 75: Valeurs du paramètre a^* pour les raviolis cuits et non-cuits.

Les raviolis non-cuits ont tous une valeur positive ce qui signifie que la surface du produit lorsqu'il n'est pas encore cuit se rapproche du rouge. Une fois le produit cuit, la valeur du " a^* " devient négative et la surface du ravioli se rapproche plus du vert. Tout comme pour la clarté, la cuisson va augmenter la visibilité de la farce au travers de la pâte.

Un test statistique a été réalisé afin de déterminer si les moyennes de chaque groupe sont différentes ou non. Le but était de savoir si la cuisson permet de voir plus facilement la farce. En d'autres termes, si la moyenne des raviolis cuits concernant la valeur a^* est inférieure à la moyenne de la valeur a^* pour les raviolis non-cuits. Selon le test statistique, l'hypothèse nulle est rejetée. Cela signifie que la moyenne des échantillons cuits est significativement inférieure à la moyenne des raviolis non-cuits.

Les tests statistiques présentés dans les deux points ci-dessus sont à titre indicatif, ces tests ne représentent en aucun cas une base solide sur laquelle des conclusions peuvent être tirées. Cela est dû au manque d'échantillons, effectivement, le nombre d'échantillons très bas pour ces tests ne peut être représentatif. Les tests statistiques pour le paramètre L^* et a^* sont détaillés dans l'annexe n°7.

Le b^* est la valeur sur une échelle allant du bleu au jaune. $-b^*$ représente une couleur bleue alors que les données positives représentent la couleur jaune. Encore une fois, après cuisson la valeur de b^* diminue. Cela signifie que la couleur que l'on mesure en surface pour le ravioli cuit se rapproche plus du bleu que pour les raviolis non-cuits. Cela peut encore s'expliquer par la "transparence" de la farce qui augmente après cuisson. La spiruline étant légèrement bleue cela diminuerait la valeur de b^* . La Figure 76 représente les valeurs de b^* pour les raviolis cuits et non-cuits.

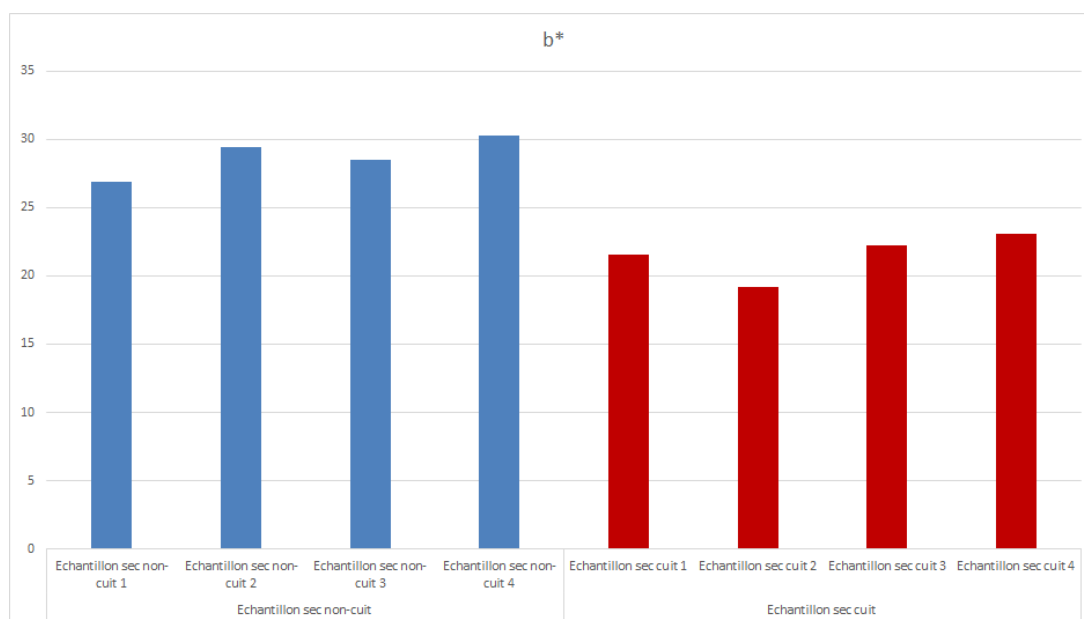


Figure 76: Valeurs du paramètre b^* pour les raviolis cuits et non-cuits.

En plus de mesurer la couleur du ravioli en surface, une mesure de la couleur de la farce a également été faite. Les mesures obtenues pour les paramètres L^* a^* b^* sont respectivement de 31 ; -18; 8. La farce est plus sombre, plus verte et plus bleutée que la surface du ravioli (Figure 77).



Figure 77 : Farce des raviolis ricotta-spiruline.

2.2 Caractérisation de la texture à la production (jour J) et au jour J+21

La texture du ravioli a été mesurée par un test de mastication avec le *Taxt2i* Texture Analyser sur des raviolis cuits pendant 10 minutes dans de l'eau à 100°C. La sonde utilisée permet de représenter une mastication (référence de la sonde: SMSP/75).

Le but de la manipulation est double. Premièrement, elle vise à caractériser la mastication du ravioli, ensuite elle vise à comparer cette caractérisation entre un ravioli du jour J et du jour 21. 7 échantillons cuits ont été analysés au jour J, et 7 raviolis ont été analysés 21 jours plus tard (préalablement cuits juste avant l'analyse). La température de conservation est de 4°C pendant 7 jours et de 8°C pendant 14 jours, les raviolis ont été conservés sous atmosphère modifiée (60% CO₂40% N). De manière théorique, on peut s'attendre à certaines variations dans les paramètres. En-effet, durant la conservation, une migration d'eau de la farce (milieu plus concentré) vers la pâte (milieu moins concentré) va se réaliser, altérant ainsi la texture de la pâte et la rendant plus collante.

Plan d'action

Premièrement, l'appareil (Figure 78) effectue un étalonnage: la sonde descend jusqu'à toucher sa base. Ensuite, vient le test à proprement parler où la sonde écrase le ravioli à une vitesse de 1 mm/sec. Cette action se répète une deuxième fois, permettant ainsi de représenter la mastication. Les résultats ont été obtenus par rapport à un pourcentage de déformation du ravioli (50% de déformation). Les résultats obtenus nous donnent des informations sur la dureté, l'adhérence, la résistance à la déformation, la cohésion, l'élasticité, la gumminess et la chewiness. Voici les définitions de ces différents paramètres (Delacharlerie et al., 2008):

- La dureté: *“Force nécessaire pour obtenir une déformation ou une pénétration donnée.”*
- L'adhérence: *“Force nécessaire pour décoller le produit de l'intérieur de la paroi buccale. Elle mesure la façon dont le produit colle (aux dents, au palais.)”*
- La résistance à la déformation: *“Force nécessaire pour briser le produit.”*
- La cohésion: *“Qualifie le point limite jusqu'auquel un produit peut être déformé avant de se rompre. C'est en quelque sorte la force qui relie les particules du produit les unes aux autres.”*

- L'élasticité: *“Qualifie la façon dont le produit revient à son état initial quand la force de déformation cesse. Un produit est totalement élastique s'il revient complètement à sa position de départ.”*
- La gumminess: *“Énergie nécessaire pour mastiquer le produit et le rendre prêt à être avalé.”*
- La chewiness: *“Durée (ou nombre de mastications) nécessaire pour rendre le produit prêt à être avalé.”*

Les unités utilisées sont les suivantes: force (N), distance (mm) et temps (sec).

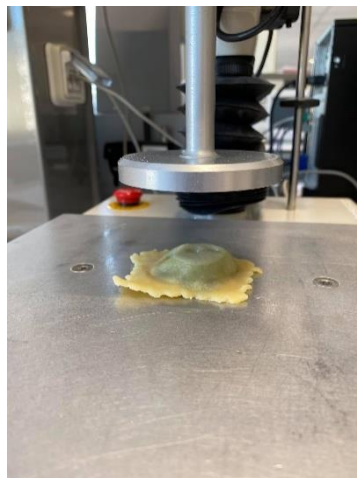


Figure 78 : Mesure de la texture d'un ravioli ricotta-spiruline.

Résultats

Les résultats obtenus pour les sept différents paramètres avec le texturomètre sont indiqués dans Tableau 35 ci-dessous.

Tableau 35: Résultats obtenus avec le texturomètre pour les sept différents paramètres.

Résultats texturomètres J								
	dureté	adhérence	Résistance à la déformation	cohesion	élasticité			
	Hardness	adhesiveness	resilience	cohesion	springiness	gumminess	Chewiness	
	N	N.sec	%		%			
Ravioli cuit J	1	12,19	-3,65	19,02	0,55	75,91	6,69	5,08
	2	261,61	-0,53	22,60	0,68	81,84	176,75	144,66
	3	1510,56	-0,18	27,40	0,69	82,37	1044,19	860,06
	4	1704,74	-2,23	35,46	0,76	87,60	1295,00	1134,38
	5	1222,96	-0,05	32,63	0,75	79,21	913,35	723,45
	6	255,11	-0,81	41,34	0,81	72,81	206,56	150,40
	7	2689,18	-46,99	27,86	0,68	92,36	1820,28	1681,20
Vmin	12,19	-46,99	19,02	0,55	72,81	6,69	5,08	
Vmax	2689,18	-0,05	41,34	0,81	92,36	1820,28	1681,20	
Moyenne	1093,76	-7,78	29,47	0,70	81,73	780,40	671,32	
Ecart type	972,51	17,34	7,64	0,08	6,68	674,01	614,44	
Variance	945783,59	300,60	58,33	0,01	44,60	454288,44	377537,88	
Ravioli cuit J21	8	8,36	0,81	33,04	0,67	97,41	5,59	5,44
	9	773,91	-2,00	29,52	0,63	90,64	488,45	442,73
	10	1519,15	-49,95	24,35	0,60	79,58	914,30	727,59
	11	2378,13	-22,96	26,28	0,60	80,69	1415,13	1141,91
	12	4203,23	-132,37	26,34	0,68	76,83	2836,00	2178,84
	13	1760,21	-8,42	20,56	0,59	72,20	1034,21	746,65
	14	3016,48	-201,83	23,52	0,61	77,27	1839,46	1421,34
Vmin	8,36	-201,83	20,56	0,59	72,20	5,59	5,44	
Vmax	4203,23	0,81	33,04	0,68	97,41	2836,00	2178,84	
Moyenne	1951,35	-59,53	26,23	0,62	82,09	1219,02	952,07	
Ecart type	1400,74	78,05	4,09	0,04	8,80	928,37	708,21	
Variance	1962086,47	6091,54	16,72	0,00	77,50	861863,07	501557,50	

L'échantillon jour J (jour de production) est de taille sept, et l'échantillon au jour J+21 est de taille sept également. Pour chaque paramètre, la valeur minimale, la valeur maximale, la moyenne, l'écart type et enfin la variance ont été déterminés afin de clarifier et de simplifier la lecture des données. On peut donc dégager de la caractérisation de nos raviolis les moyennes suivantes:

- Dureté : 1093,76 N
- Adhérence : -7,78 N.sec
- Résistance à la déformation : 29,47 %
- Cohésion : 0,70
- Elasticité : 81,73 %
- Gumminess : 780,40 Joules
- Chewiness : 671,32

Ensuite, vient l'étape de comparaison entre les moyennes au jour J et les moyennes au jour J+21. Pour chaque paramètre et étant donné que chaque échantillon a la même taille, un test d'Hartley a été réalisé. Celui-ci permet, en comparant les variances, de savoir si les dispersions sont identiques. Sur base de ce test d'Hartley, un test d'hypothèse (Anova 1) a été effectué afin de déterminer si les moyennes des échantillons sont différentes, et donc si la texture est différente entre le jour J et le jour J+21. Voici pour chacun des sept paramètres, les hypothèses qui ont été testées: H0 toutes les moyennes sont identiques, H1 au moins une des

moyennes est différente de l'autre (voir annexe 8 : Texturomètre Raviolis). Les résultats sont les suivants:

- Dureté: AHO nous n'avons pas pu mettre en évidence des différences entre les moyennes.
- L'adhérence: variances hétérogènes, donc impossible de comparer les moyennes.
- La résistance à la déformation: AHO: nous n'avons pas pu mettre en évidence des différences entre les 2 moyennes.
- La cohésion: RHO nous avons pu mettre en évidence que les deux moyennes sont significativement différentes (avec un intervalle de confiance de 0,95).
- L'élasticité: AHO nous n'avons pas pu mettre en évidence des différences entre les moyennes.
- La gumminess: AHO nous n'avons pas pu mettre en évidence des différences entre les moyennes.
- La chewiness: AHO nous n'avons pas pu mettre en évidence des différences entre les moyennes.

Discussion

Sur base des résultats obtenus, on peut donc dire que l'on n'a pas pu mettre en évidence une différence statistiquement significative entre les moyennes des paramètres suivants : la dureté, l'adhérence, la résistance à la déformation, l'élasticité, la gumminess et la chewiness. Seul les moyennes du paramètre cohésion sont différentes (0,70 au jour J, 0,62 au jour J+21).

D'après les résultats obtenus et les tests d'hypothèses, on remarque que la conservation de 21 jours a juste de l'influence sur la cohésion et n'en a pas sur les six autres paramètres. La conservation aurait donc peu d'influence sur la texture du ravioli cuit. Il convient cependant de préciser que le nombre d'échantillons présents ici est trop petit pour considérer ces résultats comme étant représentatifs. Pour dégager une réelle conclusion, il faudrait réaliser tout cette procédure sur un plus grand nombre d'individus.

2.3 Caractérisation de la couleur après 21 jours

Le produit est conservé dans une barquette contenant 6 raviolis (+/- 80 g) sous atmosphère modifiée (60% de CO₂ 40% de N). La température de conservation est de 4°C pendant 7 jours et de 8°C pendant 14 jours. Après cette période de conservation, les tests de colorimétrie ont de nouveau été effectués. Ces paramètres permettent de savoir si, lors d'un stockage, durant une période de 21 jours, les couleurs sont modifiées. Pour la couleur, le pigment vert de la spiruline pourrait également migrer dans la pâte.

Voici les résultats pour le paramètre L*. Le graphique ci-dessous (Figure 79) compare la clarté des échantillons après production (échantillons secs non-cuits) avec les échantillons conservés durant 21 jours (x-J21).

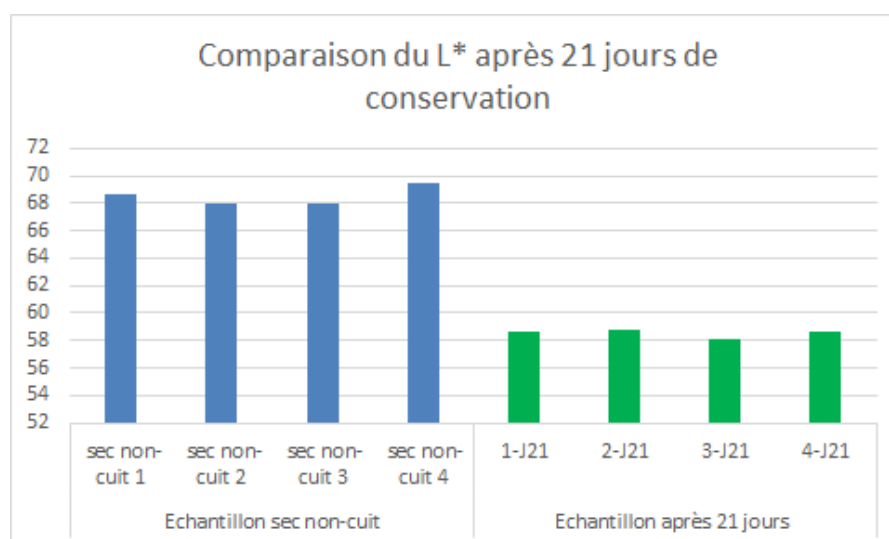


Figure 79: Comparaison du paramètre L* de raviolis ricotta-spiruline secs non-cuits après 21 jours de conservation.

Le graphique montre que les échantillons après 21 jours s'assombrissent, effectivement la valeur de L* a diminué pour tous les échantillons après 21 jours. La moyenne des échantillons après production est de 68,5 alors que la moyenne pour les échantillons après 21 jours de conservation est de 58,5. La diminution de cette valeur s'explique par le fait que la farce verte foncée est beaucoup plus visible au travers de la pâte après 21 jours. Une autre explication serait un transfert d'eau de la farce à la pâte qui permettrait une décoloration de la pâte. Si on émet l'hypothèse que la farce contient plus d'eau que la pâte, alors il est tout à fait possible que l'eau aille du milieu le plus humide vers le milieu le plus sec. De plus, le procédé de séchage est effectué et agit plus sur la pâte que sur la farce. Les résultats chiffrés obtenus ci-dessus sont visibles à l'œil nu lorsque l'on compare un ravioli après production et après

conservation. La Figure 80 montre des raviolis après production et des raviolis après 21 jours de conservation.



Figure 80 (de gauche à droite): Raviolis ricotta-spiruline après production, Raviolis ricotta-spiruline après 21 jours de conservation.

Les résultats obtenus pour le paramètre a^* sont présentés dans la Figure 81. Celle-ci compare le a^* (échelle allant du rouge au vert) d'échantillons après production (secs non-cuits) avec des échantillons conservés durant 21 jours.

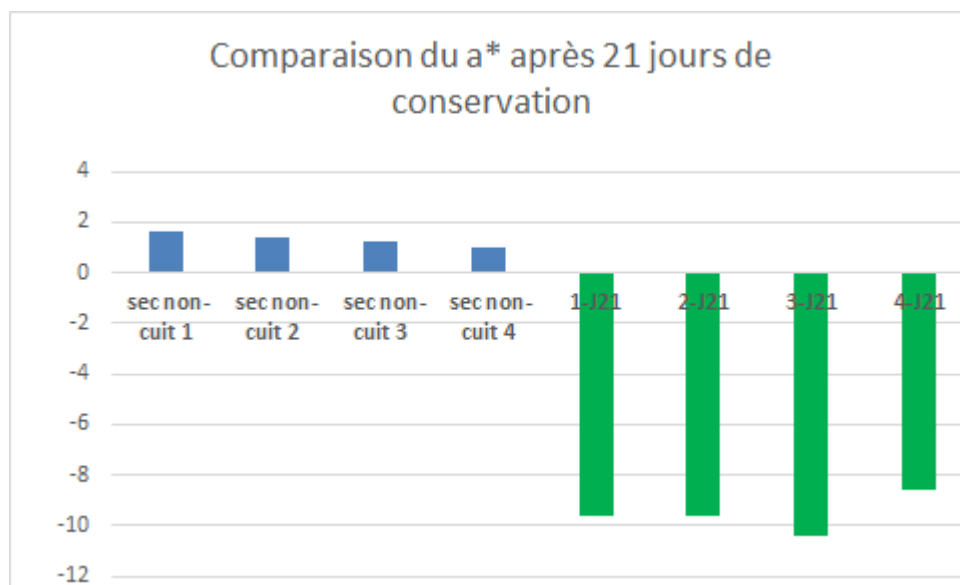


Figure 81: Comparaison du paramètre a^* de raviolis ricotta-spiruline secs non-cuits après 21 jours de conservation.

Le a^* des échantillons après production est positif alors qu'après 21 jours de conservation ce même paramètre est devenu négatif. La moyenne des échantillons après production est de 1,3 alors que pour les échantillons conservés durant 21 jours, elle est de - 9,5. Cela signifie que la couleur du ravioli se rapproche du vert après conservation. Cela peut encore une fois s'expliquer par le transfert d'eau de la farce à la pâte.

La Figure 82 ci-dessous représente la comparaison du paramètre b^* de raviolis après production avec des raviolis conservés pendant 21 jours.

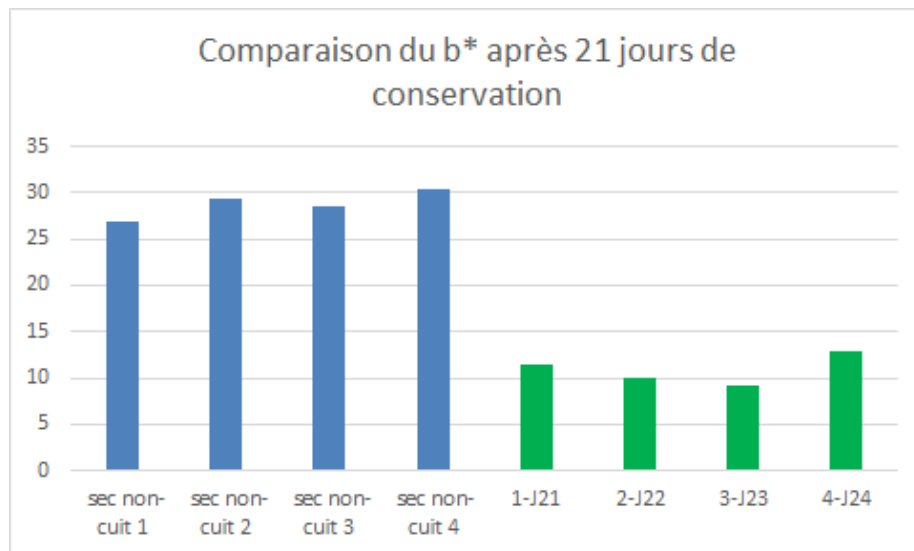


Figure 82: Comparaison du paramètre b^* de raviolis ricotta-spiruline secs non-cuits après 21 jours de conservation.

Les raviolis conservés durant 21 jours possèdent une valeur b^* plus faible, cela signifie que la couleur du ravioli se rapproche du bleu et s'éloigne du jaune. La moyenne des raviolis après production est de 28 alors que celle des raviolis conservés est de 11. L'hypothèse mise en évidence est toujours celle de la migration de l'eau et donc de la spiruline dans la farce colorant alors la farce à la base jaune.

Les moyennes pour chaque paramètre des raviolis après production et des raviolis conservés durant 21 jours sont synthétisées dans Tableau 36 ci-dessous.

Tableau 36: Synthèse des moyennes obtenues pour chaque paramètre de colorimétrie de raviolis ricotta-spiruline secs non-cuits après production et après 21 jours de conservation.

	L*	a*	b*
Après production	68,5	1,3	28,7
Après 21 jours	58,55	-9,6	10,9
Variation du paramètre après 21 jours	Baisse de la valeur du paramètre	Baisse de la valeur du paramètre	Baisse de la valeur du paramètre
Variation en termes de couleur après 21 jours	La couleur du ravioli se rapproche plus du noir que du blanc	La couleur du ravioli se rapproche plus du vert que du rouge	La couleur du ravioli se rapproche plus du bleu que du jaune

3. Sécurité

Le but est de déterminer la qualité microbiologique du produit après production mais également de valider une DLC de 21 jours. Pour cela, la confection des raviolis se fait dans une chambre à une température de 12°C. La recette est identique aux dernières manipulations (voir Partie III point 2.7).

3.1 Mode opératoire

Après la production de nos raviolis, ceux-ci ont été placés dans des barquettes. Notre produit a été séché à l'aide d'un four (*Spako MCTT7*) à 80°C durant 14 minutes. Ceci permet de limiter le développement microbien des non-sporulés et nous permet de procéder à un emballage à chaud (Figure 83).



Figure 83 (de gauche à droite) : Mise en place des raviolis ricotta-spiruline dans le four, Paramétrage du four.

Le produit a ensuite été refroidi à l'aide d'un refroidisseur *ACFRI* pour éviter toute condensation lors de l'operculage (Figure 84).



Figure 84 : Cellule de refroidissement.

Lors de ces étapes, une sonde (*testostor 171*) (Figure 85) a été placée à cœur du produit. Celui-ci atteint, à la fin du séchage, une température de 54°C.



Figure 85 : Sonde de température placée à cœur d'un ravioli ricotta-spiruline.

La Figure 86 ci-dessous montre l'évolution de la température au cours du temps lors du séchage.

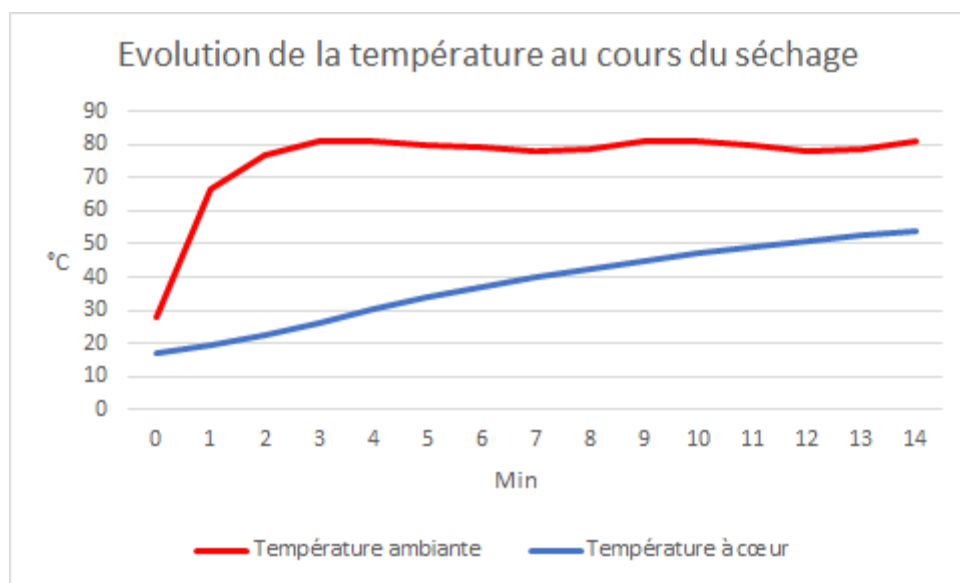


Figure 86: Évolution de la température ambiante et de la température à cœur de raviolis ricotta-spiruline.

La courbe rouge représente la température ambiante de l'enceinte. Les 2 premières minutes représentent l'acclimatation de la sonde à la température ambiante mais en pratique dès l'instant 0, la température du four est de 80°C. La courbe bleue quant à elle représente la température à cœur du ravioli. La température à cœur du produit était de 16°C initialement pour atteindre les 55°C après 14 minutes. La consigne de 65°C n'a pas été atteinte pour une raison: la chaleur tournante n'a pas été activée par peur que les barquettes contenant peu de

raviolis ne s'envolent. Cela a donc pris plus de temps pour chauffer le cœur du ravioli contrairement à la manipulation 2.9 de la Partie III pour laquelle après 8 minutes les raviolis atteignent 65°C à cœur. Cette différence de 10°C pour les tests microbiologiques engendrera une surestimation des résultats.

Figure 87 ci-dessous représente l'évolution de la température ambiante et de la température à cœur au cours du refroidissement.

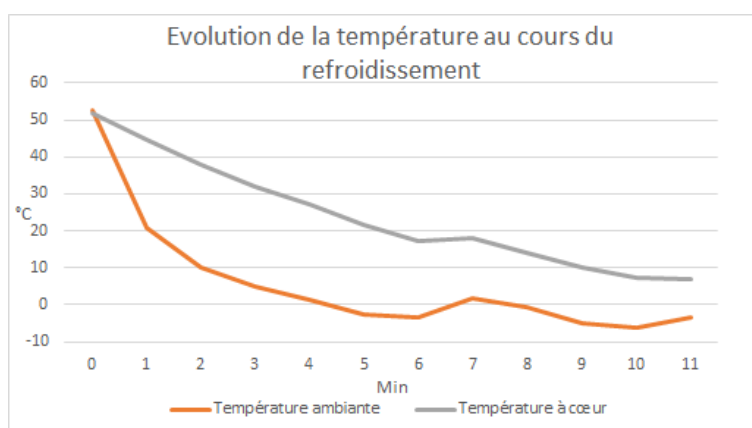


Figure 87: Évolution de la température ambiante et à cœur de raviolis ricotta-spiruline lors du refroidissement.

Le refroidissement s'est fait sur 3 cycles de 3 minutes avec comme consigne de température -5°C. La durée totale du refroidissement sur ce graphique est de 11 minutes car il y a eu des temps d'attente entre les cycles. La courbe orange représente la température de l'enceinte de refroidissement. On remarque lors du premier cycle que la température chute très vite mais n'atteint pas la température de consigne de -5°C. Cela engendre un refroidissement à cœur de 20°C. Le produit étant toujours trop chaud (30°C) un autre cycle de 3 minutes est effectué durant lequel la température à cœur diminue de 10°C. Après 2 cycles, un temps d'attente de 1 minute est marqué afin de lire la température à cœur sur la sonde. Le dernier cycle permettra d'atteindre une température de 7°C à cœur. Cela est suffisant pour empêcher toute condensation lors du conditionnement.

Le conditionnement de nos raviolis s'est fait dans une barquette en plastique sous atmosphère modifiée grâce à une machine *tecnovac* (Figure 88). Le film plastique utilisé pour l'operculation de la barquette est du PET 12/PP 40 soudable, la totalité des informations sur ce film plastique se retrouve dans la fiche technique présentée dans l'annexe 9. La barquette est en PP copo dont les dimensions sont les suivantes: 185x137x36 cm. Le volume est de 635 cm³. La fiche technique de cette barquette est donnée dans l'annexe 10.



Figure 88 : Conditionnement en barquette thermoformée dans une machine tecnovac.

La composition du gaz dans le sachet sera de 60% de dioxyde de carbone et de 40% d'azote (Figure 89). Cette proportion est celle des industriels produisant des raviolis ricotta en barquette sous atmosphère modifiée.



Figure 89 (de gauche à droite) : Teneur en CO₂ de raviolis ricotta-épinards, Mesure de la teneur en CO₂ et O₂ de raviolis ricotta-spiruline.

Les raviolis emballés seront ensuite placés dans des chambres froides à 4°C pendant 1 semaine et ensuite à 8°C pendant 2 semaines: $\frac{1}{3}$ de la DLC est donc à 4°C et $\frac{2}{3}$ à 8°C. L'échantillon est placé à 8°C afin de simuler la température des réfrigérateurs des particuliers.

3.2 Caractérisation de l'AW

Une mesure de l'activité de l'eau a été effectuée afin de déterminer le risque microbiologique lié à notre produit grâce à la machine "Aqua Lab".

3.2.1 Caractérisation de l'Aw au jour J

La référence pour l'activité de l'eau provient de notre parrain industriel. Selon la fiche technique de leurs raviolis ricotta-épinards, l'activité de l'eau se situe entre 0,92 et 0,97. L'Aw sera mesurée sur deux types d'échantillons: des raviolis séchés à 80°C durant 8 minutes à chaleur tournante, ainsi que des raviolis non séchés (Figure 90). Le but est de déterminer si l'étape de séchage permet au produit de se retrouver entre les valeurs de référence d'activité de l'eau. Il est possible, pour les raviolis séchés, que l'Aw soit légèrement surestimée car les analyses n'ont pas pu être directement effectuées après séchage. Lors de la conservation, notre produit a pu capter de l'eau car il n'a pas été mis sous atmosphère modifiée.

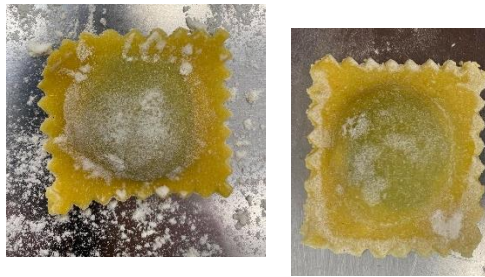


Figure 90 (de la gauche vers la droite) : Ravioli séché, Ravioli non séché.

Un emporte-pièce a été utilisé afin d'optimiser la surface du ravioli dans la cupule. Le centre du ravioli comprenant la pâte alimentaire et la farce est placé dans cette cupule (Figure 91).



Figure 91 : Découpe du ravioli avec un emporte pièce et mise en place du ravioli dans la cupule

La Figure 92 compare l'Aw de raviolis séchés avec des raviolis non-séchés, les résultats après production (jour J) sont présentés ci-dessous.

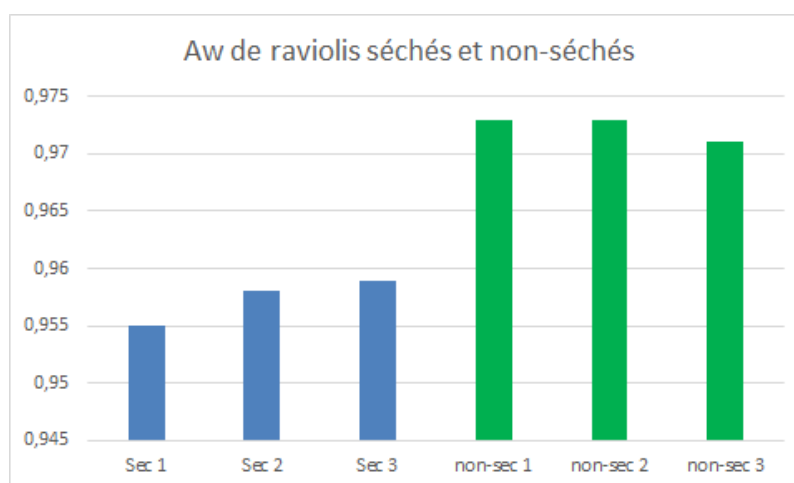


Figure 92: Aw de raviolis séchés et non-séchés.

Les 3 premiers bâtonnets (en partant de la gauche) représentent l'Aw de raviolis séchés (à 80°C pendant 8 minutes). Les 3 suivants, l'Aw de raviolis non-séchés. Celle des raviolis séchés se situent entre 0,955 et 0,960. Pour les raviolis non-séchés, elle se situe entre 0,970 et 0,975.

Le séchage permet de se situer entre les valeurs d'Aw des industriels. Malgré le séchage, l'Aw reste élevée et n'empêche aucunement la croissance microbienne. Sur le graphique, on peut visuellement observer une différence entre les deux groupes mais, il est possible de voir la différence concernant l'Aw dans les 2 groupes d'échantillons mais il est évident qu'une confirmation statistique est nécessaire. Pour cela, un test de comparaison des moyennes a été effectué.

La conclusion du test statistique de comparaison de 2 moyennes provenant de 2 échantillons tirés de 2 populations indépendantes est la suivante: la moyenne des raviolis séchés est significativement inférieure à la moyenne des raviolis non-séchés. L'étape de séchage de 8 minutes à 80°C permet de diminuer significativement l'Aw des raviolis séchés par rapport à ceux non séchés. Le test d'hypothèse est discuté en détail à l'annexe n°7.

Encore une fois, le faible nombre d'échantillon limite la validité statistique de nos conclusions. Un nombre beaucoup plus important d'échantillons est requis afin de s'assurer de la véracité des conclusions.

3.2.2 Caractérisation de l'Aw après 21 jours

La Figure 93 présente l'Aw de 3 échantillons secs après production (bâtonnets bleus). Celui-ci reprend également les valeurs d'Aw de 3 échantillons secs après 21 jours de conservation (bâtonnets verts).

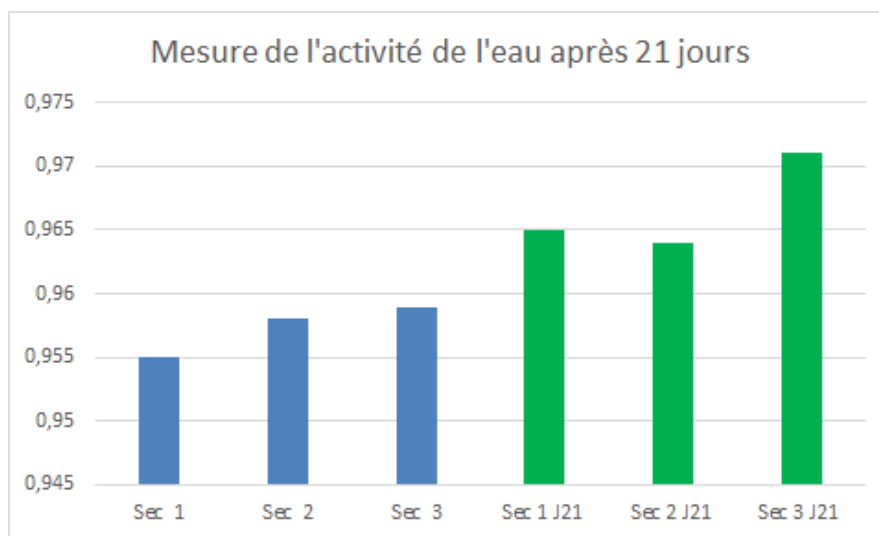


Figure 93: Comparaison de l'Aw de raviolis ricotta-spiruline secs au jour J avec des raviolis ricotta-spiruline après 21 jours.

La Figure 93 montre que l'Aw des échantillons après 21 jours tend à être plus élevée qu'après production. Encore une fois, un test statistique de comparaison des moyennes a été effectué. La conclusion du test est la suivante: la moyenne des raviolis conservés durant 21 jours est significativement plus élevée que la moyenne des raviolis après production. Encore une fois, le nombre d'échantillons est trop faible pour que ces résultats statistiques soient vraiment représentatifs.

Cela est sans doute lié à la perméabilité de l'emballage. Effectivement, le film d'opercule a une perméabilité à la vapeur d'eau de 4,5g/m²/24h. Malgré leur conservation, la réabsorption d'eau est donc inévitable.

3.3 Analyses des risques microbiologiques

Deux types d'analyses microbiologiques ont été réalisés, l'une étant un contrôle de la qualité du produit fini et l'autre étant une validation de DLC préalablement déterminée.

3.3.1 Qualité microbiologique du produit fini

Les analyses microbiologiques ont été décidées et développées sur base des informations théoriques mises à disposition par notre partenaire industriel *Pasta Della Mamma* mais également sur base de l'analyse de l'activité de l'eau qui donne des informations sur la capacité des micro-organismes à se développer. Le Tableau 37 énumère les micro-organismes analysés dans le produit fini de notre parrain industriel.

Tableau 37 : Cible microbiologique et valeur maximale microbiologique pour des raviolis ricotta-épinards de *Pasta Della Mamma* (UFC/g).

	Target	Maximum value
Total bacterial charge	< 100.000 UFC/g	1.000.000 UFC/g
Enterobacteriaceae	< 50 UFC/g	100 UFC/g
Positive Coag. Staph.	< 100 UFC/g	500 UFC/g
Salmonella	Absent in 25 g	Absent in 25 g
Listeria monocytogenes	Absent in 25 g	Absent in 25 g
Clostridium perfringens	< 100 UFC/g	1.000 UFC/g
Molds and yeasts	< 100 UFC/g	500 UFC/g

Le terme “Total bacterial charge” est traduit en français par “Flore mésophile aérobie totale”.

Compte tenu de la physico-chimie de notre produit, du mode de conditionnement, et de la température de conditionnement, le Tableau 38 reprend les différents risques microbiologiques et seuils à respecter en sortie de fabrication (produit fini).

Tableau 38 : Cible microbiologique et valeur maximale microbiologique pour des raviolis ricotta-spiruline produits artisanalement (UFC/g).

	Cible	Valeur maximale
FMAT	<100 000 UFC/g	1 000 000 UFC/g
<i>Entérobactéries</i>	<10 UFC/g	100 UFC/g
<i>Staphylocoque</i>	<10 UFC/g	100 UFC/g
<i>Salmonella</i>	abs 25 g	abs 25 g
<i>Listeria monocytogènes</i>	abs 25 g	abs 25 g
<i>Bacillus Cereus</i>	<100 UFC/g	1000 UFC/g
<i>Levure et moisissure</i>	<10 UFC/g	100 UFC/g
<i>ASR (bactéries sulfato-réductrices)</i>	<100 UFC/g	1000 UFC/g

Les critères pour chaque bactérie sont plus stricts par rapport à l'industrie. En l'absence de cuisson, le nombre d'étapes barrières face à la croissance microbienne est réduit. De plus, aucune pasteurisation n'est réalisée dans notre processus artisanal de fabrication ce qui augmente aussi les risques. Enfin, aucun additif de type conservateur n'est ajouté dans le produit. La bactérie *Bacillus Cereus* a été rajoutée dans nos critères car elle est présente dans les épices et notre produit contient du poivre et du sel.

3.3.2 Protocole et analyse en laboratoire

L'analyse est réalisée sur 3 lots de raviolis différents conditionnés dans une barquette en plastique thermoformée en contenant +/- 80 g. Les barquettes sont sous atmosphère modifiée. Tableau 39 présente la teneur en CO₂, N et O₂ de 3 barquettes après production.

Tableau 39: Proportion de CO₂, d’N et d’O₂ dans l’atmosphère protectrice de 3 échantillons de raviolis ricotta-spiruline après production (%).

	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3
% CO ₂	60,2	59,9	60,5
% N	39,1	39,4	38,8
% O ₂	0,7	0,7	0,7

Les analyses ont été réalisées directement après production, les barquettes ont été maintenues dans une glacière lors du transport. Les tests microbiologiques ont été réalisés conformément aux normes ISO reprises au Tableau 40. Celles-ci comprennent la température d’incubation, le milieu de culture et le temps d’incubation pour chaque micro-organisme.

Tableau 40: Paramètres d’incubation et milieux de culture à utiliser pour le dénombrement et l’isolement des bactéries.

Bactérie	Température d’incubation	Milieu de culture	Norme ISO	Temps d’incubation
<i>Flore totale</i>	30°C	PCA	ISO 4833	28h/72h
<i>Entérobactérie</i>	30°C	VRBG	ISO 21528	24h
<i>Staphylococcus</i>	37°C	RapidStaph et Baird Parker	ISO 68888	24h
ASR	37°C Anaérobique	TSC	ISO 15213	24h/72h
<i>Levure</i> <i>Moisissure</i>	25°C	YGC	ISO 21527	48h/72h
<i>Bacillus cereus</i>	30°C	MYP	ISO 7932	24h

Le plan pour le dénombrement et l'isolement des bactéries est présenté par Figure 94.

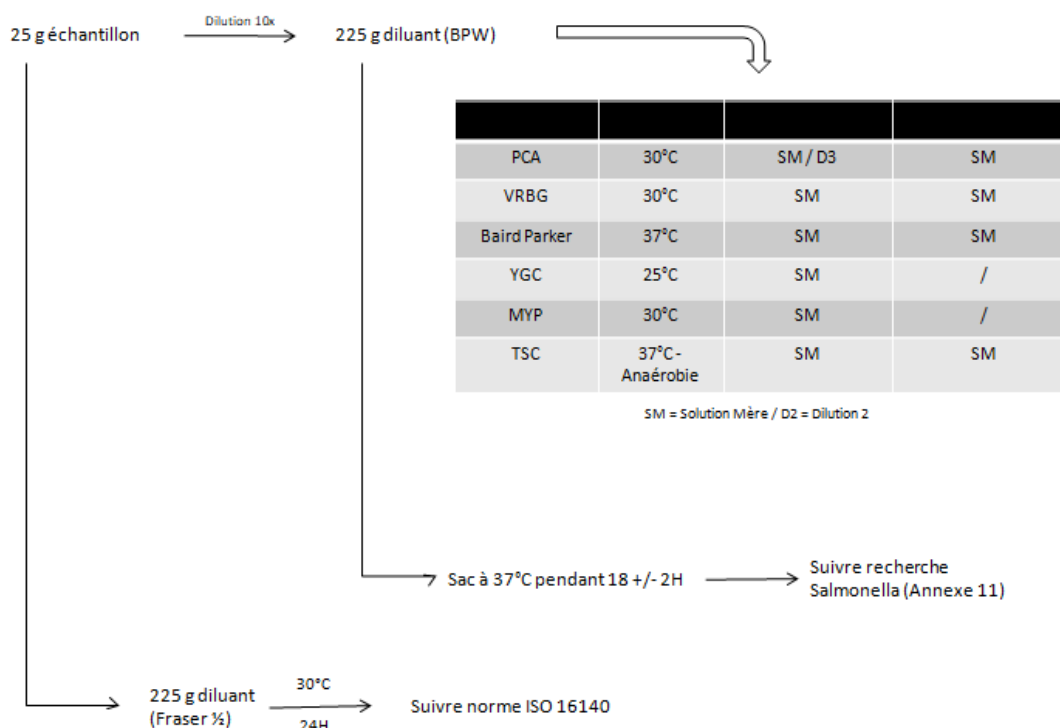


Figure 94: Mode opératoire pour le dénombrement et l'isolement de bactéries sur des raviolis ricotta-spiruline après production.

3.3.3 Test de validation de la DLC

La DLC a été déterminée par rapport à la manière dont les raviolis sont produits : de manière artisanale, sans additifs, ... Malgré la production artisanale, un séchage et un refroidissement rapides sont effectués afin de minimiser au maximum la croissance microbologique. Après réflexion, celle retenue est donc de 21 jours après production. Pour valider celle-ci, les critères choisis lors de notre test de vieillissement sont repris au Tableau 41:

Tableau 41: Cible microbiologique et valeur maximale microbiologique pour des raviolis ricotta-spiruline après 21 jours de conservation (UFC/g).

	Cible	Valeur maximale
<i>FMAT</i>	<1 000 000 UFC/g	10 000 000 UFC/g
<i>Entérobactéries</i>	<10 000 UFC/g	100 000 UFC/g
<i>Listeria monocytogènes</i>	abs 25 g	abs 25 g
<i>Bacillus Cereus</i>	<1000 UFC/g	10 000 UFC/g
<i>ASR (bactéries sulfato-réductrices)</i>	<100 UFC/g	1000 UFC/g

Il faut s'assurer que les critères choisis soient en cohérence avec la qualité organoleptique du produit. L'analyse de ces bactéries se déroulera donc après 21 jours. Le protocole suivi est le même que celui présenté dans le point 3.3.2 de cette partie à l'exception que la recherche de *Listeria* ne s'est déroulée que sur 2 échantillons au lieu de 3 précédemment dû au manque de diluant "Fraser ½". De plus, les ensemencements sur les milieux se sont passés différemment. En effet, certains milieux n'ont plus été ensemencés en profondeur et la dilution 3 n'a plus été réalisée mais une dilution 2 a été ajoutée dû au grand nombre de bactéries qui pourraient être présentes dans la solution mère. Enfin, certains micro-organismes (*Salmonella*, *Staphylocoques*, levures/moisissures) ne sont plus vérifiés après 21 jours comme montré dans le tableau ci-dessus et n'ont donc pas subi d'analyse. Voici un plan résumé où les changements par rapport au protocole de base sont affichés en rouge (Figure 95):

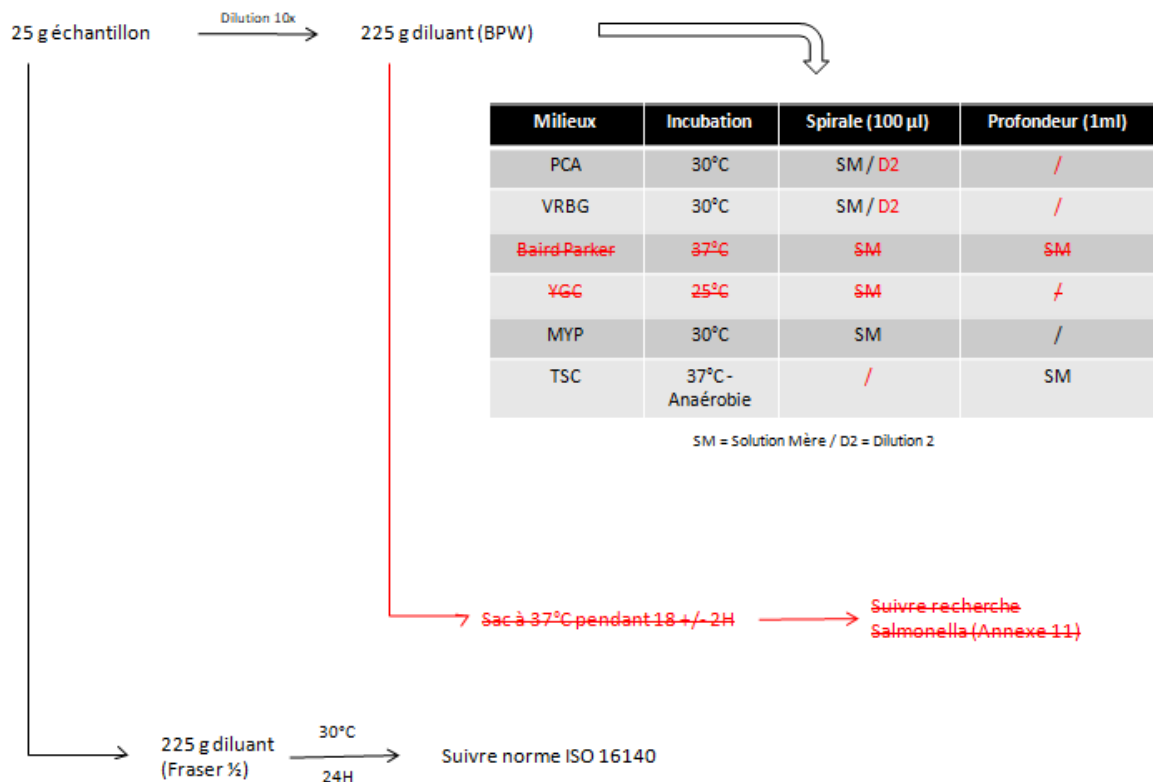


Figure 95: Mode opératoire pour le dénombrement et l'isolement de bactéries pour des raviolis ricotta-spiruline après 21 jours.

Avant toute manipulation sur les échantillons, un nouveau test sur l'atmosphère modifiée a été réalisé après cette durée de conservation. Les résultats sont présentés dans le Tableau 42 ::

Tableau 42: Proportion de CO₂, de N et d'O₂ dans l'atmosphère protectrice de 3 échantillons de raviolis ricotta-spiruline après 21 jours (%).

	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3
% CO ₂	49,6	50,5	50,2
% N	49,1	48,3	48,5
% O ₂	1,3	1,2	1,3

On remarque qu'après 21 jours de conservation, la proportion de gaz dans la barquette est différente. Effectivement, le pourcentage de dioxyde de carbone passe de 60% (après production) à 50% après 21 jours de conservation. Le pourcentage de dioxyde de carbone dans la barquette diminue de 10% en 21 jours. Cela est sans doute lié à la perméabilité du film plastique. Dans la fiche technique (annexe 9) de ce film plastique, aucune valeur de perméabilité au dioxyde de carbone n'est donnée, ce qui nous empêche réellement de prouver cette hypothèse.

En 21 jours, le pourcentage d'oxygène a également augmenté, il est passé de 0,7% (après production) à 1,26%. Cela peut s'expliquer par la perméabilité du film d'opercule. Effectivement, la fiche technique (annexe 9) indique une perméabilité du film plastique à l'oxygène de 110 cm³/cm²/24h. Il est donc tout à fait normal que le pourcentage augmente au fil du temps. Malgré la faible augmentation de la proportion en oxygène, il est peu probable que la croissance des micro-organismes aérobies soit favorablement affectée sachant qu'il reste une proportion en dioxyde de carbone et en azote avoisinant les 40%.

3.3.4 Résultats à la production

Le tableau des différentes colonies observées sur les différents milieux est repris dans l'annexe 12. Les ensemencements en profondeur (Figure 96) sont réalisés à partir d'1 ml de solution mère placé dans une boîte de Pétri vide. Le milieu de culture est ensuite coulé sur celle-ci avant d'être refroidi. A l'inverse, les ensemencements en surface sont réalisés à partir de 100 µL de solution mère grâce à un ensemenceur en spirale (Figure 96) avec lequel plusieurs dilutions peuvent être réalisées sur une seule boîte, ce qui facilite donc la manipulation.



Figure 96 : De la gauche vers la droite : Ensemencement en profondeur sur boîte de Pétri vide, Ensemenceur en spirale.

Il suffit donc de multiplier par 100 les comptages des ensemencements en surface et par 10 ceux en profondeur afin d'en calculer les concentrations. Voici donc les concentrations moyennes des différentes flores microbiennes ainsi que les cibles et valeurs maximales reprises ci-dessus par le Tableau 43:

Tableau 43: Concentrations moyennes des différentes flores microbiennes présentes au jour J, cibles et valeurs maximales.

Flores	F.M.A.T	<i>Bacillus Cereus</i>	Entéro bactéries	Levures/ Moisissures	<i>Staphylo coques</i>	A.S.R.	<i>Salmonella</i>	<i>Listeria</i>
Conc. Moyenne	1,86x10 ³ UFC/g	<100 UFC/g	407 UFC/g	<10 UFC/g	<10 UFC/g	56 UFC/g	Absence	Présence
Cibles (m)	<100.00 UFC/g	<100 UFC/g	<10 UFC/g	<10 UFC/g	<10 UFC/g	<100 UFC/g	Absence/ 25g	Absence/ 25 g
Valeurs max. (M)	1.000.000 UFC/g	1.000 UFC/g	100 UFC/g	100 UFC/g	100 UFC/g	1000 UFC/g	Absence/ 25g	Absence/ 25 g

Nous pouvons donc observer que les cases vertes possèdent des concentrations moyennes en bactéries inférieures aux cibles fixées. Inversement, les cases rouges nous indiquent des concentrations supérieures aux valeurs maximales tolérées. Deux de celles-ci sont donc inacceptables et devront être expliquées : les entérobactéries, ainsi que *Listeria*. Cette dernière a subi un repiquage sur milieu RLM qui nous a indiqué qu'il s'agirait de la souche *Listeria welshimeri* qui se trouve être non-pathogène.

3.3.5 Résultats microbiologiques après 21 jours

Le tableau des différentes colonies observées sur les différents milieux est repris dans l'annexe 13. Les ensemencements se sont déroulés comme expliqué ci-dessus. Par la suite, le dénombrement des boîtes ensemencées en spirale a dû se faire à l'aide d'un calque (Figure 97) permettant de se référer à un abaque. Grâce à cela, les concentrations en ces différents micro-organismes ont pu être calculées et donc comparées aux limites cibles et maximales fixées. Le Tableau 44 reprend ces résultats.

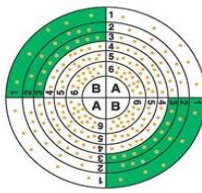


Figure 97 : Outil de dénombrement pour les boîtes de Pétri ensemencées par l'ensemenceur en spirale.

Tableau 44: Concentrations moyennes des différentes flores microbiennes présentes au jour J+21, cibles et valeurs maximales.

Flores	F.M.A.T	<i>Bacillus Cereus</i>	Entéro bactéries	A.S.R.	<i>Listeria</i>
Conc. moyennes	2,07.10 ⁵ UFC/g	<10 UFC/g	2,8.10 ³ UFC/g	<10 UFC/g	Absence/ 25 g
Cibles (m)	<1.000.000 UFC/g	<1.000 UFC/g	<10.000 UFC/g	<100 UFC/g	Absence/ 25 g
Valeurs max. (M)	10.000.000 UFC/g	10.000 UFC/g	100.000 UFC/g	1000 UFC/g	Absence/ 25 g

Nous pouvons observer dans ce tableau que toutes les concentrations en micro-organismes sont inférieures aux cibles fixées précédemment. Le produit est donc tout à fait consommable microbiologiquement parlant après les 21 jours de conservations.

3.3.6 Discussion

Résultats microbiologiques à la production

Lors des analyses, deux des résultats se sont avérés inacceptables car ils sont au-dessus de la valeur maximale. Il s'agit en effet de celui pour les entérobactéries (407 UFC/g) ainsi que de celui pour *Listeria* qui est présente.

En ce qui concerne les entérobactéries, celles-ci sont un indicateur de contaminations fécales mais se retrouvent dans beaucoup de matières premières comme par exemple nos épices. Le plus important est de ne pas dépasser la limite maximale de 100 UFC/g. Cela pourrait également provenir du personnel, en l'occurrence nous, lors de la manipulation et la confection des raviolis. Une autre source pourrait également être le matériel utilisé qui ne

serait pas nettoyé en profondeur à chaque utilisation (*Kitchen Aid*, laminoir, moule à raviolis, ...).

En ce qui concerne *Listeria*, il s'agit d'une souche non pathogène (*Listeria welshimeri*). Effectivement, un repiquage et donc une confirmation ont dû être nécessaires afin de prouver de la non-dangérosité de cette souche. Cette bactérie se retrouve plus particulièrement dans les plantes en décomposition, le sol, les eaux usées, la poussière et l'eau. La source de contamination la plus probable dans notre cas serait donc l'eau utilisée pour la pâte.

Afin d'y remédier, plusieurs solutions sont envisagées. Tout d'abord, nos matières premières doivent être toujours de la même provenance et le fournisseur doit garantir sa non-salubrité et des contrôles à l'arrivée peuvent être mis en place. Ensuite, des contrôles sur l'hygiène du personnel et du matériel peuvent avoir lieu. De plus, en raison de notre confection artisanale, la pasteurisation du produit a été mal maîtrisée et nous ne sommes pas arrivés au palier de température voulu. Une fois industrialisée et contrôlée, celle-ci pourrait nous permettre de réduire considérablement les bactéries indésirables. Enfin, la cuisson des raviolis chez le consommateur qui a une durée de 10 minutes dans de l'eau bouillante permettrait à nouveau de réduire considérablement ces concentrations.

Résultats microbiologiques après 21 jours

Malgré des concentrations tout de même élevées en flore totale et en entérobactéries, les concentrations après 21 jours sont toutes inférieures aux cibles fixées précédemment. Les concentrations s'expliquent par le fait que le produit n'est pas arrivé à la température souhaitée lors de la pasteurisation et que les raviolis n'ont pas été cuits avant analyses, ce qui aurait permis une destruction plus importante des micro-organismes présents.

4. Service

4.1 Cahier des charges pratique du packaging

4.1.1 Dimensionnement théorique

Ce paragraphe aborde une approche théorique du dimensionnement du packaging. En effet, ici, le dimensionnement du packaging est effectué uniquement sur base de calculs, à partir des mesures de nos propres raviolis et de leur poids.

La dimension de nos raviolis est de 52 mm sur 52 mm pesant ainsi 13 g. Cela nous donne la surface du carré, mais il nous faut maintenant l'épaisseur pour pouvoir avoir un volume:

$$5,2 \text{ cm} \times 5,2 \text{ cm} \times 0,4 \text{ cm} = 10,816 \text{ cm}^3$$

Ensuite, il nous faut déterminer le diamètre/rayon de la sphère. Pour cela, il nous faut appliquer la formule suivante: $4 \times \pi \times r^3 / 3 \times 2 = 1,58 \text{ cm}^3$. Sachant que le rayon est égal à 1,31 moins 0,4, le volume total d'un seul ravioli est de $10,816 + 1,58 = 12,4 \text{ cm}^3$.

Sachant qu'un ravioli pèse 13 g en moyenne, un paquet de 500 g sera composé de 38 raviolis. Le volume total que prendront 38 raviolis est donc de $471,2 \text{ cm}^3$.

On peut donc maintenant déterminer les dimensions du paquet, connaissant le volume que celui-ci doit contenir: le diamètre du cylindre est donc de 6 cm. Si le diamètre est de 6 et que le cylindre doit contenir 471 cm^3 de raviolis, la hauteur de ce cylindre doit être de 16 cm de hauteur.

Il existe cependant d'autres possibilités de forme de cylindres. Certains peuvent être beaucoup plus larges, avec par exemple un diamètre de 11 cm avec une hauteur de 5 cm. Cependant, d'un point de vue esthétique, le cylindre de 16 cm de hauteur et 6 cm de diamètre semble mieux convenir.

4.1.2 Dimensionnement pratique

Ce paragraphe aborde une approche plus pratique du dimensionnement du packaging. En-effet, ici toutes les contraintes pratiques dues à la mise en cylindre (forme choisie de notre packaging) des raviolis vont être prises en considération. Ce dimensionnement reflète donc plus la réalité.

Le dimensionnement pratique va se dérouler en trois étapes. Tout d'abord, le volume va être évalué afin d'obtenir 500 g, ensuite les dimensions du packaging vont être déterminées, et puis un facteur de correction va être choisi en fonction des dimensions calculées théoriquement ci-dessus.

- **Évaluation du volume afin d'obtenir 500 g :**

Nous sommes partis de 16 raviolis, 176 g, pour un volume mesuré de 400 ml mesuré au cylindre gradué (Figure 98).

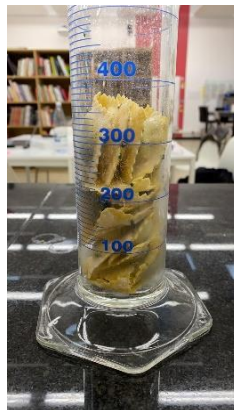


Figure 98 : Calcul de la masse volumique de 16 raviolis.

$$\begin{aligned}\text{Le } \rho_{\text{packaging}} &= 176 / 400 \\ &= 0,44 \text{ g/ml}\end{aligned}$$

$$\text{Si l'on veut 500 g: } 500 = \rho_{\text{packaging}} \cdot V \Rightarrow V = 500 / 0,44 = 1136,3 \text{ ml (ou } \mathbf{1,14 \text{ L}})$$

- **Évaluation des dimensions du packaging:**

$$1140 = r^2 \cdot \pi \cdot H$$

$$H = 5r \text{ (proportions définies lors du dimensionnement théorique ci-dessus)}$$

=> Résolution d'un système d'équation à deux inconnues

$$\mathbf{r = 4,17 \text{ cm et } H = 20,85 \text{ cm}}$$

- Facteur de correction par rapport aux dimensions calculées théoriquement : **139 %** ou encore. **1,39**

Les dimensions finales de notre packaging en cylindre sont donc de **8,4 cm** de diamètre et de **20,85 cm** de hauteur.

4.1.3 Prototype 3D

Le paragraphe suivant présente différentes coupes et plans du prototype final en 3D du packaging. Celui-ci est composé d'un cylindre troué en son centre par une fenêtre "hublot", équipé d'un couvercle déposable ainsi que d'une base légèrement évasée permettant la stabilité de l'ensemble. Le hublot est un choix marketing lié aux comportements des consommateurs. Effectivement, à cette période, les consommateurs font très souvent le rapprochement entre l'algue marine que l'on voit en vacances dans la mer avec l'algue prête à être consommée. Afin d'aller en ce sens, nous avons voulu intégrer le côté marin dans le packaging (Figure 99) pour faire appel à cette manière de penser.

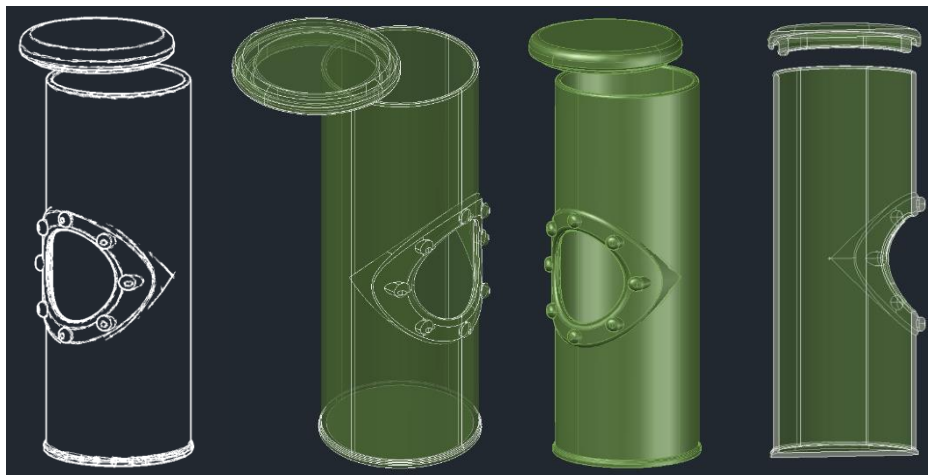


Figure 99 : Prototype 3D de l'emballage primaire de raviolis ricotta-spiruline.

4.1.4 Prototype 2D en vue de l'étiquetage

Cette présentation reprend toutes les mesures nécessaires à l'élaboration de l'étiquette. Le plan ci-dessous (Figure 100) comprend les mesures de l'étiquette en millimètres.

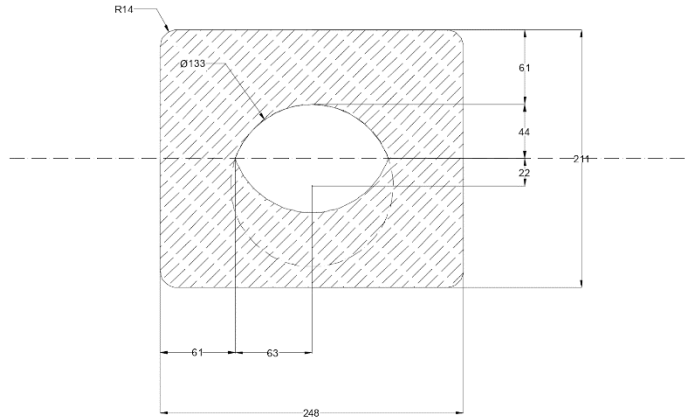


Figure 100: Plan de l'étiquette pour l'emballage primaire de raviolis ricotta-spiruline (mm).

4.1.5 Palettisation théorique

La palettisation s'est réalisée sur *Picador*, un programme de packaging. Les informations présentées dans la partie: "4.1 Cahier des charges pratique de l'emballage" sont reprises dans cette partie.

Dimension de l'emballage secondaire :

Les dimensions de l'emballage secondaire énoncées précédemment sont les suivantes: 500x400x250 mm avec une double cannelure, ces données sont représentées par Figure 101.

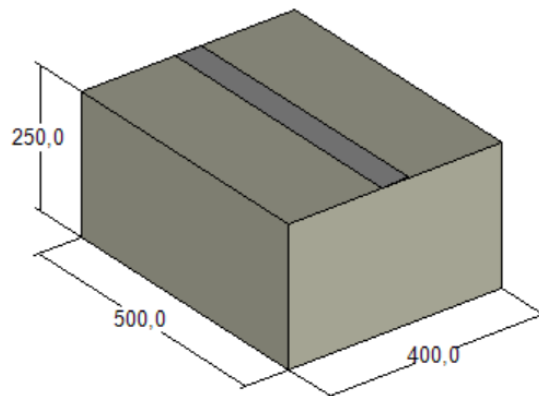


Figure 101: présentation 3D et dimensionnement de l'emballage secondaire (mm).

Selon la base de données de *Picador*, il est possible de sélectionner des cartons préexistants avec l'ensemble de leurs caractéristiques. Malgré que l'épaisseur soit inconnue, le carton sélectionné dans cette base de données a une épaisseur de 7 mm, c'est l'épaisseur la plus grande vu qu'il s'agit d'une double cannelure. Pour ce carton, la RVC statique est de 898,82 daN et l'ECT est de 11,5 kN/m.

La Figure 102 montre qu'une boîte en carton de ce genre peut contenir maximum 20 cylindres si tous sont placés verticalement. Dans ce cas, un espace d'environ 70 mm est perdu en longueur et 60 mm en largeur.

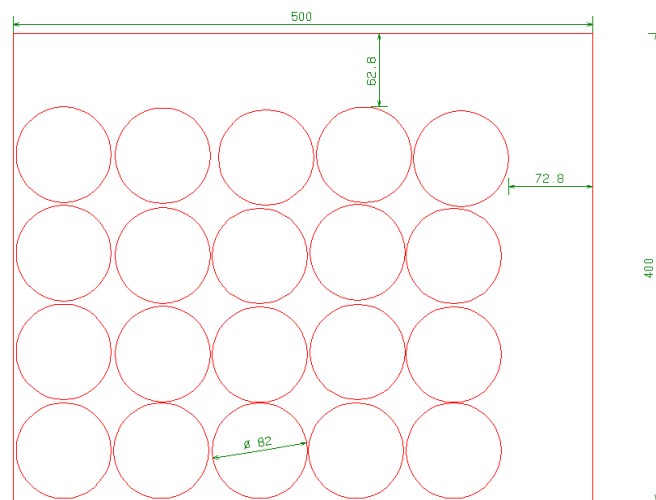


Figure 102: Représentation et dimensionnement du nombre d'emballages primaires placés verticalement que peut contenir l'emballage secondaire (mm).

Si les cylindres sont placés horizontalement, la quantité maximale par boîte est de 24 cylindres. La perte dans le carton est de 69 mm en longueur (Figure 103).

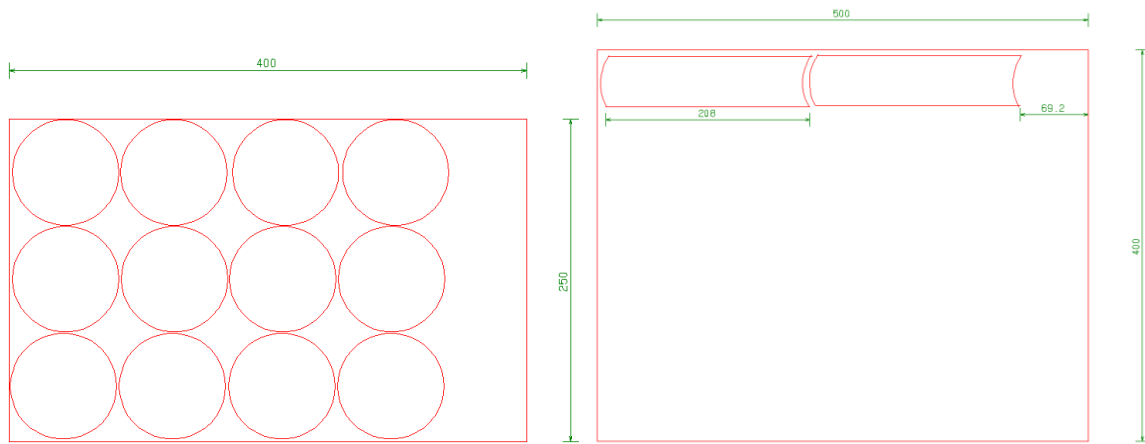


Figure 103: De la gauche vers la droite : Coupe transversal de l'emballage secondaire avec les cylindres placés horizontalement, Représentation et dimensionnement de l'emballage primaire placé horizontalement dans l'emballage secondaire (mm).

Afin d'optimiser le nombre de paquets de raviolis dans une boîte, les cylindres seront placés horizontalement (couchés). Cela signifie qu'une boîte contenant des raviolis pèserait minimum 12 kg sans compter le poids de l'emballage primaire et du carton.

Palettisation :

Les dimensions théoriques de la palette étaient de 1200x800 mm, elles sont représentées par la Figure 104. Cette même figure indique qu'en utilisant une telle palette, il y aura une perte de 100 mm de part et d'autre de la palette et celle-ci contiendra 32 caisses c'est-à-dire 8 couches de caisses.

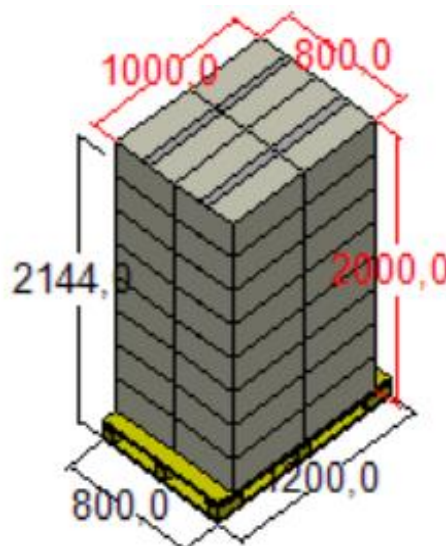


Figure 104: Représentation et dimensionnement de la palettisation de l'emballage secondaire avec des pertes (mm).

Afin d'optimiser le nombre de caisses par palette, une autre dimension de palette est choisie. Les dimensions de la nouvelle palette sont de 1200x1000x150 mm. C'est ce que montre la Figure 105.

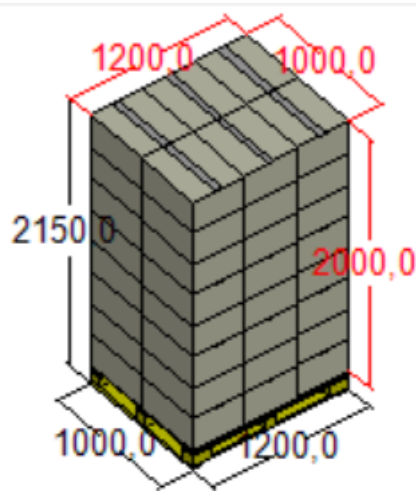


Figure 105: Représentation et dimensionnement de la palettisation de l'emballage secondaire (mm).

Dans ce cas-ci, le nombre de caisses est de 48 et la perte d'espace sur la palette est nulle. Le nombre de couches est toujours de 8 et la hauteur est de 2 mètres. Le poids de la palette est de minimum 576 kg.

4.1.6 Matériaux employés

Le film plastique est le même que celui utilisé par notre parrain industriel *Pasta Della Mamma*. En effet, celui-ci sert à emballer des pâtes fraîches et convient parfaitement pour notre produit. Il s'agit d'un film de PET enduit PVDC / PEHT. Pour ce qui est du carton servant à former notre cylindre, celui-ci sera préférentiellement un carton de type FSC.

Ayant pris contacts avec une entreprise spécialisée dans les emballages en carton (Alizé), celle-ci nous a conçu un prototype ressemblant à nos attentes à l'exception que la forme ne peut être qu'un hexagone. En effet, le carton n'est pas modelable en forme de cylindre allongé avec une fenêtre comme cela était prévu initialement. Le dimensionnement de cet emballage est repris dans la Figure 106 ci-dessous.

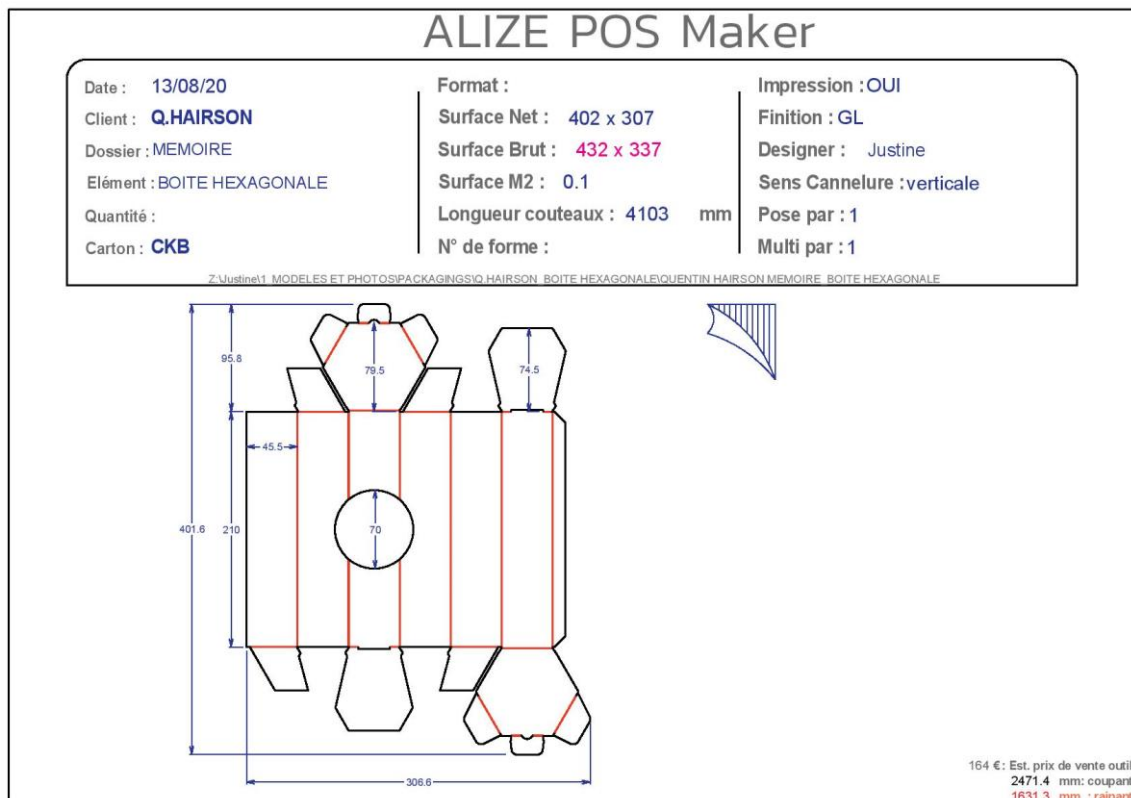


Figure 106 : Fiche technique de l'emballage final

A partir de cette fiche technique, ils ont pu concevoir un prototype de notre emballage final. Celui-ci est représenté dans la Figure 107 sous différents angles. Le carton se trouve être FSC avec un extérieur blanc pour faciliter l'impression de l'étiquette sur celui-ci et un intérieur couleur carton. Il possède la fenêtre comme souhaité mais ne possède pas le hublot en relief car il est impossible de réaliser ceci en carton. Ce motif devra donc être intégré à l'étiquette par la suite.

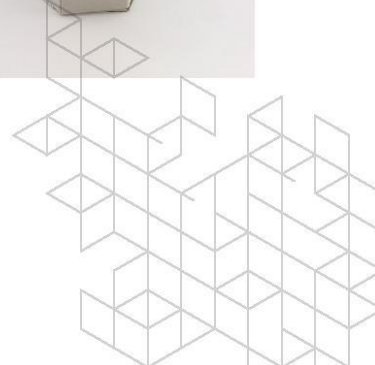


Figure 107 : Emballage final en carton FSC.

4.2 L'étiquetage

L'étiquette viendra se placer autour du cylindre et fera apparaître la fenêtre au centre de celle-ci (Figure 108). Elle permettra au consommateur d'avoir toutes les informations légales et pratiques concernant notre produit ainsi que notre logo, une courte description de ce qu'est "*Alguente*" et un accès à un QR code permettant de trouver facilement notre site Internet contenant diverses informations. Le site Internet est expliqué dans le point suivant.



Figure 108 : Étiquette de l'emballage primaire.

Notre étiquette a une fonction informative pour le consommateur (liste nutritionnelle, liste d'ingrédients, ...), mais également une fonction de marketing (lié aux couleurs, au QR code, ...) et de sécurité du consommateur. En effet, un élément va être ajouté à notre étiquette afin de fournir au consommateur la certitude que le paquet de raviolis n'a jamais été ouvert auparavant, mais également pour empêcher l'ouverture accidentelle de celui-ci lors d'actions logistiques. L'exemple ci-dessous (Figure 109) permet d'illustrer ce propos. Il s'agit d'un pot de mayonnaise, la partie encadrée montre l'étiquetage permettant d'assurer que le pot n'a pas été ouvert ultérieurement. Cela permet de lier la partie avant de l'étiquette (sur le pot en verre) avec la partie supérieure (le capuchon).



Figure 109 : Languette d'inviolabilité Devos & Lemmens.

Un deuxième élément va être modifié sur l'étiquette et cela concerne la date limite de consommation. Une zone grisâtre va être placée à côté des indications "A consommer avant le" et "te gebruiken tot" afin que la DLC y soit placée. Lors de la production, un graveur laser ou un jet d'encre permettra d'indiquer au jour le jour la date sur cette zone. La Figure 110 présente l'étiquette avec le système d'inviolabilité et la zone grisâtre pour la DLC.



Figure 111 : QR code menant au site internet

4.4 Gamme de raviolis ricotta-spiruline

3 produits différents ont été créés au fil des expérimentations: des raviolis ricotta-spiruline chaque fois avec de la spiruline dans la farce, une fois avec une pâte standard, une fois avec de la spiruline en poudre dans la pâte, et une fois avec de la farine complète. Cette gamme de produits a été réalisée pour trois raisons.

Premièrement, avoir une gamme de produits facilitera notre entrée sur le marché. En effet, pour un supermarché ou une chaîne de magasin donnée, il est plus facile de commercialiser une marque ayant une meilleure visibilité et donc une gamme de plusieurs produits. Une meilleure visibilité permet ainsi d'augmenter les ventes.

La deuxième raison est de mettre à profit d'autres vertus de la spiruline. Dans le cadre de ce projet, la spiruline est utilisée essentiellement pour sa grande capacité d'apport en protéines, mais ce n'est pas la seule de ces qualités. En effet, la spiruline est également un excellent colorant, nous avons pu observer qu'en en intégrant que quelques grammes (2 g) dans la pâte, cela nous permettait d'obtenir une coloration totalement différente de la pâte de nos raviolis.

Enfin, la dernière raison nous motivant à créer une longueur de gamme de trois produits était d'ajouter des avantages d'un point de vue nutritionnel et santé à nos raviolis. Cela est possible simplement en variant le type de farine employé pour réaliser la pâte. Nous avons donc essayé de réaliser notre pâte avec de la farine complète et non plus de la semoule de blé. Cela nous permettait ainsi d'avoir un ravioli "pâte complète".

Alguente se destine donc à être décliné sur le marché sous forme de trois produits: un ravioli ricotta spiruline farine de blé dur dans la pâte, un ravioli ricotta-spiruline farine de blé dur **et spiruline** dans la pâte, et enfin, un ravioli ricotta spiruline **farine complète** dans la pâte. La Figure 112 illustre notre gamme de produits:



Figure 112 : De la gauche vers la droite : Ravioli ricotta-spiruline avec de la semoule de blé dur, Raviolis ricotta-spiruline avec de la spiruline dans la pâte, Raviolis ricotta-spiruline avec de la farine complète.

4.5 Prix de revient

Dans ce paragraphe, le prix de revient de 500 g de raviolis va être évalué. Le prix de revient est la somme de tous les coûts qui sont supportés pour la production d'une denrée alimentaire. Celui-ci fait entre-autre intervenir le coût d'achat, les coûts d'approvisionnement, de production, de distribution ainsi que les coûts administratifs. Le prix de vente correspond au prix de revient en prenant en compte la marge bénéficiaire qui sera définie par le producteur.

Étant donné que les autres coûts comme la main-d'œuvre, le transport, le digital marketing (actions de promotion, publicité, ...) ne sont pas pris en compte, seul le coût d'achat des ingrédients et de l'emballage va pouvoir être calculé dans le cadre de ce travail. Le Tableau 45 reprend le coût d'achat de 500 g de raviolis à la spiruline.

Tableau 45: Coût d'achat des raviolis à la spiruline.

Coûts	Prix TVAC (€)
Matières premières pour 500 g de raviolis	+/- 3,545 €
Emballage	+/- 1 €
Total pour 500 g	+/- 4,545 €
Prix au kilogramme	+/- 9,09 €

Le coût d'achat des raviolis à la spiruline a été calculé en fonction des prix des matières premières reprises en annexe 14 ainsi que du prix de l'emballage à l'unité. Les prix de ces matières premières sont ceux du marché de la grande consommation et pas ceux du marché B2B qui est forcément plus bas car lié à une quantité d'achats plus importante.

Nous avons observé que chez les concurrents (Partie I point 1.5), le prix moyen varie de 3€/kg pour une marque distributeur à 12€/kg pour une grande marque. Or, notre produit possède un coût d'achat de 9,09 €/kg. Nous pouvons donc conclure que notre prix se situe entre le prix des marques distributeurs et de celui des grandes marques. Cependant, il ne faut pas perdre de vue qu'il s'agit ici d'une première estimation qui ne prend pas en compte l'ensemble des autres dépenses et de la marge bénéficiaire.

De plus, la comparaison est faite par rapport à des raviolis ricotta-épinards et non ricotta-spiruline dont le prix peut faire varier énormément le coût d'achat. Aucune conclusion ne peut donc être tirée de la comparaison entre un prix d'achat de 500 g de raviolis chez *Alguente* et chez la concurrence.

CONCLUSION

C'est sur base de considérations environnementales et d'arguments nutritionnels qu'est née notre idée de développer notre produit final, le ravioli ricotta-algues. Bien que celui-ci n'apporte que des réponses partielles aux questions soulevées, il convient de faire ressortir certains points sur lesquels notre produit possède des avantages non négligeables. La principale qualité apportée par la spiruline est la richesse en protéines végétales qui permettent la réduction d'une consommation excessive en viande. Les autres propriétés sont plus de l'ordre du nutritionnel grâce à ses teneurs en antioxydants, en fer, en vitamines du groupe B.

De plus, d'autres impacts positifs sur l'environnement sont à mettre en avant. Comme par exemple, le peu de ressources nécessaires à la production de l'algue, l'utilisation de sous-produits avec le lactosérum utilisé pour la ricotta.

C'est donc en partant de ces données et de ce but que le plan d'action de notre travail s'est basé. Les bases théoriques ayant été fixées, le travail créatif a pu se mettre en place afin d'obtenir un produit fini plaisant et attirant pour les consommateurs. Il a également fallu répondre aux exigences nutritionnelles promises et qui font des raviolis *Alguente* un produit innovant.

De plus, le packaging éco-responsable et unique nous démarque de la concurrence et permet d'entrer dans une gamme de produit "nobles".

Tous les aspects de la règle des 5S ont été revus afin de s'assurer de proposer un produit fini de qualité et de respecter la législation en vigueur.

Premièrement, la *santé*. Ce point est primordial car il présente les bienfaits de notre produit sur la santé grâce aux différentes propriétés nutritionnelles.

Deuxièmement, la *satisfaction* pour laquelle il reste certains tests hédoniques à mettre en place mais où il nous a été possible de caractériser suffisamment notre produit fini afin de prouver son homogénéité.

Troisièmement, la *sécurité* où nous présentons les analyses mises en place ainsi que les résultats obtenus afin de prouver la non-salubrité de notre produit. Enfin, le *service* dans lequel se trouve les différents outils mis en place pour garantir une information claire aux consommateurs ainsi qu'une présentation soignée et attirante.

Pour ce qui est de l'aspect *sociétal*, il a été repris plusieurs fois dans le travail à différents endroits où l'impact positif de la production de spiruline sur l'environnement (par rapport à d'autres productions) a été prouvé par rapport à d'autres productions. Ou encore à d'autres endroits où nous nous appuyons sur le principe "d'éco-responsabilité". Certains points sont à peaufiner, d'autres à explorer afin de pouvoir améliorer les raviolis. Mais, ce qui est sûr après ce travail, c'est que les raviolis *Alguente* sont bons gustativement ainsi que pour la santé.

PERSPECTIVES

Afin d'améliorer les résultats présentés dans ce mémoire, certains points sont à travailler. Effectivement, en raison de la pandémie liée à la Covid-19, il nous a été impossible de travailler efficacement sur le terrain afin d'améliorer notre produit. C'est pour cela qu'une analyse plus complète du produit fini se doit d'être faite afin de s'assurer de la teneur promise en différents nutriments tels qu'une analyse et une quantification des protéines, des vitamines et des fibres. Il faudra également trouver un moyen d'assurer la bonne tenue visuelle des raviolis après un certain temps de conservation en diminuant l'impact de la diffusion farce-pâte. De plus, le plan d'action qui a été créé pour les différentes analyses sensorielles doit être mis en pratique afin de répondre aux questions organoleptiques de nos raviolis. Ensuite, un procédé de fabrication industriel doit être mis en place ainsi qu'un plan HACCP pour pouvoir produire en grande quantité notre denrée. Il va falloir également calculer la totalité des coûts liés à cette production ainsi qu'au packaging. Enfin, une fois que tous ces points seront améliorés, il faudra mettre en place une campagne de marketing afin de concrétiser, sur le marché, les hypothèses concernant nos cibles et nos lieux de ventes.

BIBLIOGRAPHIE

AFSCA, Arrêté royal relatif à l'hygiène des denrées alimentaires du 13 juillet 2014. Récupéré le 17 décembre sur le site http://www.favv-afsca.fgov.be/legislation/hygiene/denreesalimentaires/_documents/2014-07-13_AR_hygiene_DE.pdf

Agence Fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire (13 juillet 2014). Arrêté royal relatif à l'hygiène des denrées alimentaires. Récupéré le 27 avril 2020 sur le site http://www.favv-afsca.fgov.be/legislation/hygiene/denreesalimentaires/_documents/2014-07-13_AR_hygiene_DE.pdf

Al-Dhabi, N. A. (2013). Heavy metal analysis in commercial Spirulina products for human consumption. *Saudi journal of biological sciences*, 20(4), 383-388. Récupéré le 20 avril 2020 sur le site <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X13000430>

Algamar. « Algues certifiées bio » [En ligne]. (Consulté le 07/12/2019). <https://www.algamar.com/fr/algues-certifiees-bio/>

Alim'agri, "Denrées alimentaires : critères microbiologiques d'hygiène des procédés" [En ligne]. (Consulté le 20/12/2019) <https://agriculture.gouv.fr/denrees-alimentaires-criteres-microbiologiques-dhygiene-des-procedes>

Alimentaire, G. (2012). Du blé au pain. Récupéré le 12 octobre sur <http://genie-alimentaire.com> : <http://genie-alimentaire.com/spip.php?article92>

Alimentaires et outils de contrôle de la Qualité. INRA, 42p.

Alimentarius, C. (2007). Lait et produits laitiers. Rome: FAO/OMS, récupéré le 20 décembre sur le site <http://www.fao.org/3/a-i2085f.pdf>

Aliments, A. c. (2014). Guide de pratiques hygiéniques à l'intention des fabricants de pâtes alimentaires. Récupéré sur <http://www.inspection.gc.ca/aliments/systemes-de-production-d-aliments-salubres/modeles-generiques-de-haccp-et-des-documents-d-ori/guide-pates-alimentaires-non-farcies/fra/1364412028942/1364414870197?chap=0>

Anses, “Compléments alimentaires à base de spiruline : privilégier les circuits d’approvisionnement les mieux contrôlés” [En ligne]. (Consulté le 20/12/2019) <https://www.anses.fr/fr/content/compl%C3%A9ments-alimentaires-%C3%A0-base-de-spiruline-privil%C3%A9gier-les-circuits-d%E2%80%99approvisionnement>

Anses. (2018). Table de composition nutritionnelle cical [En ligne]. (Consulté le 23/02/2020) <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/table-de-composition-nutritionnelle-des-aliments-cical/>

Avis de l’ANSES relatif aux « risques liés à la consommation de compléments alimentaires contenant de la spiruline » (2017). Récupéré le 14 décembre 2019 sur le site <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2014SA0096.pdf>

Barilla. « La qualité et le goût Barilla, 100% farine de légumineuse » [En ligne]. (Consulté le 03/12/2019). <https://www.barilla.com/fr-be/produits-r%C3%A9sultats/pasta/gamme/legumineuses?sort=alpha>

Battaglia, J. M. (1989). *U.S. Patent No. 4,848,218*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, récupéré le 19 décembre sur le site <https://patents.google.com/patent/US4848218A/en>

Besbes, S., Blecker, C., Attia, H., Massaux, C., & Deroanne, C. (2003) Transformation du lactosérum doux en ricotta: effets du remplacement du traitement thermique par les hautes pressions hydrostatiques.

Carrefour. « Course en ligne » [En ligne]. (Consulté le 15/11/2019). <https://drive.carrefour.eu/fr/search/?text=algues>

Cassan, Denis (2015). Note de cours : Procédés de structuration des pâtes

Centre d’étude et de valorisation des algues. (2014). Réglementation algues alimentaires [En ligne]. (Consulté le 23/02/2020)

<https://www.foodplanet.fr/app/download/5806453856/R3A9glementation+algues+alimentaires>
[s](#)

Ceva : Centre d'étude et de valorisation de l'algue. « Documentation : Fiche nutritionnelle de la spiruline » [En ligne]. (Consulté le 15/11/2019).<https://www.ceva-algues.com/document/#reglementation-algues-alimentaires>

CEVA, "Réglementation algues alimentaires" (2014). Récupéré le 14 décembre 2019 sur le site <http://www.cybercolloids.net/sites/default/files/r%C3%A9glementation%20algues%20MAJ%202014.pdf>

CEVA, Réglementation algues alimentaires Synthèse 10/02/2014. Récupéré le 20 Avril 2020 sur le site <http://www.cybercolloids.net/sites/default/files/r%C3%A9glementation%20algues%20MAJ%202014.pdf>

CEVA. (N.D.). Agri-food health & nutrition. (Consulté le 25/10/2019) <https://www.ceva-algues.com/en/business-areas/agri-food-health-nutrition/>

Ciferri O, Tiboni O. The biochemistry and industrial potential of Spirulina. Ann Rev Microbiol. 1985; 39: 503-26.

Colruyt. (2020). Valeurs nutritionnelles de la farine complète. Récupéré le 5/5/2020 sur le site <https://fic.colruytgroup.com/productinfo/fr/cogo/3737272>

Colruyt. « Collect&go » [En ligne]. (Consulté le 15/11/2019). <https://colruyt.collectandgo.be/cogo/fr/chercher?z=algues&category=generic>

Commission européenne. (2011). Règlement (UE) No 1129/2011 de la commission, Journal officiel de la commission Européenne, 89-90

Committee, C. (2003). Codex Alimentarius Commission., (pp. 10 – 11). Rome.

Dalia. « Catalogue des produits : Pâtes alimentaires » [En ligne]. (Consulté le 27/11/2019). <http://www.dalia.ma/fr/nos-produits/catalogue-des-produits/produits-pates?start=6>

Davey, K. R., & Cerf, O. (1996). Predicting concomitant denaturation of vitamin as influenced by combined process temperature and pH in batch and continuous flow sterilization of liquids. *Food and Bioproducts Processing*, 74(4), 200-206.

David Burdick. (2000). Kirk-Othmerencyclopedia of chemical technology 4th ed.: Thiamine (B1), vol. 25, John Wiley & Sons.

Dececco. « PennetteRigate n° 241 ai 7 Cereali » [En ligne]. (Consulté le 23/12/2019). https://www.dececco.com/fr_fr/product/pennette-rigate-n-241-ai-7-cereali/

Dececco. « Produits : Fusilli con spinaci » [En ligne]. (Consulté le 03/12/2019). https://www.dececco.com/fr_fr/product/fusilli-n-34-con-spinaci/

Déchand, F. (15 Janvier 2016). Enquête consommateurs Spiruline de Provence - Résultats 2015 [Video File]. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=Uj1EYkUuPqg>

Delacharlerie, S., de Biourge, S., Chèné, C., Sindic, M., & Deroanne, C. (2008). *HACCP organoleptique: Guide pratique*. Presses Agronomiques de Gembloux.

Delhaize. « Accueil : E-shop » [En ligne]. (Consulté le 15/11/2019). <https://www.delhaize.be/fr-be/shop>

Desmorieux, H., & Hernandez, F. (2004, August). Biochemical and physical criteria of Spirulina after different drying processes. In *Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS), B* (pp. 900-907).

Detoxorganica. « Spiruline Bio-500 Comprimés : Riche en Fer et Beta-carotène » [En ligne]. (Consulté le 23/12/2019). <https://detoxorganica.com/>

Dhnet.be. « Vegan, végétarien, flexitarien : c'est tendance » [En ligne]. (Consulté le 24/11/2019). <https://www.dhnet.be/conso/consommation/vegan-vegetarien-flexitarien-c-est-tendance-5a845bcecd70fdabba0258c1>

EARL La spiruline de montauban. « Acheter notre spiruline en ligne » [En ligne]. (Consulté le 15/11/2019). <http://www.spiruline-de-montauban.fr/bienfaits-de-la-spiruline>

Echlorial, "Infographie : Composition de la spiruline" (2019) [En ligne]. (Consulté le 14/12/2019) <https://www.echlorial.fr/blog/infographie-composition-spiruline/>

FAO “Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine” Chapitre 7 “lactoserum” 1995, récupéré le 10 novembre sur le site <http://www.fao.org/3/t4280f/T4280F0h.htm>

Farmaline. « Pharmaflore : Spirulina 100g poudre » [En ligne]. (Consulté le 07/12/2019). <https://www.farmaline.be/pharmacie/commander/pharmaflore-spirulina-poudre/>

Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization. (2008). Microbiological hazards in fresh fruits and vegetables. Récupéré le 14/07/2020 sur le site https://www.who.int/foodsafety/publications/micro/MRA_FruitVeges.pdf

Francis Parisien, Agroquebec. « Les protéines végétales gagnent du terrain » [En ligne]. (Consulté le 24/11/2019). <https://agroquebec.quebec/les-proteines-vegetales-gagnent-du-terrain/>

G. Blanchard (octobre 2019). La spiruline: à l'origine de l'humanité, une solution pour relever les défis alimentaires & environnementaux de demain?

GIANNUZZI, L. (1998). Shelf-life of fresh filled pasta. Hazard analysis and critical control points of the manufacturing process and household practices. *Journal of food processing and preservation*, 22(6), 449-461. Récupéré le 10 Mars 2020 sur le site <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1745-4549.1998.tb00362.x>.

Henrikson, R. (1989). Earth food spirulina. *Laguna Beach, CA :RonoreEnterprises, Inc*, 187. Récupéré le 7 décembre 2019 sur le site <http://www.spirulinasource.com/PDF.cfm/EarthFoodSpirulina.pdf>

Spiruline-France. « La spiruline fraîche » [En ligne]. (Consulté le 07/12/2019). <http://spiruline-france.fr/spiruline-fraiche/>

Ibanez, D. (2015). Séminaire INRA sur le blé dur et les pâtes. (Consulté le 15/11/2019) https://www.trafoon.org/sites/trafoon.org/files/download/877/montpellier_denis_ibanez_2015_11.pdf

Jenny Brewer, Algae offset ink replaces petroleum banned pigments in Patagonia's printed city guide, 13 December 2019. Récupéré le 2 Mai 2020 sur le site <https://www.itsnicethat.com/news/cast-iron-patagonia-boulder-guide-algae-offset-ink-publication-131219>

Jourdan, J. P. (2001). Grow your own Spirulina. *Geneva, Switzerland*. Récupéré le 10 décembre sur le site : <https://wiki.opensourceecology.org/images/c/c6/Spirulina.pdf>

Karleskind, Brigitte (2018). *Le guide complet de la spiruline*. Vergèze : Thierry Soucar éditions, 153 p.

Larochette, et al (2015). Cinquante ans de consommation alimentaire: une croissance modérée, mais de profonds changements, récupéré le 2 janvier sur le site <http://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/34254/1/ip1568..pdf>

Le Bras, Quentin, et al. "Etude du marché français des algues alimentaires Tome 2: Catalogue et analyse des produits existants. IDEALG● Phase 2-Les publications du Pôle halieutique AGROCAMPUS OUEST n° 37." (2015).

Le Bras, Quentin, et al. "Etude nationale de la consommation d'algues alimentaires : Contexte et méthodologie. Programme IDEALG Phase 1." (2014).

Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg. (2018). Critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires Lignes directrices pour l'interprétation [En ligne]. (Consulté le 24/10/2019) https://securite-alimentaire.public.lu/dam-assets/fr/professionnel/Denrees-alimentaires/Qualite-microbiologique/recueil_criteres_microbiologiques/F-054-05.pdf

Léonard, P. (2019). Moyens de production et de mise en œuvre d'un emballage & Conditionnement et technologies avancées. Année académique 2019-2020

Manjolive. « La boutique du producteur » [En ligne]. (Consulté le 23/12/2019). <https://www.manjolive.fr/>

Maubois, J. L., & Kosikowski, F. V. (1978). Making Ricotta cheese by ultrafiltration. *Journal of Dairy Science*, 61(7), 881-884. Récupéré le 4 novembre sur le site https://www.researchgate.net/publication/238689963_Enquete_sur_le_systeme_de_production_de_la_Ricotta_fraiche_de_brebis_et_chevre_en_Basilicata

Melio. « Nos produits : les pâtes mélio » [En ligne]. (Consulté le 27/11/2019) <http://meliofood.ca/index.php/produits/>

Microbe Wiki. (2010). *Listeria welshimeri*. Récupéré le 22/07/2020 sur le site https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Listeria_welshimeri

Ministère de la santé, Critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires Lignes directrices pour l'interprétation, Le Gouvernement du Grand-Duché du Luxembourg, 2018. Récupéré le 20 Avril 2020 sur le site https://securite-alimentaire.public.lu/dam-assets/fr/professionnel/Denrees-alimentaires/Qualite-microbiologique/recueil_criteres_microbiologiques/F-054-05.pdf

Onatera. « Super aliments-Spiruline en poudre » [En ligne]. (Consulté le 15/11/2019). https://www.onatera.com/produits-super-aliments,575.html?alias=1070&nb_par_page=16&actif_rech%5B0%5D=217

Organisation Mondiale de la santé, Organisation des nations unies pour l'agriculture et l'alimentation. (2017). CODEX ALIMENTARIUS.

Passion, C. (2016). Farines, passez à la version complète ! Récupéré le 12 octobre sur <http://lesbonnespoires.fr/une-vie-plus-saine/sante/zoom-produits/farines-passez-a-la-version-complete/>

Pizzillo, M., Rubino, R., Claps, S., Calandrelli, M., & Ferrara, V. Enquête sur le système de production de la Ricotta fraîche de brebis et chèvre en Basilicata.(2004)

RÈGLEMENT (CE) N° 258/97 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 27 janvier 1997 relatif aux nouveaux aliments et aux nouveaux ingrédients alimentaires. Récupéré le 22 décembre 2019 sur le site <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:31997R0258&from=ES>

RÈGLEMENT (CE) No 1924/2006 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL concernant les allégations nutritionnelles et de santé portant sur les denrées alimentaires (2006). Récupéré le 14 décembre 2019 sur le site <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1924&from=fr>

RÈGLEMENT (CE) No 333/2007 DE LA COMMISSION du 28 mars 2007 portant fixation des modes de prélèvement d'échantillons et des méthodes d'analyse pour le contrôle officiel des teneurs en plomb, en cadmium, en mercure, en étain inorganique, en 3-MCPD et en benzo(a)pyrène dans les denrées alimentaires. Récupéré le 14 décembre 2019 sur le site <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007R0333&from=FR>

RÈGLEMENT (UE) No 1258/2011 DE LA COMMISSION du 2 décembre 2011. Récupéré le 23 juillet 2020 sur le site <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:320:0015:0017:FR:PDF>

Sottiez, P. (1985). Produits dérivés des fabrications fromagères. Laits et produits laitiers: vache, brebis, chèvre/Société scientifique d'hygiène alimentaire; François M. Luquet, coordonnateur, assisté de Yvette Bonjean-Linczowski; préfaces de J. Keilling, R. de Wilde.

Soubry, S. (2008). Les Pâtes Alimentaires. Récupéré le 12 octobre sur le site <https://fr.slideshare.net/svoiland/pates-alimentaires>

Spirugrow, "The huge difference between fresh and dried spirulina" [En ligne]. (Consulté le 20/12/2019) <https://spirugrow.com/the-huge-difference-between-fresh-and-dried-spirulina/>

Spiruline-France. « La spiruline fraîche » [En ligne]. (Consulté le 07/12/2019).

Sud-spiruline. « Spiruline naturelle » [En ligne]. (Consulté le 23/12/2019). <https://www.sud-spiruline.com/>

Tang, G., & Suter, P. M. (2011). Vitamin A, nutrition, and health values of algae: Spirulina, Chlorella, and Dunaliella. *Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences*, 1(2), 111-118. Récupéré le 19 décembre 2019 sur le site <https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/61173/1/JPANSV1N2A04-TangOA.pdf>

UNAFPA. (2001). La législation sur les pâtes alimentaires dans l'U.E. Récupéré sur UN.A.F.P.A : <http://www.pasta-unafpa.org/pdf/BELGIUM.pdf>

Virgil, M. (1960). *U.S. Patent No. 2,950,978*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Volkman, H., Imianovsky, U., Oliveira, J. L., & Sant'Anna, E. S. (2008). Cultivation of *Arthrospira* (Spirulina) platensis in desalinator wastewater and salinated synthetic medium: protein content and amino-acid profile. *Brazilian Journal of Microbiology*, 39(1), 98-101. Récupéré le 22 juillet 2020 sur le site https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1517-83822008000100022&script=sci_arttext

World Health Organization. (2008). *Microbiological hazards in fresh leafy vegetables and herbs: meeting report* (Vol. 14). World Health Organization. Récupéré sur le 28 juillet sur le site https://www.who.int/foodsafety/publications/micro/MRA_FruitVeges.pdf