



Année Universitaire : 2014-2015

**Filière ingénieurs
Industries Agricoles et Alimentaires**



**Rapport de stage de fin d'études pour l'obtention du Diplôme
d'ingénieur d'Etat**

**Développement d'un nouveau produit alimentaire à base des
micro-algues et optimisation de son profil nutritionnel en termes
de matières grasses**

Réalisé par :

Fadwa BEQQALI

Encadré par :

- Mr. Thomas FELICE : Responsable R&D d'Algama
- Mr. Fouad KHALIL : FST Fès

Présenté le 29 Juin 2015 devant le jury composé de :

- Pr. A. LAZRAQ
- Pr. H. SOUHA
- Pr. Fouad KHALIL

Stage effectué à : Algama France

Dédicaces

A mes chères Parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'estime, le dévouement et le respect que je vous porte, acceptez ce modeste travail en reconnaissance du sacrifice et de l'effort que vous m'avez cessé de déployer. Puisse Dieu vous donner longue vie pour que je puisse vous comblez à mon tour.

A mon mari Hicham

Vous m'avez toujours encouragé, aidé et servi avec dévouement. J'en saurais vous exprimer par ces mots mon amour, mon attachement et mon affection.

A ma famille

Que ce travail soit l'aboutissement de votre soutien et de votre encouragement.

A mes amis et amies

Que notre amitié dure pour toujours

A tous ceux qui m'aiment sincèrement.

Je vous dédie ce modeste travail...

Remerciements

Au terme de ce stage, j'ai l'énorme plaisir de présenter mes sincères remerciements à Monsieur Fouad KHALIL mon encadrant de stage au sein de la faculté des sciences et techniques de Fès, et Monsieur Thomas FELICE, mon maître de stage et collègue, qui m'a guidé, appris, écouté et surtout fait confiance durant toute la durée de mon stage chez Algama. Je remercie également le docteur Samira ACHIR qui nous dispensait de sa bonne humeur et de son enthousiasme.

*J*ai eu beaucoup de plaisir à travailler pour (et avec) les trois fondateurs de l'entreprise ; Mathieu GONÇALVES, Alwyn SEVERIEN et Gaetan GOHIN qui m'ont rapidement mis à l'aise au sein de l'équipe.

*E*nfin je voudrai remercier les autres membres de l'équipe, Hugo LERCHER, Théo BRUEY, Pauline LERDON, et Arya KARABULUT pour leur sympathie et pour m'avoir accueilli à bras ouverts.

*J*e remercie également tous ceux qui ont contribué à ma formation pendant l'année universitaire 2014/2015 au sein de la faculté des sciences et techniques de Fès.

*S*ans oublier toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin pendant la période de stage.

Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Introduction.....	1
A. Contexte de stage.....	2
I. Contexte alimentaire.....	2
II. Algama, pionnière de la valorisation et de la démocratisation des micro-algues dans les produits alimentaires	2
B. Présentation du projet « sauce mayonnaise ».....	6
I. Initiation et définition du projet et de ses attentes	6
II. L'environnement réglementaire, commercial et sensoriel dans lequel s'ancre le projet	9
III. La formulation de la sauce « Yogi ».....	11
IV. Diagramme de fabrication.....	19
V. Exigences du produit en termes de matières grasses	19
C. Etude bibliographique	21
I. Généralités sur les lipides.....	21
II. Description des huiles végétales alimentaires	22
III. Synthèse des huiles végétales selon les exigences de base du produit	25
IV. Préparation du cahier des charges des huiles	26
V. Recherche des fournisseurs des huiles certifiées agriculture biologique	26
D. Matériels et méthodes	27
I. Matériels	27
II. Méthodes d'analyses.....	28
E. Résultats expérimentaux et discussion	33
I. Etude des propriétés nutritionnelles du produit.....	33
II. Formulation théoriques des mix d'huile	34
III. Analyse du produit fini en termes de matières grasses	35
IV. Analyse sensoriel du produit Yogi	39
V. Mise en place de panels	41
▪ <i>Interprétation du test</i> :	44
▪ <i>Analyse critique de la démarche</i>	44

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

VI. Sélection en termes du coût de revient de chaque mayonnaise formulée	45
F. Taches annexes	47
I. Gestion de laboratoire	47
II. Springwave, la boisson	47
III. Autres	47
Conclusion	48
Bibliographie	49
Annexes	51

Liste des figures

Figure 1 : Les acteurs stratégiques d'ALGAMA – L'équipe projet	3
Figure 3 : Les acteurs stratégiques d'ALGAMA - Le comité stratégique (entreprise).....	3
Figure 2 : Les acteurs stratégiques d'ALGAMA - Le comité scientifique et stratégique.....	3
Figure 4 : Du complément alimentaire à l'aliment fonctionnel	5
Figure 5 : Visuel de la bouteille de Springwave.....	5
Figure 6: Les objectifs et contraintes de formulation issus du brief marketings.	8
Figure 7 : Les principaux acteurs du marché de la mayonnaise en 2013 [16].....	9
Figure 8 : Les attentes organoleptiques incombées à la sauce d'Algama	10
Figure 9 : Formule classique d'une mayonnaise.....	11
Figure 10 : Stabilisation d'une émulsion huile dans eau (H/E – mayonnaise allégée) ou eau dans huile (E/H – mayonnaise classique)	12
Figure 11 : Molécule de lécithine.....	13
Figure 12 : Processus d'obtention d'une farine de microalgues enrichie en micro et macronutriments	14
Figure 13 : Composition et valeurs nutritionnelles de l'ingrédient "Microalgae" de Roquette Frères. Le pourcentage des VNR est calculé sur la base d'un apport énergétique de 2000 kcal selon l'annexe XIII du Règlement (UE) n°1169/2011 du Parlement Européen et du Conseil du 25 octobre 2011 concernant l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires [28].....	15
Figure 14 : Comparaison du pouvoir émulsifiant de la farine de microalgues et du jaune d'œuf	16
Figure 15 : Recette initiale de la sauce de type "mayonnaise" de Roquette Frères (pour 100 g).....	17
Figure 16 : Eléments de base de la sauce initiale de Roquette Frères conservés pour atteindre les objectifs d'Algama (pour 100 g)	17
Figure 17 : Sirop d'agave.....	17
Figure 18 : Schéma bloc de production : Sauce Yogi	19
Figure 19 : Structure chimique de quelques acides gras : En rouge : l'atome d'oxygène ; en bleu :	21
Figure 20 : Structure chimiques de l'isomère "cis" et "trans" de l'acide gras C18 :1 : En rouge : l'atome.....	22
Figure 21: Les différents objectifs de l'évaluation sensorielle.....	29
Figure 22 : Étapes pour la recherche et la sélection de descripteurs	30
Figure 23 : Profils sensoriels de 7 mayonnaises substituées en matières grasses. Les moyennes et écarts-types des échantillons pour chaque descripteur sont précisés en Annexe 4	40

Liste des tableaux

Tableau 1: Pourcentage des acides gras dans certaines huiles alimentaires (Harwood J. et al. 2000) ..	23
Tableau 2 : Composition nutritionnelle des huiles alimentaires.....	24
Tableau 3 : Les caractéristiques physico-chimiques de la qualité des huiles végétales alimentaires....	25
Tableau 4 : Synthèse des huiles alimentaires	25
Tableau 5 : Caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles d'intérêt des huiles sélectionnées	33
Tableau 6 : Caractéristiques et nutritionnelles d'intérêt des mélanges d'huiles sélectionnées	35
Tableau 7: Caractéristiques organoleptiques à analyser du produit	36
Tableau 8: Etude viscosimétrique des mayonnaises	37
Tableau 9 : Impact de certains mélanges de l'huile sur le pH de la mayonnaise préparée à base de l'huile	38
Tableau 10 : Classements obtenues pour chaque prototype	42
Tableau 11: Evaluation des conditions expérimentales du test	45
Tableau 12 : Informations économiques sur la mayonnaise en substituant la matières grasses utilisée	46

Introduction

« Une population mondiale de 9,6 milliards d'individus », telle est l'estimation prévisionnelle alarmante de l'Organisation internationale des Nations Unies (ONU) pour 2050 [1]. Pour subvenir, conséquemment, à la demande alimentaire mondiale, comment alors assurer à toute l'humanité une alimentation suffisante, saine et durable ?

Une des solutions potentielles pour esquisser l'avenir de notre alimentation c'est l'exploitation des ressources marines telles que les microalgues. Ces super-aliments, dont font partie la spiruline et la chlorelle, ont en effet une richesse nutritionnelle si exceptionnelle que certains spécialistes, comme Philippe STEFANINI (Docteur en Anthropologie Biologique et Explorateur Scientifique (CNRS/CREAT)), voient en eux une planche de salut face aux problématiques actuelles et futures de dénutrition et de déséquilibre alimentaire. En outre, non seulement leur culture occupe une surface 300 fois moins importante que celle permettant l'obtention de protéines animales, mais elle consomme également 50 fois moins d'énergie et d'eau [3].

C'est le pari de la valorisation des ressources phyto-marines par le biais d'une voie non nutraceutique et de la démocratisation de leur consommation grand public qu'a choisi d'effectuer la start-up biotechnologique Algama, pionnière dans ce domaine. Souhaitant allier éthique, innovation, plaisir gustatif, nutrition et fonctionnalité, elle aspire ainsi à l'heure actuelle à s'imposer en tant que leader en B to C sur le marché des denrées alimentaires fonctionnelles développées à partir de microalgues.

La sauce « *Yogi* » est l'une d'entre elles.

Le marché des sauces est régi par deux tendances transversales : le plaisir et la naturalité [5]. En intégrant ces deux notions dans sa stratégie d'innovation, la pénétration de ce marché semble donc plus que prometteuse pour Algama. La sauce froide « *Yogi* » représente ainsi le fruit d'un partenariat initié en février 2015 entre un grand groupe industriel de B to B (Roquette Frères), et Algama.

Dans le cadre de ma mission au sein de cette start-up, une présentation de ses acteurs, ses objectifs et ses projets stratégiques sont dans un premier temps effectuée. Par la suite, le projet « *Yogi* » est abordé à travers différents angles. Sa définition et son positionnement marketing sont premièrement exposés, puis suivis par une veille relative à son environnement réglementaire, commercial et sensoriel. La formulation et le développement de la sauce à l'échelle laboratoire est ensuite présenté et associé à leurs problématiques respectives. Puis, pour déterminer les allégations nutritionnelles et de santé relative au produit en termes de matières grasses en se basant sur les normes de la réglementation européenne, une optimisation de la phase lipidique ainsi que du profil nutritionnel du produit sont effectuées en réalisant des panels sensoriels.

A. Contexte de stage

I. Contexte alimentaire

Ces 10 dernières années, le "BIO" c'est beaucoup développé et n'est plus l'apanage des écologistes. Quoi que l'on puisse en dire, la population occidentale tend à faire plus attention à son alimentation. Une vraie prise de conscience est en train de s'opérer quant à la nécessité de modifier nos habitudes de consommation et de production. Cela dit, le chemin est encore long et difficile avant d'espérer développer une agriculture et une consommation durable, plus en accord avec les réels besoins du corps. La Chlorelle, une micro-algue déjà consommée au 16ème siècle par les Aztèques, fait partie de ces solutions pour l'avenir. A plus d'un titre, elle offre une alternative à la consommation de produits carnés. Utilisée afin de lutter contre la malnutrition des enfants dans plusieurs pays en développement, la forte proportion en protéines (60-70%) de la Chlorelle est un réel atout. La culture de cette micro-algue se veut responsable par nature.

Il est à parier que dans un futur proche, la chlorelle, tout comme d'autres solutions, permettra de développer une agriculture et une consommation plus respectueuse de notre environnement et de nous même.

II. Algama, pionnière de la valorisation et de la démocratisation des micro-algues dans les produits alimentaires

1. Les acteurs stratégiques d'Algama

a. *L'équipe projet*

Fondée en 2013 par trois amis d'enfance, la société Algama est une start-up de biotechnologies spécialisée en agroalimentaire. Elle est en outre pionnière dans sa volonté de valoriser et de démocratiser la consommation grand public de microalgues en les incorporant dans des matrices alimentaires classiques.

A sa tête, Alwyn SEVERIEN, Gaëtan GOHIN et Mathieu GONÇALVES ont recruté, entre 2013 et 2015, un Chargé de Développement (Hugo LERCHER), une Responsable Scientifique (Samira ACHIR) ainsi qu'un Responsable R&D (Thomas FELICE) et un Chef de Projet R&D (Maxime PECQUET) pour mener à bien les projets de l'entreprise et bénéficier d'une expertise technique scientifique pluridisciplinaire. Une graphiste designer (Pauline LERDON) a également rejoint l'équipe en 2014, afin de créer un univers propre à Algama, vecteur d'une bonne communication envers ses clients et investisseurs.



Alwyn Severien
Président Directeur Général



Gaëtan Gohin
Directeur Financier



Mathieu Gonçalves
Directeur de la technologie



Figure 1 : Les acteurs stratégiques d'ALGAMA – L'équipe projet

b. *Le comité stratégique*

« L'art de la réussite consiste à savoir s'entourer des meilleurs », déclarait J.F. KENNEDY. Pour mettre toutes les chances de leur côté, les trois co-fondateurs d'Algama se sont très rapidement dotés d'un comité scientifique et stratégique constitué de six « pointures » du domaine agroalimentaire et de la communication, à savoir :



Figure 2 : Les acteurs stratégiques d'ALGAMA - Le comité scientifique et stratégique (Agroalimentaire et communication)

Convaincus par le potentiel d'Algama et riches de leurs expériences, tous contribuent pleinement au bon développement des innovations pilotées par la start-up grâce à leurs conseils avisés et leur forte implication dans la démarche mise en œuvre pour tenir les objectifs de l'entreprise. De surcroît, la stratégie globale d'Algama est mentorée par M. Jacques VINCENT (Ex-Vice PDG de Danone), dans le cadre du programme du fond d'amorçage « Petit Poucet », et par M. Mathias MONRIBOT, son Président.



Figure 3 : Les acteurs stratégiques d'ALGAMA - Le comité stratégique (entreprise)

2. Les objectifs stratégiques d'Algama

Avec une valeur de 0,6 à 1 milliard d'euros pour un volume inférieur à 10 000 tonnes par an, le marché mondial des microalgues peut encore être considéré comme de niche et relativement émergent [6]. Car si les premiers usages de microalgues par les hommes datent de l'époque Aztèque, où elles étaient destinées à la consommation en raison de leurs

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

propriétés nutritionnelles exceptionnelles, leur exploitation industrielle n'a pourtant débuté qu'à la fin du XXème siècle avec l'aquaculture marine, et pour de tous autres débouchés. La raison de leur délaissement pour la filière alimentaire est en effet assez simple : leur flaveur caractéristique (salée, amère et « vaseuse »), l'intensité de leur couleur (émeraude ou jaune d'or pour les deux principales microalgues autorisées en alimentation humaine, à savoir la spiruline et la chlorelle) et leur texture pâteuse les rendent difficilement attrayantes et consommables en tant que telles. Néanmoins leur fort potentiel dans de nombreux autres domaines, identifié dès les années 1970, a rapidement mené à leur déploiement dans des marchés à courts et longs termes aussi variés que la pharmacie, la nutraceutique, la cosmétique, les biocarburants, la dépollution et la chimie fine [7]. De multiples acteurs ont ainsi vu le jour sur tous les maillons de la chaîne de valeur de ces microorganismes, tant au niveau de leur culture que de leur récolte, l'extraction de leurs composés d'intérêt et leur transformation.

Partant du fait que les technologies actuelles entrouvrent la possibilité d'une production éco-responsable et durable de biomasse phyto-marine à grande échelle, haut rendement et faible coût et qu'il est actuellement possible de contrôler leur synthèse de substances actives et leurs caractéristiques organoleptiques, Algama a souhaité sortir des sentiers battus du classique marché des compléments alimentaires. Ses objectifs principaux : valoriser et démocratiser la consommation grand public de microalgues et devenir le leader mondial du développement de denrées alimentaires fonctionnelles formulées à partir de ces microorganismes en B to C

a. *Valoriser et démocratiser la consommation grand public de microalgues*

« Aujourd'hui, 2% des Français mangent régulièrement de la spiruline. (...) Le marché est en expansion » indique E. GORODETZSKY, producteur et administrateur de la Fédération des spiruliniers de France [8]. Pourtant, dans l'optique d'envisager pour les années à venir une alimentation mondiale suffisante, saine et durable, ce chiffre est à l'heure actuelle bien trop faible.

Pour cette raison, Algama a pris le défi d'engager une véritable démarche communicationnelle, ancrée dans une stratégie de marketing élaborée, pour sensibiliser les consommateurs aux problématiques relatives à l'exploitation des ressources planétaires et valoriser le potentiel singulier qu'offrent les microalgues à ce sujet.

b. *Devenir le leader mondial du développement de denrées alimentaires fonctionnelles formulées à partir de micro algues en B to C*

Dans le domaine agroalimentaire, les microalgues sont actuellement intégrées de manière forte au marché des compléments alimentaires. Ainsi, leur consommation s'apparente le plus souvent à des cures de 1 à 3 mois, impliquant une prise journalière d'une dose comprise entre 4 et 10 g pour l'obtention d'un bénéfice sur la santé. Celui-ci est par ailleurs variable selon la souche considérée (contribution à la réduction de la fatigue, à la protection des cellules contre le stress oxydatif, *etc.*... en fonction de la richesse en nutriments de la microalgue). Or, en raison des caractéristiques organoleptiques peu agréables de ces microorganismes, les bienfaits sur la santé qu'ils induisent s'obtiennent au détriment du plaisir lié à leur consommation. « Et si

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

l'ingestion de microalgues dans des quantités suffisantes pour bénéficier de leurs excellentes propriétés nutritionnelles pouvait être rendue agréable ? ». C'est sur cette question que s'est fondée l'essence-même de l'activité d'Algama.

Désireuse de proposer aux consommateurs des produits savoureux, sains, innovants mais les plus naturels possibles, cette start-up a engagé le pari d'incorporer des microalgues dans des matrices alimentaires classiques et de les commercialiser en B to C à des cibles de marché spécifiques mais variées, en lien avec son premier objectif. Pionnière dans la volonté de développer des aliments fonctionnels à partir de cette matière première, elle cherche ainsi à affirmer son leadership en s'insérant dans le secteur très concurrentiel des aliments santé, dont le marché devrait atteindre les 5,2 milliards d'euros en 2016 (progression de 3% par an entre 2014 et 2016) [9].



Figure 4 : Du complément alimentaire à l'aliment fonctionnel

3. Un projet ambitieux reconnu dans le domaine agroalimentaire et source d'innovations

a. *Un projet incubé dans la capitale française et reconnu dans le domaine agroalimentaire*

Riche de son potentiel innovant, le projet d'Algama a remporté en 2013 le concours national de création d'entreprise du Petit Poucet. Ainsi, depuis cette date, le siège social de la start-up est hébergé à Paris par la maison des Petits Poucets, mi-incubateur, mi-fonds d'investissement. Le laboratoire R&D, quant à lui, se situe à Agoranov, l'incubateur de technologies innovantes de la ville de Paris.

Par ailleurs, Algama est membre de deux pôles de compétitivité ayant pour objectif de développer des projets collaboratifs innovants pour l'industrie agroalimentaire : Vitagora (« Goût-Nutrition-Santé ») et Valorial (« L'aliment de demain »). Ainsi, forte de son ancrage dans cet écosystème dynamique et de son positionnement dans le secteur des écotechnologies, Algama fait à l'heure actuelle partie des 60 bâtisseurs de demain du salon « Osons la France, tous visionnaires ».

b. *Springwave, un premier produit Algama primé et prometteur*



Figure 5 : Visuel de la bouteille de Springwave

Premier produit de la start-up, la boisson Springwave a déjà un palmarès notable dans le marché des « *aquadrinks* ». Avec deux prix internationaux en 2014 (« Grand Prix Boissons non alcoolisées » du Salon International de l'Alimentation (SIAL) et « Best functional drink » du World Beverage Innovation Awards), cette boisson rafraîchissante formulée à base de spiruline semble avoir un avenir prometteur. Pour preuve, le groupe hôtelier Accor a déjà fait confiance à Springwave puisqu'elle sera distribuée dans certains de ses hôtels et spa d'ici le second semestre de l'année 2015.

Son atout : être le parfait témoin du savoir-faire de l'entreprise et de son positionnement unique sur la chaîne de valeur des ressources phyto-marines. En effet, Springwave a été développée à l'aide de la mise en œuvre d'un procédé d'extraction

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

complexe de la spiruline modifiant ses caractéristiques organoleptiques indésirables, issu d'un partenariat mixte entre le CNRS et le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHM). Pour autant, jusqu'en bout de chaîne, cette boisson est également le fruit d'un long travail de marketing entrepris par les 3 co-fondateurs pour transmettre son message et ses valeurs au grand public.

Le résultat : une boisson aux notes d'agrumes, à la couleur bleue soutenue et aux propriétés nutritionnelles vectrices de deux allégations de santé (« Antioxydante » et « Vitalisante ») grâce à la teneur importante en extrait de spiruline du produit (30 mg pour 100 mL, équivalent à 0,3 g d'algue entière) et son apport conséquent en vitamines B2, B12 et magnésium¹ (15% des Valeurs Nutritionnelles de Référence (VNR)).

Avec la boisson innovante Springwave comme figure de proue, Algama compte donc bien développer de nouveaux produits alimentaires fonctionnels formulés à partir de microalgues, pour affirmer son hégémonie dans ce marché à l'expansion prometteuse.

B. Présentation du projet « sauce mayonnaise »

I. Initiation et définition du projet et de ses attentes

1. Une opportunité unique de partenariat et de projet

L'innovation est plus que jamais le moteur du secteur agro-alimentaire. Pour autant, à l'heure actuelle, elle tend à s'inscrire dans une politique de développement durable. A l'occasion du SIAL 2014, Algama a fait la rencontre d'un de ses exposants, un acteur mondial de la transformation des matières premières végétales et de leur commercialisation en B to B : le groupe Roquette Frères. Depuis quelques années, celui-ci a également engagé le pari de valoriser les microalgues dans le domaine alimentaire. Fortes de cet objectif commun et de la complémentarité de leur positionnement respectif sur la chaîne de valeur de ces microorganismes, les deux entreprises ont donc conjointement lancé en février 2015 un projet à court-terme de développement d'une sauce de type « mayonnaise », avec une mise sur le marché prévue en septembre 2015. Cette sauce serait formulée à partir des ressources microalgales produites par Roquette, pour lesquelles Algama se positionnerait en tant qu'ambassadeur à l'échelle internationale. La vocation de ce produit : être ultérieurement déclinable en une gamme aux saveurs variées pour asseoir le leadership des deux parties du projet sur le marché des aliments fonctionnels développés à partir de microalgues, à leurs niveaux respectifs.

Les raisons du choix de cette denrée alimentaire sont multiples : d'une part, de manière générale, le marché des sauces froides ne cesse de progresser depuis quelques années [4]. D'autre part, l'opportunité de développer et de commercialiser des sauces froides semble

¹« La vitamine B2 contribue à protéger les cellules contre le stress oxydatif. La vitamine B12 et le magnésium aident à réduire l'état de fatigue. » (Règlement (UE) n°432/2012 de la Commission du 16 mai 2012 établissant une liste des allégations de santé autorisées portant sur les denrées alimentaires, autres que celles faisant référence à la réduction du risque de maladie ainsi qu'au développement et à la santé infantiles)

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

optimale, en France comme en Europe et au-delà de ses frontières, dans les pays occidentaux. En effet, les Etats-Unis sont actuellement le premier importateur mondial de sauces (17,57% des importations), pour une valeur totale des importations de 1,9 milliards d'euros en 2011, devant des pays européens tels que l'Allemagne, la Russie et le Royaume-Uni, avec respectivement 10,55%, 10,13% et 7,04% des importations. Le choix d'une sauce de type « mayonnaise », quant à lui, est simple : représentant 36% des parts de marché en France, la mayonnaise se place en tête du marché des sauces froides, avec une évolution en valeur de 6% entre 2013 et 2014 [4]. D'ailleurs, à l'échelle mondiale, son marché est estimé à la somme non négligeable de 11,3 milliards d'euros [10].

2. Ma mission

Sous la direction du Responsable R&D d'Algama, en tant que stagiaire ingénieur en service R&D, l'objectif de mon stage était de participer au développement d'une sauce froide de type mayonnaise en coordonnant le partenariat avec le groupe Roquette Frères. Pour ce faire, j'ai participé dans un premier temps dans la formulation et la recherche des alternatives pour le produit développé, et dans un deuxième temps j'ai pris en charge les phases suivantes :

- Etudes bibliographique sur les huiles alimentaires.
- Synthèse réglementaire sur les allégations nutritionnelles et de santé.
- Formulation théorique et optimisation du profil lipidique de la mayonnaise.
- Formulation pratique de la mayonnaise en substituant la phase lipidique.
- Réalisation de panels sensoriels.
- Contacts, achats et échantillonnage auprès de fournisseurs de matières premières.

3. Le positionnement marketing et le cahier des charges fonctionnel du produit

En intégrant les deux tendances du marché des sauces froides (plaisir sensoriel et naturalité/clean label), Algama cherche à concevoir et développer en 2015 une sauce de type « mayonnaise » haut-de-gamme, lui permettant de pénétrer ce marché avec deux plus-values notables [5]. La première est l'incorporation de microalgues dans ses recettes pour les valoriser, démocratiser leur consommation grand public et profiter de leurs vertus nutritionnelles exceptionnelles. La seconde est l'extension de la cible de marché habituelle de ces sauces.

En effet, bien des personnes ne peuvent à l'heure actuelle consommer de la mayonnaise. Les raisons principales de ce constat sont multiples : ce produit contient des allergènes majeurs (œufs, moutarde) et est parfois texturé par des ingrédients riches en gluten (amidon de blé). En outre, il est associé à un régime alimentaire souvent omnivore et relativement calorique en raison de ses conditions classiques d'utilisation en tant que substance nappante d'aliments de tous types (sandwiches, viandes, crudités, *etc...*).

Pour pallier à ces différentes problématiques, Algama a choisi de concevoir et de développer une sauce destinée non seulement à la cible de marché habituelle des sauces froides (hommes et femmes de la population active), mais aussi à des consommateurs présentant des spécificités de régime et des valeurs prônées par l'entreprise [15]. Consommer une sauce de type « mayonnaise » ne sera donc plus à l'heure actuelle un problème pour les

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

allergiques aux œufs et à la moutarde, les intolérants au gluten, les végétaliens ainsi que les individus soucieux de prendre soin de leur santé et de leur ligne.

Dans le but de répondre à cette demande, les objectifs, contraintes et opportunités de formulation suivants (voir Figure 3) ont donc été identifiés et corrélés au Règlement CE n°1924/2006 du Parlement Européen et du Conseil du 20 décembre 2006 concernant les allégations nutritionnelles et de santé portant sur les denrées alimentaires, et au Règlement CE n°967/2008 du Conseil du 29 septembre 2008 modifiant le Règlement (CE) n° 834/2007 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques [11], [12] :

De ces objectifs de marketing en matière de cible de consommateurs finaux et de ces contraintes de formulation conséquemment énoncées naît l'ébauche d'un univers de marque pour le produit du projet mené conjointement par Algama et Roquette Frères. Il est donc nécessaire de s'intéresser au marché des sauces de type « mayonnaise » pour le positionner de manière plus relative et en déduire les perspectives sous-jacentes en termes d'orientation réglementaire, technique et sensorielle.

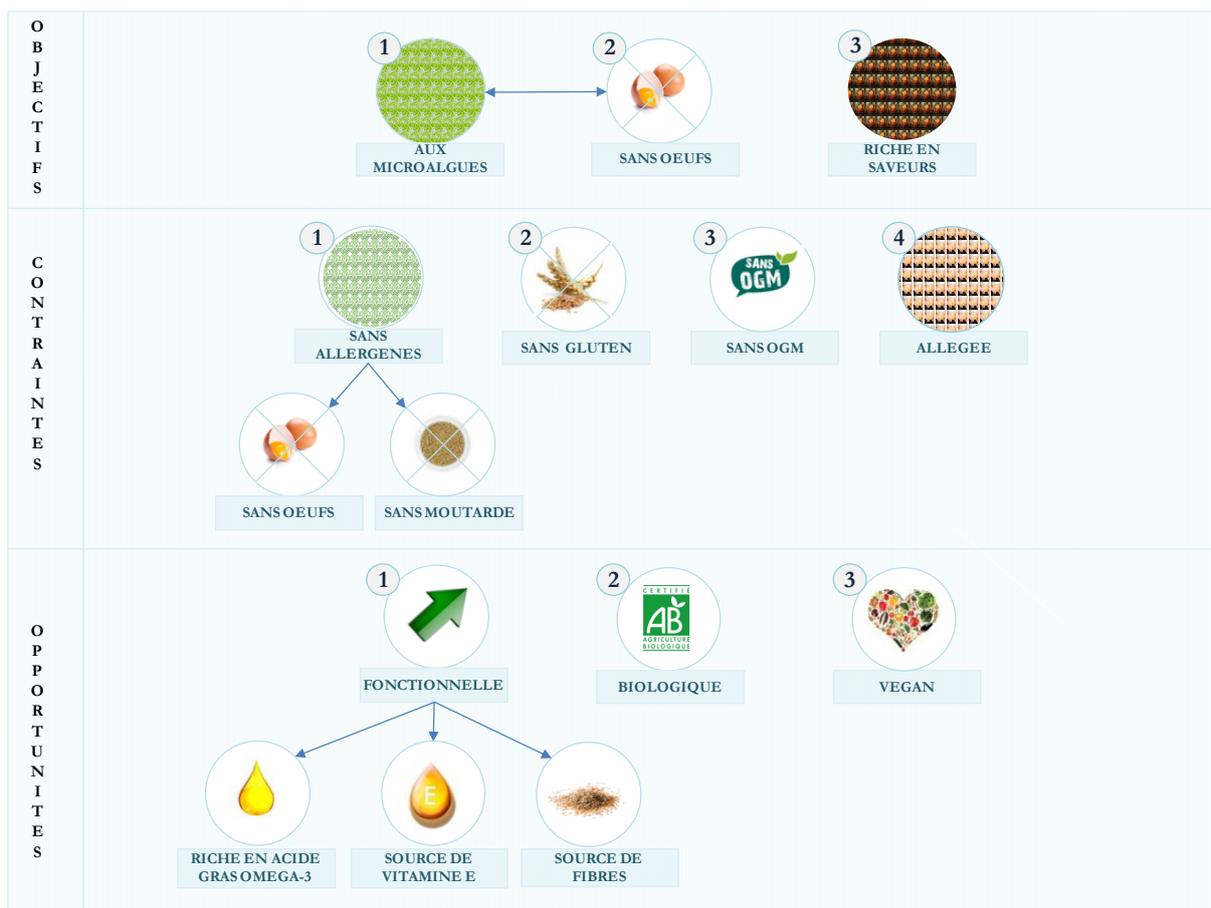


Figure 6: Les objectifs et contraintes de formulation issus du brief marketings.

II. L'environnement réglementaire, commercial et sensoriel dans lequel s'ancre le projet

1. Veille réglementaire : la mayonnaise

D'après la norme CODEX STAN 168-1989, la mayonnaise est définie comme étant « une sauce condimentaire obtenue en émulsionnant une ou plusieurs huiles végétales comestibles dans une phase aqueuse constituée par du vinaigre ; l'émulsion huile-dans-eau étant produite en utilisant du jaune d'œuf de poule » [13].

De surcroît, les spécifications européennes du code européen des bonnes pratiques relatif à la mayonnaise indiquent quant à elles que la dénomination « mayonnaise » ne peut être attribuée que pour un minimum de 70% m/m d'huile mise en œuvre dans le process, et de 5% m/m de jaune d'œuf techniquement pur [14], [15].

Par conséquent, étant donné l'objectif principal d'Algama de prohiber la présence d'œufs dans la formulation de la sauce développée, cette dernière ne pourra porter la dénomination « mayonnaise », bien que ses caractéristiques organoleptiques aient pour vocation d'y ressembler. Pour cette raison, quelle dénomination lui donne-t-on ?

2. Veille concurrentielle : les références sur le marché des sauces froides et de la mayonnaise

a. Analyse générale du marché

L'industrie des condiments et assaisonnement est très concentrée : les dix premières sociétés ont ainsi réalisé plus de trois quarts du chiffre d'affaires de ce marché en 2012 [16]. Cette situation s'explique notamment par la présence de multinationales du secteur agroalimentaire disposant, en Europe comme outre-Atlantique, de marques fortes occupant des positions majeures au sein de la grande distribution depuis plus de 50 ans. En outre, de manière internationale, c'est le groupe Unilever, détenteur des deux leaders respectifs Amora-Maille (Europe) et Hellmann's (USA), qui règne majoritairement sur le marché des sauces froides.

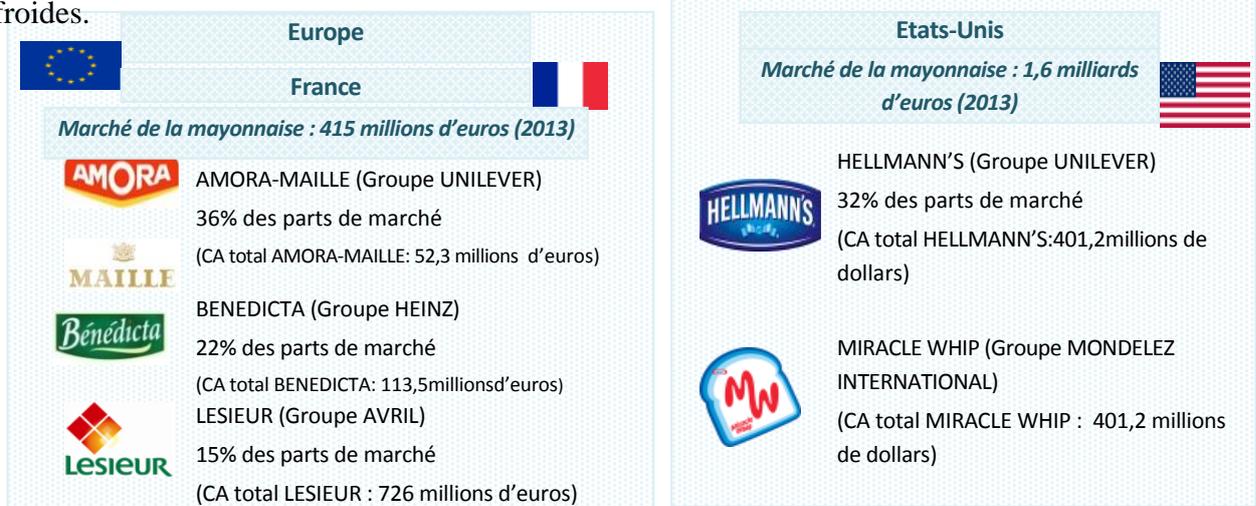


Figure 7 : Les principaux acteurs du marché de la mayonnaise en 2013 [16]

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Or en 2012, d'après le comité American Egg Board, plus de 40 milliards d'œufs ont été produits aux Etats-Unis, la majorité d'entre eux provenant de poules élevées en batterie (88%). Etant donné la proportion moyenne non négligeable d'œufs dans une mayonnaise classique (5 à 8%) et l'ampleur de son marché outre-Atlantique, ce constat pose des problèmes éthiques. Pour y remédier, depuis une trentaine d'années, quelques entreprises se sont donné pour objectif de commercialiser des sauces de type « mayonnaise » sans œufs et compatibles avec une alimentation végétalienne. Sont ainsi nées, aux Etats-Unis, la « Vegenaïse » (FollowYourHeart), la « Nayonnaïse » (Nasoya), l'« Eggless Canola Mayonnaïse » (Spectrum Naturals), l'« Organic Egg Free Mayo » (Plamil) et la toute récente « Just Mayo » d'Hampton Creek, lancée sur le marché US en 2013. Certaines d'entre elles sont également biologiques, sans gluten, sans cholestérol, riches en acides gras polyinsaturés, sources de vitamine B12 ou encore sans conservateurs. Pour autant, il n'existe à l'heure actuelle aucune sauce de type « mayonnaïse » répondant de manière simultanée aux différents objectifs et contraintes de formulation énoncés par Algama, et qui intègre, de plus, des microalgues dans sa recette en alternative aux protéines animales ou végétales de type « soja ». Aucun concurrent direct n'a donc été identifié, faisant du produit d'Algama une offre unique sur le marché international des sauces et des condiments.

b. Détermination consécutive des cibles organoleptiques de la sauce « Yogi »

Suite à l'analyse sensorielle et viscosimétrique des sauces du commerce, l'appréciation de certains descripteurs sensoriels et physicochimiques a permis de fixer pour la sauce « K-SOSS » des objectifs organoleptiques quantitatifs et qualitatifs cruciaux à atteindre, déterminants pour la validation du prototype de la sauce à l'échelle laboratoire puis pilote et industrielle.

2. Aspect	3. Texture	1. Flaveur
<ul style="list-style-type: none">- Couleur intermédiaire entre les mayonnaises françaises et américaines <i>Cible organoleptique : 3/6</i> Soit : - Aspect brillant intermédiaire entre les mayonnaises françaises et américaines <i>Cible organoleptique : 3/5 ± 0,5/5</i>- Aucun déphasage de la sauce 1 mois après ouverture (spécification interne classique établie par les fabricants de mayonnaïse)	<ul style="list-style-type: none">- Fluidité moyenne au visuel <i>Cible organoleptique : 2,4/5 ± 0,3/5</i>- Viscosité dynamique moyenne <i>Cible physicochimique : 2,2 ± 0,2 Pa.s à 100 s⁻¹ et 19,7°C ± 2°C</i>- Seuil d'écoulement moyen <i>Cible physicochimique : 54,5 ± 5 Pa pour une contrainte de cisaillement comprise entre 0 et 10 s⁻¹ à 19,7°C ± 2°C</i>- Texture à la cuillère moyennement adhérente <i>Cible organoleptique : 3,5/5 ± 0,5/5</i>- Texture onctueuse en bouche <i>Cible organoleptique : 3,5/5 ± 0,5/5</i>- Faible sensation de « collant » et « farineux » en bouche <i>Cibles organoleptiques : 1,5/5 ± 0,5/5</i>	<ul style="list-style-type: none">- Equilibre des odeurs et saveurs, acidité et salinité intermédiaires entre les mayonnaises françaises et américaines Cibles organoleptiques : 2/5 ± 0,5/5 pour l'intensité des odeurs 2,5/5 ± 0,5/5 pour l'intensité des saveurs- Sauce légèrement relevée en épices et aromates Cible organoleptique : 3,5/5 ± 0,5/5- Persistance en bouche faible à moyenne Cible organoleptique : 2/5 ± 0,5/5

Figure 8 : Les attentes organoleptiques incombées à la sauce d'Algama

Dans le but d'atteindre ces objectifs organoleptiques et de concevoir, sur-mesure, une sauce de type « mayonnaïse » répondant également aux spécifications de formulation et d'allégation souhaitées par Algama, il convient de lever un certain nombre de verrous technologiques

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

posés par ces différentes attentes et contraintes associées au produit. A cet effet, une veille concurrentielle de déformulation a été couplée à une veille technologique, pour mettre en évidence les potentielles solutions existantes et les tester de manière consécutive.

III. La formulation de la sauce « Yogi »

1. Veille technologique : les ingrédients classiques d'une mayonnaise industrielle et leurs propriétés fonctionnelles

En effectuant la déformulation de certaines mayonnaises industrielles du commerce², il a pu être noté que la composition classique d'une telle sauce était la suivante :

 <p>Huile végétale (environ 60%)</p> <ul style="list-style-type: none">- Phase organique de la mayonnaise- Rôle organoleptique : coloration jaune de la mayonnaise et saveur dépendantes de l'origine biologique de l'huile (colza, tournesol, soja, etc...) et de son raffinement	 <p>Jus de citron concentré (environ 2%)</p> <ul style="list-style-type: none">- Phase aqueuse de la mayonnaise, fluidifiant- Acidifiant- Rôle organoleptique : saveur acide
 <p>Eau (environ 20%)</p> <ul style="list-style-type: none">- Phase aqueuse de la mayonnaise	 <p>Sel (moins de 1%)</p> <ul style="list-style-type: none">- Exhausteur de goût- Conservateur
 <p>Jaunes d'œufs (environ 5%)</p> <ul style="list-style-type: none">- Emulsifiants- Rôle organoleptique : coloration jaune de la mayonnaise et apport d'une saveur caractéristique	 <p>Sucre (moins de 1%)</p> <ul style="list-style-type: none">- Exhausteur de goût- Conservateur
 <p>Moutarde (environ 5%) (Eau, graines de moutarde, vinaigre d'alcool, sel)</p> <ul style="list-style-type: none">- Phase aqueuse de la mayonnaise, fluidifiant- Emulsifiant et acidifiant- Rôle organoleptique : saveur piquante, acide et salée	 <p>Epaississants et stabilisants (moins de 1%) (Amidon transformé, gommes xanthane, guar, arabe)</p> <ul style="list-style-type: none">- Texturants
 <p>Vinaigre d'alcool (environ 5%)</p> <ul style="list-style-type: none">- Phase aqueuse de la mayonnaise, fluidifiant- Acidifiant- Rôle organoleptique : saveur acide	 <p>Conservateurs (EDTA) (moins de 0,1%)</p>
	 <p>Colorants (bêta-carotène, lutéine)(moins de 0,1%)</p>
	 <p>Arômes (moins de 0,1%)</p>
	 <p>Epices (paprika, oignon) (moins de 0,1%)</p> <ul style="list-style-type: none">- Exhausteurs de goût, colorants

Figure 9 : Formule classique d'une mayonnaise

Comme indiqué précédemment, étant donné les objectifs et contraintes de formulation de la sauce d'Algama, un certain nombre de verrous technologiques étaient à lever au cours de ce projet pour obtenir une sauce savoureuse formulée à partir de microalgues, émulsifiée sans jaunes d'œufs, ni allergènes, ni additifs tensioactifs ; allégée en matières grasses, texturée

² Mayonnaise (Bénédicta), Mayonnaise de Dijon (Amora), Mayonnaise fine (Maille), Mayonnaise classique (Lesieur), Real Mayonnaise (Hellmann's) et Original (Miracle Whip)

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

avec un minimum d'additifs gélifiants, épaississants et stabilisants, exempte amidon de blé et qui soit à la fois riche en fibres, en acide gras oméga-3 et en vitamine E. Le dépassement de ces verrous technologiques représente en effet pour Algama l'assurance d'une plus-value par rapport aux sauces concurrentes présentes dans le commerce. En raison du caractère innovant du produit, celui-ci a donc fait l'objet de 3 concours (Agropôle, NutriAwards et Intermarché) et de quelques festivals, salons et expositions (Taste of Paris, Hello Tomorrow Challenge, Exposition Universelle de Milan) en 2015 dans le but de promouvoir son unicité sur le marché en valorisant ses challenges technologiques et éthiques.

2. Une sauce formulée à partir de microalgues et émulsifiée sans jaunes d'œufs, ni allergènes, ni additifs tensioactifs

a. *Le rôle du jaune d'œuf dans la mayonnaise*

La mayonnaise est un système dispersé pouvant être qualifié d'émulsion, puisqu'elle correspond, par définition, à « la dispersion d'un liquide (phase dispersée ou discontinue) en fines gouttelettes dans un autre liquide (phase dispersante ou continue), les deux phases étant non miscibles » [20]. En effet, à l'échelle industrielle, elle contient une phase organique majoritairement constituée d'huile végétale, ainsi qu'une phase hydrophile composée d'eau et de divers composés hydrosolubles tels que du vinaigre de cidre, du jus de citron, du sel et du sucre (Figure 11). Or, de manière conventionnelle, les émulsions sont des systèmes thermodynamiquement instables : elles sont formées grâce à un apport d'énergie, correspondant à l'énergie nécessaire pour créer une aire interfaciale plus importante [21]. D'un point de vue cinétique, il en résulte une rapide séparation des deux phases après mélange en raison de leur non-miscibilité, induisant un système hétérogène hors équilibre au bout de quelques minutes à quelques heures seulement en l'absence de toute molécule tensioactive.

Pour résoudre ce problème les affectant de manière physicochimique et organoleptique, les émulsions industrielles telles que la mayonnaise comportent des émulsifiants. En effet, bien qu'une incorporation lente de phase dispersée dans la phase continue sous une agitation forte puisse permettre d'obtenir de fines gouttelettes de phase discontinue par cisaillement, favorable à la stabilité cinétique de l'émulsion, ce procédé n'est souvent pas suffisant pour éviter le déphasage de la mayonnaise au bout de quelques jours de conservation [22]. Les émulsifiants, quant à eux, forment un film interfacial autour des globules de phase dispersée et apportent une énergie d'activation suffisamment importante pour empêcher la déstabilisation rapide de l'émulsion (Figure 12). Ces molécules ont en effet un caractère amphiphile, et possèdent de ce fait un pôle hydrophile et un pôle hydrophobe présentant une affinité pour la phase hydrophile et hydrophobe de l'émulsion, respectivement. Par conséquent, c'est cette polarisation fonctionnelle qui détermine l'organisation des tensioactifs dans l'émulsion et qui permet sa stabilisation dans le temps, au cours du cycle de vie du produit. Cette stabilité s'établit en outre en fonction de l'intensité du pouvoir émulsifiant des tensioactifs, variant par nature [20].

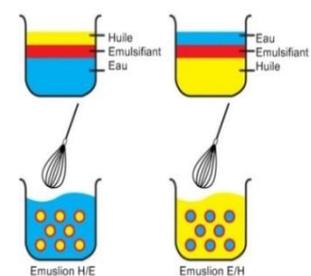


Figure 10 : Stabilisation d'une émulsion huile dans l'eau (H/E – mayonnaise allégée) ou eau dans l'huile (E/H – mayonnaise classique)

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Dans la mayonnaise, c'est le jaune d'œuf qui joue ce rôle, grâce au caractère émulsifiant d'un de ses phospholipides : la lécithine, également appelée phosphatidylcholine [21].

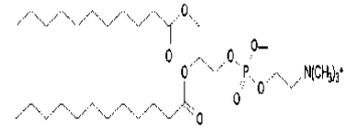


Figure 11 : Molécule de lécithine

Cette molécule, composée d'un pôle hydrophile (choline, groupe phosphate) et d'un pôle hydrophobe (acides gras), présente un équilibre hydrophile/lipophile variant entre 2 et 8 selon la nature des acides gras qu'elle comporte [23]. Son pouvoir émulsifiant remarquable permet de ce fait aux industriels de ne pas rajouter d'agents tensioactifs de manière additionnelle aux sauces développées, d'autant plus que la moutarde contenue dans les mayonnaises françaises joue, elle-même, un léger rôle émulsifiant grâce aux phospholipides provenant des graines de cette plante.

Or un des objectifs principaux pour la sauce d'Algama est de prohiber l'utilisation d'œufs, pour permettre aux personnes végétaliennes et allergiques à cet ingrédient de pouvoir consommer le produit fini. Comment alors permettre l'émulsification de la sauce au cours de son cycle de vie sans utiliser les propriétés tensioactives de la lécithine de jaune d'œuf ?

b. *Les alternatives classiques aux tensioactifs issus du jaune d'œuf*

Pour garantir l'homogénéité de la dispersion des deux phases du système, quelques alternatives à l'utilisation de lécithine de jaune d'œuf existent sur le marché.

Parmi les 5 sauces du commerce identifiées comme exemptes d'œufs³, 4 présentent dans leur formulation des huiles et graines de soja, et 1 (« Just Mayo » d'Hampton Creek), des isolats de protéines de pois. Ces différents ingrédients possèdent en effet des propriétés émulsifiantes, induites par la présence de lécithine dans l'huile de soja (dont les graines sont riches), et par les propriétés fonctionnelles issues des tensioactifs présents dans les isolats de protéines de pois [24], [25]. Cependant ces sources naturelles d'émulsifiants présentent des inconvénients, rendant leur utilisation non souhaitable pour Algama. Le premier d'entre eux est le caractère allergène du soja et les polémiques écologiques relatives à sa culture ; le second concerne l'émergence de nouveaux cas d'allergénicité aux protéines de pois en France [26].

Par ailleurs, plus d'une centaine d'émulsifiants classés parmi les additifs alimentaires sont communément employés pour texturer des denrées alimentaires aussi variées que la margarine, les confiseries, le pain, les crèmes glacées, mais également les sauces, selon le Règlement CE n°1333/2008 Parlement Européen et du Conseil du 16 décembre 2006 sur les additifs alimentaires [27]. Pour respecter la politique de clean label souhaitée par Algama, leur utilisation n'est pas envisageable.

Par conséquent, compte-tenu des différentes contraintes et des objectifs de formulation de la sauce d'Algama, la problématique d'émulsification de cette sauce de type « mayonnaise » sans lécithine de jaune d'œuf, ni allergènes potentiels, ni additifs tensioactifs est un véritable verrou technologique à lever.

³Veganaise (Follow Your Heart), Nayoanaise (Nasoya), Eggless Canola Mayonnaise (Spectrum Naturals), Organic Egg Free Mayo (Plamil) et Just Mayo (Hampton Creek)

c. *Les microalgues, de véritables substituts des œufs ?*

Le potentiel offert par les microalgues est à l'heure actuelle considérable. Depuis les années 2000, le groupe Roquette Frères, convaincu du rôle futur des ressources phyto-marines dans les domaines de l'alimentation, de la nutrition et de la santé, a investi dans cette filière et dispose à l'heure actuelle d'une capacité de production de 4 000 à 5 000 tonnes par an. Spécialisée dans la production de chlorelle par le biais d'un processus de fermentation, cette société se trouve depuis 2006 à la tête d'un laboratoire de phycologie, jouant un rôle clé dans la sélection des microalgues destinées au domaine alimentaire. Car selon la nature de ces microorganismes et leurs conditions de culture, il est possible de contrôler leur expression de nutriments par le biais de leur métabolisme. Après une purification et un séchage doux (sans agitation, à basse température) permettant de préserver leurs qualités organoleptiques et nutritionnelles, les extraits de microalgues enrichis en micro et macronutriments spécifiques peuvent ainsi être mis en œuvre dans des denrées alimentaires, sous forme entière ou broyée.

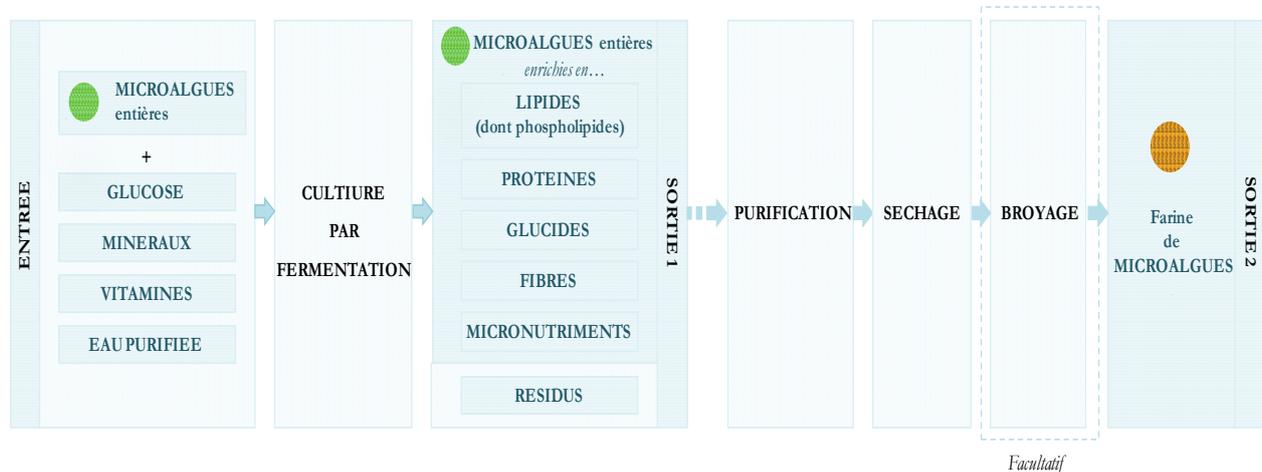


Figure 12 : Processus d'obtention d'une farine de microalgues enrichie en micro et macronutriments

« Microalgae »⁴ est une farine microalgale, développée par le groupe Roquette Frères à partir d'une souche de microalgues unicellulaires du genre *Chlorella*. Outre son profil nutritionnel exceptionnel, ce sont surtout sa couleur jaune d'or, la neutralité de sa flaveur et ses propriétés émulsifiantes qui en font une alternative tout à fait remarquable, dans les sauces, à la lécithine de jaune d'œuf (Figure 15). De plus, cet ingrédient a l'avantage de ne pas présenter de potentielle allergénicité, mais également d'être sans gluten, sans OGM, halal, kascher, 100% vegan et sans cholestérol (contrairement au jaune d'œuf). Grâce à cette multiplicité de bénéfices nutritionnels et fonctionnels, la farine « Microalgae » a été primée « Ingrédient le plus Innovant » aux Food Ingredients Europe Excellence Innovation Awards en 2013.

⁴ Nom de code donné à l'ingrédient microalgal de la société Roquette Frères mis en œuvre dans la sauce d'Algama.

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

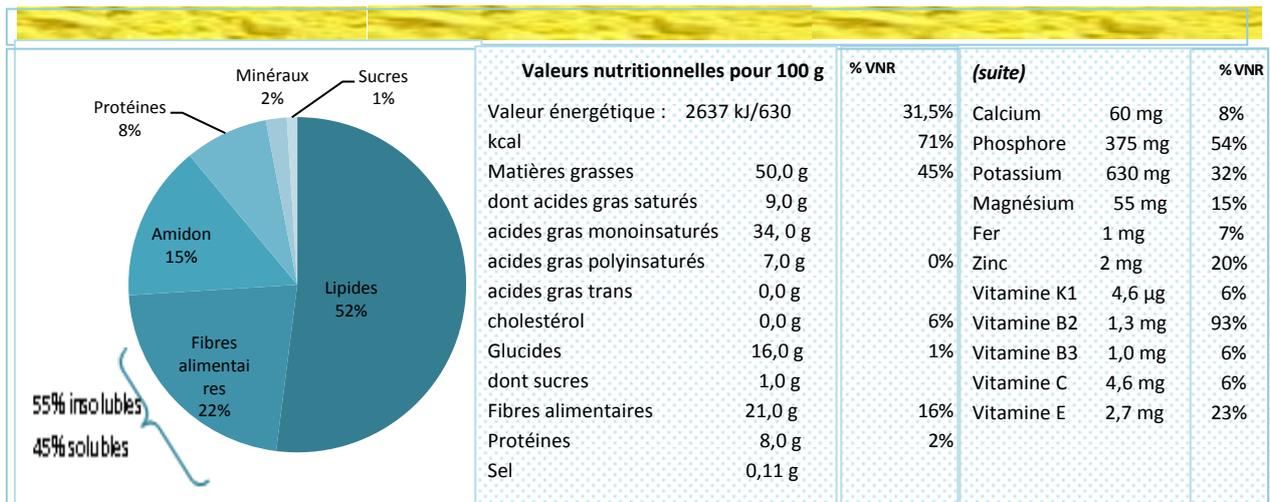


Figure 13 : Composition et valeurs nutritionnelles de l'ingrédient "Microalgae" de Roquette Frères. Le pourcentage des VNR est calculé sur la base d'un apport énergétique de 2000 kcal selon l'annexe XIII du Règlement (UE) n°1169/2011 du Parlement Européen et du Conseil du 25 octobre 2011 concernant l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires [28].

A l'origine du pouvoir émulsifiant de cet ingrédient se trouve une importante teneur en phospholipides (1 g pour 100 g de produit fini), bien qu'inférieure de moitié à celle contenue dans les jaunes d'œufs de poule (2 g pour 100 g d'œufs en moyenne) [29]. Mais alors que les industriels mettent en œuvre environ 5% de jaunes d'œufs dans leurs mayonnaises (soit 0,1 g de phospholipides pour 100 g de produit fini), le groupe Roquette Frères, quant à lui, préconise une teneur idéale en farine « Microalgae » de seulement 1,5% pour émulsionner une sauce exempte de jaune d'œuf de type « mayonnaise » à 25% d'huile (soit 0,015 g de phospholipides seulement pour 100 g de produit fini, 6 fois moins qu'en employant 5% de jaunes d'œufs).

Cet important écart peut être attribué à deux causes différentes : si la farine « Microalgae » et le jaune d'œuf apportent tous deux une couleur jaune soutenue à la sauce, le jaune d'œuf en revanche lui confère une saveur typique, non induite par la microalgue. D'autre part, la farine de microalgues contient 15% d'amidon et 22% de fibres alimentaires, contrairement au jaune d'œuf qui en est dépourvu. Or ces deux éléments présentent des propriétés fonctionnelles viscosantes et texturantes, capables de stabiliser, légèrement, l'émulsion : il s'agit donc d'un avantage pour conserver l'homogénéité du système dispersé au cours de son cycle de vie.

Afin de juger du pouvoir émulsifiant de la farine microalgale développée par Roquette Frères, 3 essais ont été réalisés en parallèle, en suivant la recette transmise par ce fournisseur (Figure 16).

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

	ESSAI 1 : Sans émulsifiant	ESSAI 2 : Avec du jaune d'œuf	ESSAI 3 : Avec des microalgues	
Eau	58,05 g	Eau 53,05 g	Eau 56,55 g	
Huile de colza	25,00 g	Huile de colza 25,00 g	Huile de colza 25,00 g	
Vinaigre de cidre (5° acétimétrique)	5,30 g	Vinaigre de cidre (5° acétimétrique) 5,30 g	Vinaigre de cidre (5° acétimétrique) 5,30 g	
Amidon de maïs pré-gélatinisé	5,00 g	Amidon de maïs pré-gélatinisé 5,00 g	Amidon de maïs pré-gélatinisé 5,00 g	
Jus de citron	2,60 g	Jaune d'œuf 5,00 g	Jus de citron 2,60 g	
Sirope d'agave	2,00 g	Jus de citron 2,60 g	Sirope d'agave 2,00 g	
Sel	1,75 g	Sirope d'agave 2,00 g	Sel 1,75 g	
Gommexanthane	0,30 g	Sel 1,75 g	Farine « Microalgae » 1,50 g	
TOTAL :	100,00 g	Gommexanthane 0,30 g	Gomme xanthane 0,30 g	
		TOTAL : 100,00 g	TOTAL : 100,00 g	
PROCESSINGREDIENTS	<ol style="list-style-type: none"> Mélanger dans un bécher de 250 mL l'eau, le vinaigre, le jus de citron, le sel et le sirop d'agave à l'aide d'un agitateur magnétique à 700 tr/min. Introduire le mélange dans le robot émulsionneur Magimix « Le Micro » (Annexe 7). Diluer, dans un bécher de 100 mL, l'amidon, le jaune d'œuf ou les microalgues selon la recette dans 7 g d'huile. Introduire le mélange dans le Magimix en émulsionnant pendant environ 30 secondes. Ajouter lentement et progressivement le reste de l'huile dans le Magimix en émulsionnant pendant environ 30 secondes. Ajouter la gomme xanthane dans le Magimix en émulsionnant pendant environ 1 minute. Stocker la sauce dans une étuve à 45°C±2°C environ. 			
	RESULTATS	<p>A t=0</p>  <p>A t= 12 heures</p>  <p>Déphasage de 3 mm environ</p>	<p>A t=0</p>  <p>A t= 12 heures</p>  <p>A t= 15 heures</p>  <p>A t=16 heures</p>  <p>Déphasage de 2 mm environ</p>	<p>A t=0</p>  <p>A t= 12 heures</p>  <p>A t= 15 heures</p>  <p>Déphasage de 2 mm environ</p>

Figure 14 : Comparaison du pouvoir émulsifiant de la farine de microalgues et du jaune d'œuf

A t=0, le système dispersé est stable pour les 3 sauces. En revanche, dès t= 12 heures, la sauce sans émulsifiants commence à se déphaser, contre t= 15 heures pour la sauce formulée à partir de la farine de microalgues et t =16 heures pour celle formulée avec du jaune d'œuf. En conclusion, le pouvoir émulsifiant de la farine de microalgues du groupe Roquette Frères est sensiblement

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

identique à celui de la lécithine de jaune d'œuf, en pratique. Cet ingrédient est donc crucial pour lever le verrou technologique relatif à l'émulsification de la sauce sans allergènes ni additifs tensioactifs, mais en valorisant le potentiel unique qu'offrent les microalgues en matière d'alimentation fonctionnelle. **Il a de ce fait été décidé de l'introduire dans la formule de la sauce à hauteur de 1,5%**, comme préconisé par le fournisseur.

3. Une sauce allégée texturée avec un minimum d'additifs gélifiants, épaississants, stabilisants et sans amidon transformé

a. *Recette de base de Roquette Frères*

Pour concevoir un premier prototype, Roquette Frères a tout d'abord développé une recette contenant 25% d'huile dans le produit fini, mais ne respectant pas les critères « sans moutarde », « biologique » et « avec un minimum d'additifs ». En effet, pour ce dernier item, non seulement la sauce développée mettait en œuvre un agent conservateur (le potassium sorbate), mais elle contenait également 5,3% d'additifs épaississants et stabilisants (amidon de maïs pré-gélatinisé et gomme xanthane).

Eau	49,00 g
Huile de colza	25,00 g
Vinaigre de cidre (5°)	5,30 g
Amidon de maïs pré-gélatinisé	5,00 g
Moutarde	5,00 g
Sucre	4,50 g
Jus de citron	2,50 g
Sel	1,75 g
Farine « Microalgae »	1, 50 g
Gommexanthane	0, 30 g
Potassium sorbate	0, 15 g

Figure 15 : Recette initiale de la sauce de type "mayonnaise" de Roquette Frères (pour 100 g)

b. *Premiers éléments de la recette de base d'Algama*

Le but d'Algama était de conserver le savoir-faire issu de cette recette de base, en l'optimisant selon les objectifs et contraintes relatifs au projet. Pour cette raison, dans un premier temps, il a été décidé d'exclure la présence de moutarde, d'amidon de maïs pré-gélatinisé, de gomme xanthane et de potassium sorbate de la recette souhaitée par l'entreprise.

Huile de colza	25,00 g
Vinaigre de cidre (5°)	5,30 g
Jus de citron	2,50 g
Sel	1,75 g
Sirop d'agave	2, 00 g
Farine « Microalgae »	1, 50 g

Figure 16 : Eléments de base de la sauce initiale de Roquette Frères conservés pour atteindre les objectifs d'Algama (pour 100 g)

Le sucre, quant à lui, a été remplacé par du sirop d'agave. En effet, cet édulcorant présente, par rapport au saccharose, de nombreux avantages. Tout d'abord, il bénéficie d'une image positive auprès des consommateurs en raison de son origine naturelle, étant donné qu'il est extrait de la sève de certains cactus mexicains, de la famille des Agavaceae. Après filtration, le sirop, chauffé pour hydrolyser les glucides en sucres simples, est constitué d'un mélange de fructose (de 95 à 99%) et de glucose. Son pouvoir sucrant est de ce fait 1,2 à 1,4 fois supérieur à celui du saccharose. Il peut donc être dosé en moindre quantité dans le produit fini sans pour autant perturber son profil organoleptique. De plus, le sirop d'agave est moins calorique que le sucre à hauteur d'environ 13 %, puisque 1 gramme de saccharose correspond à 4 kcal, contre 3,52 kcal pour 1 g de sirop d'agave. Son index glycémique, quant à lui, est faible (I_g sirop d'agave = 20,



Figure 17 : Sirop d'agave

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

I_g saccharose = 70) en raison de la forte teneur en fructose du sirop d'agave : il permet donc d'éviter l'élévation rapide indésirable de la glycémie post-prandiale [30]. Enfin, contrairement à la stévia par exemple, qui possède des propriétés plus intéressantes notamment grâce à son pouvoir sucrant environ 12 fois supérieur au sucre, le sirop d'agave ne coûte qu'environ 15€ le kilo, soit 5 fois moins que la stévia pour l'obtention d'un pouvoir sucrant identique sur la base d'un prix au kilo de 650€ pour cet édulcorant intense.

c. *Combinaison fécule, gomme xanthane et inuline*

▪ *La fécule d'arrow-root : l'alternative d'Algama*

Pour substituer l'amidon de maïs pré-gélatinisé de Roquette Frères par une alternative non considérée comme un additif mais présentant des caractéristiques fonctionnelles intéressantes en réponse aux contraintes liées au processus et au produit lui-même, une veille bibliographique et technologique a été menée sur d'autres sources botaniques d'amidon exemptes de gluten, à l'état natif cette fois-ci.

La fécule d'arrow-root c'est de l'amidon qui est une molécule d'intérêt, présentant des fonctionnalités épaississantes, gélifiantes et stabilisantes extraite des rhizomes d'une plante de la famille des Marantaceae, *Maranta arundinacea*. La mise en œuvre de cette substance nécessite une dissolution dans 4 fois son poids en eau froide, suivie par un chauffage de 2 à 3 minutes à 65°C, suffisant pour obtenir un couple viscosité-rendement correct et développer une onctuosité dans le milieu réactionnel. Cependant, la fécule toute seule ne permettait pas d'obtenir une texture plus onctueuse avec un épaississement suffisant pour imiter la texture d'une mayonnaise classique, pour des pourcentages de 5 à 10%, pour cette raison il est indispensable de mettre en œuvre de la gomme de xanthane et de l'inuline.

▪ *La gomme xanthane : un additif épaississant agissant en synergie avec la fécule pour texture la sauce*

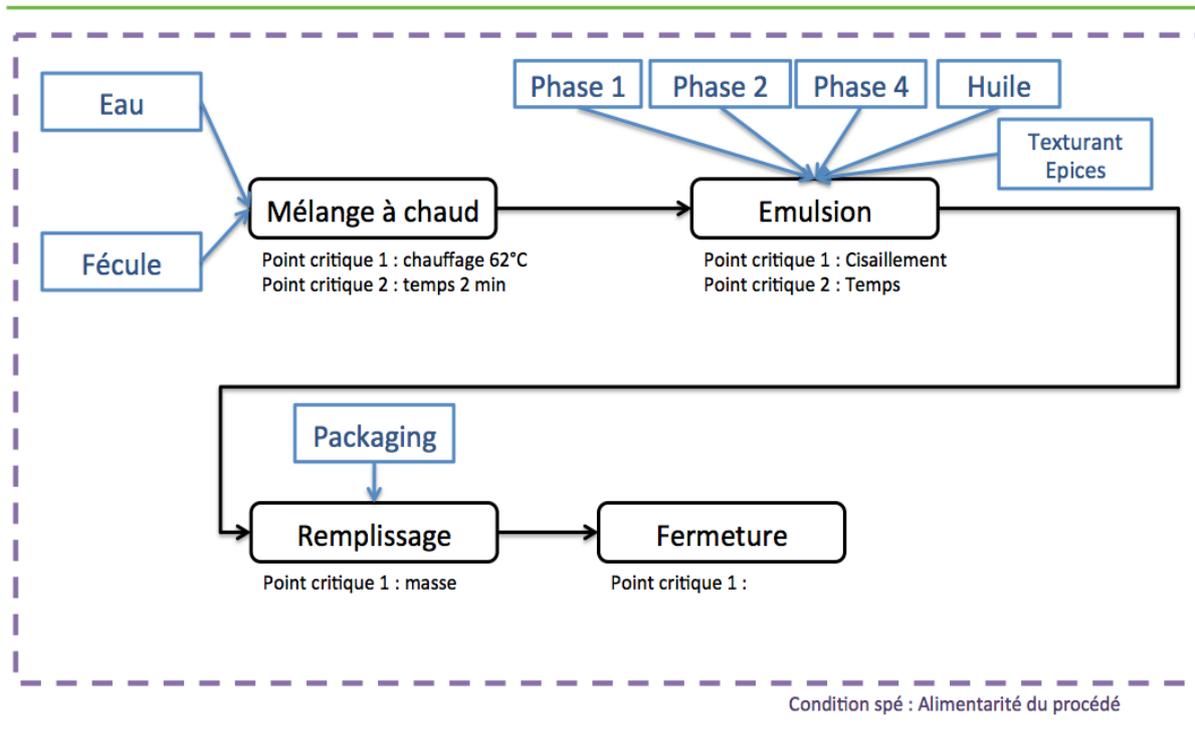
La gomme xanthane est un additif alimentaire qui se caractérise par ses propriétés hydrocolloïdales, le xanthane permet de bloquer les gouttelettes d'huiles en suspension dans l'eau, de façon à obtenir une structure homogène pour le système dispersé, auquel l'amidon aura donné du corps et stabilisé la matrice.

▪ *L'inuline*

L'inuline est un hydrocolloïde fibreux constitué de polysaccharides de la famille des fructanes produit de manière naturelle par de nombreux végétaux tels que la chicorée, l'artichaut, le pissenlit ou encore l'agave, l'utilisant comme moyen de stocker de l'énergie à la place ou en complément de l'amidon dans les racines ou les rhizomes. Cette substance permet de conférer à la sauce une certaine onctuosité et sensation de gras en bouche.

IV. Diagramme de fabrication

Schéma bloc de production : Sauce Yogi



Légende :

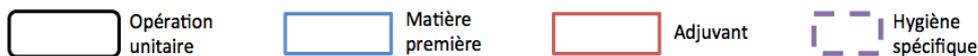


Figure 18 : Schéma bloc de production : Sauce Yogi

- ✓ **La phase 1**
 - Mélange de l'inuline et de l'eau froide.
- ✓ **La phase 2**
 - Mélange d'eau, du vinaigre, du jus de citron, du sel et du sirop d'agave.
- ✓ **La phase 3**
 - Mélange de la fécule avec de l'eau froide.
- ✓ **La phase 4**
 - Mélange de la farine de microalgues avec de l'huile.

V. Exigences du produit en termes de matières grasses

a. Matière grasse d'origine végétale :

Pour répondre aux exigences des consommateurs végétaliens ayant un mode d'alimentation basé sur les ressources végétales, la mayonnaise doit être produite à base d'une matière grasse d'origine végétal, c'est pour cette raison qu'on a pensé à faire intégrer dans la formule des huiles alimentaires obtenue à partir des fruits et/ou des graines oléagineuses issue de l'agriculture.

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

b. *Allégation d'allègement*

Pour obtenir une allégation d'allègement, la mayonnaise doit faire preuve d'une réduction de la quantité de matières grasses d'au moins 30% par rapport à une mayonnaise classique de référence, d'après le Règlement CE n°1924/2006 du Parlement Européen et du Conseil du 20 décembre 2006 concernant les allégations nutritionnelles et de santé portant sur les denrées alimentaires [11]. Etant donné la proportion conséquente en huile de la phase lipidique d'une sauce de type « mayonnaise » classique (environ 60%), exempte d'œufs ou non, cela signifie que cette teneur doit être réduite à 42% d'huile mise en œuvre au maximum dans la sauce, faisant basculer la balance « huile-eau » à une balance « eau-huile ». En effet, les autres ingrédients pouvant être mis en œuvre dans la sauce (eau, vinaigre, jus de citron, sel et sucre) comportent une teneur en matières grasses négligeable par rapport à l'huile : leur impact sur le profil lipidique du produit est donc minime.

c. *Matière grasse portante la certification Biologique*

Pour produire une mayonnaise portant la certification biologique, il faut qu'au moins 95% d'ingrédients utilisés dans la production de la mayonnaise issus du mode de production biologique, et pour répondre à cette exigence il faut employer des huiles certifiées agriculture biologique « AB » .

d. *Allégation de la richesse en acides gras de la famille des oméga-3*

L'objectif de ce projet était de répondre aux exigences du Règlement n°1924/2006 du Parlement Européen et du Conseil du 26 décembre 2008 concernant les allégations nutritionnelles et de santé portant sur les denrées alimentaires, ainsi qu'aux recommandations de l'EFSA, pour obtenir la mention d'une allégation nutritionnelle (« riche en acide gras oméga-3 ») et d'une allégation de santé (« les acides gras oméga-3 participent/contribuent au bon fonctionnement (du système) cardiovasculaire ») [11], [73]. Pour cela :

- Le produit doit contenir au moins 0,6 g d'acide alpha-linolénique pour 100 g et 100 kcal, ou au moins 80 mg d'acide eicosapentaénoïque et d'acide docosahexaénoïque combinés pour 100 g et 100 kcal [11].
- Le rapport acide linoléique (oméga-6)/acide alpha-linolénique (oméga-3) du produit doit être inférieur ou égal à 5.
- La composition globale du produit fini doit être en accord avec les recommandations de prévention cardiovasculaire actuelles : étant donné que l'aliment apporte beaucoup d'énergie d'origine lipidique (>33% de l'apport énergétique du produit fini), le rapport acides gras saturés/acides gras totaux doit être inférieur à 30%, et la teneur en cholestérol inférieure ou égale à 150 mg/100 g de produit fini [73].

e. *Allégation de la richesse en vitamine E*

La vitamine E présente un intérêt notable en raison de son rôle antioxydant, tant bénéfique pour la conservation du produit que pour la santé du consommateur [74]. Pour présenter l'allégation nutritionnelle « source de vitamine E » et celle de santé « la vitamine E contribue à protéger les cellules contre le stress oxydatif », 100 g de produit fini doivent contenir au minimum 1,8 mg de vitamine E, soit 30% des VNR [11].

C. Etude bibliographique

I. Généralités sur les lipides

1. Définition et composition (5)

Les lipides forment une classe de constituants biologiques nutritionnellement importants pour la part calorique et l'apport indispensable d'acides gras essentiels et de vitamines liposolubles qu'ils présentent dans la ration alimentaire. Les graisses et les huiles, qui ne se distinguent que par leur point de fusion, constituent les matières grasses ou corps gras. Ces corps gras sont des matières organiques insolubles dans l'eau, et plus ou moins hydrophobes. Ils peuvent être solubilisés par les solvants organiques peu ou non-polaires (éthanol, isopropanol, acétone, éther éthylique, etc.).

Les corps gras naturels sont essentiellement constitués par les triesters entre des acides gras et du glycérol. Ils renferment, en outre, des phospholipides en faible quantité, les stérols, des alcools, des vitamines, des pigments, des hydrocarbures, désignés dans leur ensemble sous le nom de constituants non glycériques, ou constituants mineurs.

Une des caractéristiques importante du point de vue chimique et nutritionnel est la longueur de chaîne des acides gras constitutifs des triacylglycérols (chaînes courtes, moyennes ou longues). Lorsqu'il n'y a pas de double liaison entre les atomes de carbone constitutifs de la chaîne, l'acide gras est dit "Saturé"; dans le cas contraire, il est dit "insaturé". Un exemple d'acide gras saturé est donné par l'acide stéarique (C18:0), et un exemple d'acide gras insaturé est l'acide oléique (C18:1). Quand plusieurs paires d'atomes de carbone ne sont pas saturés, l'acide gras est dit "poly-insaturé", comme l'acide linoléique (C18:2), ou l'acide linoléinique (C18:3) (Figure 11).

Par ailleurs, la présence d'une double liaison dans un acide gras entraîne une propriété particulière, qui tient à ce que les deux atomes d'hydrogène adjacents à la double liaison puissent être:

- soit du même côté de la double liaison: isomère "cis" (Figure 12);
- soit de part et d'autre de la double liaison: isomère "trans" (Figure 12).

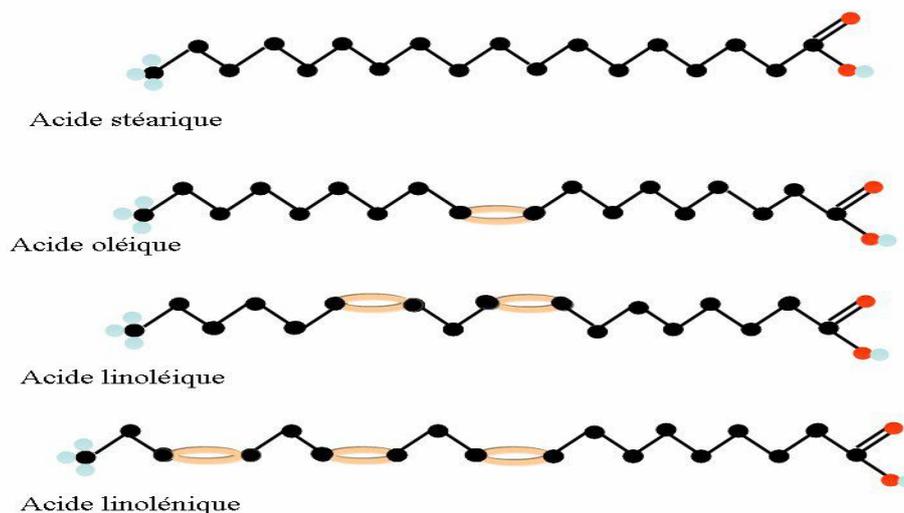


Figure 19 : Structure chimique de quelques acides gras : En rouge : l'atome d'oxygène ; en bleu : l'atome d'hydrogène ; en noir : l'atome de carbone ; en orange : la double liaison.

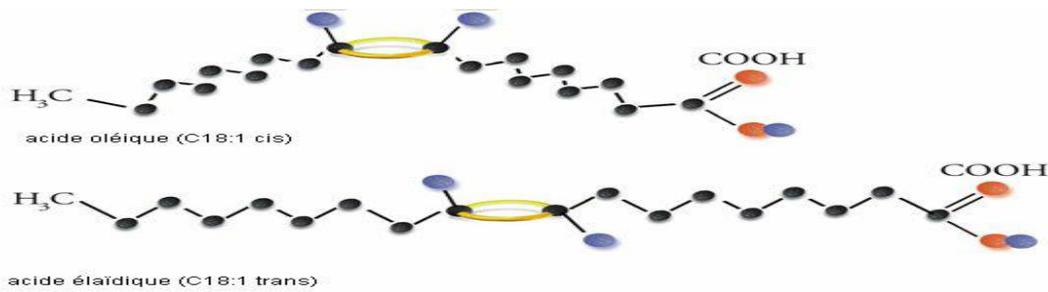


Figure 20 : Structure chimiques de l'isomère "cis" et "trans" de l'acide gras C18 :1 : En rouge : l'atome d'oxygène ; bleu : atome hydrogène ; jaune : double liaison ; noir atome de carbone (Mauro A., 2003)

2. Contrainte et dégradation des matières grasses

a. *Dégradation à la chaleur*

La résistance des corps gras à la chaleur est variable : il existe pour chacun d'eux une température critique (également appelée "point de fumée") à ne pas dépasser, au delà de laquelle les corps gras produisent des composés toxiques, irritants pour les muqueuses digestives et qui oxydent les caroténoïdes et les vitamines A et E.

b. *L'oxydation*

L'oxydation est un phénomène chimique, naturel, complexe, spontané, évolutif, irréversible et altératif qui consiste à faire dégrader les acides gras insaturés (les doubles liaisons s'ouvrent et fixent des atomes d'oxygène) en présence d'air, à température élevée ou sous l'action des ultraviolets.

L'oxydation présente deux conséquences majeures :

- Qualité organoleptique : Flaveur rance dû au rancissement aldéhydique qui s'exprime par la formation des composés carbonylés (C4 à C12).
- Qualité nutritionnelle : Les AGPI oxydés non biodisponibles.

II. Description des huiles végétales alimentaires

1. Les huiles alimentaires

Les huiles végétales sont des corps gras qui se trouvent sous forme liquide à la température ambiante de 20°C parce qu'elles contiennent d'avantages d'acides gras insaturés, qui possèdent une ou des doubles liaisons capables de s'ouvrir pour interagir avec l'environnement(6), elles sont issues de culture oléagineuse.... Les propriétés d'une huile végétale (texture, stabilité, qualité nutritionnelle,...) sont déterminées par le profil en acides gras saturés et insaturés ainsi que la présence d'impuretés (terpènes, tocophérol,...). Le secteur agroalimentaire constitue le marché principal des huiles végétales mais elles sont également de plus en plus utilisées comme produit de substitution aux ressources fossiles dans l'industrie chimique.

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

2. Composition en acides gras des huiles végétales alimentaires

La plupart des lipides simples comme les huiles sont des triacylglycérols qui résultent de l'estérification d'une molécule de glycérol avec trois molécules d'acides gras.



Les teneurs en acides gras dans certaines huiles alimentaires sont présentées dans le tableau 1 .

Tableau 1: Pourcentage des acides gras dans certaines huiles alimentaires (Harwood J. et al. 2000)

		Colza	Olive	Palme	Arachide	Argan	Soja	Tournesol	Maïs
Acide myristique	C14 :0	0,2	0,025	1,25	0,15	≤0,2	0,125	0,125	0,175
Acide palmitique	C16 :0	3,75	13,75	43,4	9,425	13,25	10,75	6,3	12,55
Acide palmitoléique	C16 :1	3	1,9	0,325	0,225	≤0,2	0,125	0,175	0,275
Acide héptadécanoïque	C17 :0	0,1	0,15	0,125	0,075	traces	0,075	ND	0,075
Acide heptadécénoïque	C17 :1	0,1	0,15	ND	0,075		0,075	ND	0,075
Acide stéarique	C18 :0	1,8	2,75	4,75	3,1375	5,75	3,7	4,6	1,675
Acide oléique	C18 :1 ω9	34	69	40	28,9	46,05	23,5	26,7	31,1
Acide linoléique	C18 :2 ω6	17	7	10,5	55,475	32,65	53,5	61,15	49,8
Acide α-linolénique	C18 :3 ω3	9	1	0,275	0,6	≤0,3	7,75	0,175	1,025
Acide arachidique	C20 :0	3	0,3	0,525	0,475	≤0,5	0,35	0,3	0,65
Acide éicosénoïque	C20 :1	9	0,2	0,225	0,2875	≤0,5	0,275	0,175	0,4
Acide éicosadiénoïque	C20 :2	1		ND	0,075		0,075	ND	0,075
			ND						
Acide béhénique	C22 :0	2	0,1	0,125	0,5875	≤0,2	0,375	0,9	0,275
Acide érucique	C22 :1	31	Non spécifique	ND	0,175		0,175	0,175	0,175
Acide décosadiénoïque	C22 :2	2		ND	0,175		ND	0,175	ND
			ND						
Acide lignocérique	C24 :0	2	0,1	ND	0,275		0,275	0,275	0,275
Acide nervonique	C24 :1	3		ND	ND		ND		ND
			ND						

3. Qualité nutritionnelle des huiles alimentaires

Les critères de qualité et d'authenticité des divers types d'huiles sont décrits en détail dans la norme du Codex Alimentarius et dans le règlement de la Commission Européenne CE 2568/91, ainsi que dans les amendements et les additions à ce règlement de base. Ces ensembles de normes des deux organismes sont complémentaires. On peut juger la qualité des huiles en déterminant la composition nutritionnelles de ces dernières à partir de certaines caractéristiques notamment la composition en acides gras saturés, mono-insaturés et polyinsaturés, le rapport oméga 6/oméga 3, ainsi que la teneur en antioxydants naturels tel la vitamine E dans le cas des huiles.

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Tableau 2 : Composition nutritionnelle des huiles alimentaires

POUR 100 G DE L'HUILE	Energie (kJ)	MG (g)	AGS(g)	AGMI (g)	AGPI (g)	Oméga 9 (g)	Oméga 6 (g)	Oméga 3 (g)	Vitamine E (mg)	Rapport W6/W3
Huile de tournesol	3700	100,0	11,0	28,0	58,0	26,7	61,2	0,2	6,69	Très élevé
Huile de colza	3700	100,0	7,5	64,0	32,0	ND	22,5	9,5	24,30	2,36
Huile d'olive vierge extra	3700	100,0	14,0	77,0	9,0	76,0	8,0	0,6	10,50	13,33
Huile de cameline	3700	100,0	11,2	30,6	58,2	15,3	19,2	39,0	7,00	0,49
Huile de pépins de courge	3700	100,0	19,0	31,0	50,0	22,0	58,0	ND	10,00	>58
Huile de chanvre	3700	100,0	10,0	13,0	77,0	12,3	56,8	16,7	19,20	3,40
Huile de germes de maïs	3700	100,0	14,0	29,0	60,5	ND	49,8	1,0	29,50	49,80
Huile de soja	3700	100,0	16	22	63	23,5	53,5	7,75	6,90	6,90
Huile de palme	3700	100,0	50	40	10	40	10,5	0,275	38,10	38,00
Huile d'arachide	3700	100,0	16	54	39	52	27,5	0,175	1,57	Très élevé

La composition en acides gras diffère d'une huile à une autre, Les facteurs primaires affectant la composition en acides gras sont l'origine d'extraction de l'huile ainsi que les conditions de culture de ces origines fruits ou graines.

4. Caractérisation physico-chimique des huiles végétales alimentaires

Pour exprimer d'une manière physico-chimique la qualité de l'huile. On prend en considération six paramètres présentés dans le tableau 3 suivant :

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Tableau 3 : Les caractéristiques physico-chimiques de la qualité des huiles végétales alimentaires

	Indice d'iode (Wijs)	Indice de peroxyde (milliéquivalent d'oxygène actif/kg d'huile)	Indice de saponification (mg KOH/g)	Indice d'acide	Point de fumé (°C)	Densité relative
Huile de soja	131,5	5	192	0,6	230	0,922
Huile de colza	107	5	174,5	0,6	204	0,915
Huile de tournesol	129,5	5	191	0,6	200	0,92
Huile d'olive vierge extra	84,5	20	190	0,62	216	0,913
Huile de palme	52,5	5	199,5	0,6	250	0,895
Huile de cameline	139	5	189,5	0,6	203	0,916
Huile de maïs	121	5	191	0,6	232	0,921
Huile de chanvre	153,5	5	191,5	0,6	165	0,92
Huile de courge	122	5	190,5	0,6	140	0,923
huile de sésame	112	5	191	0,6	232	0,919

III. Synthèse des huiles végétales selon les exigences de base du produit

Dans un premier temps, une veille bibliographique a été effectuée sur 27 huiles végétales biologiques (non raffinées) compatibles avec l'alimentation humaine, afin de pouvoir sélectionner celles présentant des propriétés nutritionnelles et fonctionnelles intéressantes pour la sauce.

Tableau 4 : Synthèse des huiles alimentaires

Critères de sélection	Huiles alimentaires
Présence d'allergènes	Huile de blé, huile de sésame, huile de noix, huile d'amande, huile de noisette et huile d'arachide...
Taux élevé en graisses saturées	Huile de coco et huile de palme...
Difficulté de digestion	Huile de ricin (présence d'acide ricin oléique)...
Interdite au niveau de la réglementation européenne (France)	Huile de lin
Pas de source d'oméga 3	Huile d'argan, huile de carthame, huile de tournesol, huile d'onagre, Huile de bourrache et huile d'avocat...
Rapport W6/W3 très élevé	Huile de tournesol, Huile d'arachide...
Absente sur le marché avec la certification biologique	Huile de maïs...

En premier lieu, les huiles dont la culture impacte de manière très néfaste l'environnement en raison d'une surexploitation ont été éliminées du panel (huile de soja, huile de palme et de palmiste), au même titre que l'huile de coco, dont la teneur en acides gras saturés très élevée

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

(environ 90%) est non souhaitée. Celles présentant des risques d'allergénicité ont également été écartées (huile d'arachide, de sésame, de noix, de noisette, d'amande, de pistache, de moutarde et de germes de blé). Il en est de même pour celles présentant un rapport oméga-6/oméga-3 trop élevé car supérieur à 35 (huile de carthame, de tournesol, de coton, d'argan, d'onagre, de pépins de raisin, de germes de maïs et d'œillette). Par la suite, elle a été décidé d'éliminer les huiles de son de riz et d'avocat, étant donné qu'elles ne sont ni riches en acides gras oméga-3, ni en vitamine E. L'huile de cameline, malgré ses propriétés nutritionnelles intéressantes, a également été écartée en raison de sa saveur herbacée très forte et incompatible avec celle d'une sauce de type « mayonnaise ».

Conclusion :

Suite à ce constat, on a gardé les quatre huiles suivantes: huile de colza, huile d'olive vierge extra, huile de chanvre, huile de pépins de courge. En revanche, ces huiles présentent pratiquement toutes les caractéristiques nutritionnelles souhaitées, ainsi que des propriétés organoleptiques très intéressantes.

IV. Préparation du cahier des charges des huiles

Pour l'échantillonnage de chaque matière première, il est indispensable de préparer un cahier des charges qui va décrire la matière que l'on est amené à utiliser. Pour le cas des huiles voir le cahier des charges en annexe 3.

Un cahier des charges comporte les points suivant :

- Description générale du produit.
- Les caractéristiques recherchées.
- Les coordonnées de l'entreprise en question.

V. Recherche des fournisseurs des huiles certifiées agriculture biologique

Pour la formulation d'un produit alimentaire, il est important de sélectionner et fixer les matières premières que l'on est amené à utiliser. Un aliment tel que les huiles alimentaires, ce sont des matrices peu complexes, et ce sont des produits relativement similaires d'un fournisseur à l'autre, que ce soit d'un point de vue fonctionnel ou organoleptique. Le choix dans ces cas-là se portera souvent sur la qualité du produit :

- Pureté
- Prix

Il faut préciser que malgré leur caractère simple/invariant, les huiles utilisés, jouent tout de même un rôle non négligeable dans la saveur et la flaveur du produit fini, et leurs caractéristiques organoleptiques sont susceptibles de varier d'un producteur à un autre et ce en raison des conditions d'extraction de ces huiles ainsi que du mode de conditionnement proposé par le fournisseur.

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Les matières premières utilisées dans un premier temps provenaient toutes d'un magasin parisien d'alimentation certifiée biologique.

1. Les huiles alimentaires

Pour les huiles, le principal critère de sélection fut le prix, pour les raisons évoquées précédemment. Les huileries est très développée en France, Vegean, Emile Noël et Biopress sont les principaux producteurs de l'huile et ayant la certification biologique. Cependant, compte tenu des faibles volumes consommés par Algama et ce, même en imaginant les premières productions industrielles, il n'est pas envisageable de se tourner directement vers ces groupes qui fournissent des volumes trop imposant. Il a fallu se rabattre vers des distributeurs qui disposent de plus de souplesse en ce qui concerne les volumes. Naturalia faisait partie des distributeurs les plus susceptibles d'être adapté à nos besoins. D'un distributeur à l'autre, ces produits s'avèrent très semblable, à tel point que le choix final c'est fait quasi-exclusivement par rapport au prix de vente.

2. Difficultés rencontrées

La recherche de fournisseurs, dans le contexte du stage et en règle générale, s'accompagne de désagréments et autres difficultés auxquelles il faut être capable de réagir.

Le stage se déroulant au sein d'une jeune entreprise, celle-ci ne possède pas de base de données fournisseur. La recherche d'une matière première particulière signifie donc qu'il faut consulter les sites, catalogues et démarcher directement les entreprises afin de recevoir les fiches techniques des produits d'intérêts. Rapidement, on se rend compte que le contact par mail n'est, pour beaucoup d'entreprise, pas la solution la plus rapide pour obtenir ce que l'on souhaite. Un appel téléphonique reste le plus efficace, même si pour cela il faut passer par plusieurs interlocuteurs qui vous renvoient vers leurs collègues plus aptes à vous répondre. A cet instant, le principal avantage en évoluant dans une start-up, reste la synergie d'entreprise puisqu'il n'y a quasiment pas d'intermédiaires, contrairement aux entreprises plus imposantes.

D. Matériels et méthodes

I. Matériels

Le matériel utilisé pour la production de la sauce et pour la réalisation des analyses est :

- Béchers
- Spatules
- Mixeur
- Agitateur magnétique
- Plaque à induction
- Thermomètre
- Bain marie
- Balance
- Barreaux magnétiques

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

- Broyeur

Et pour la mesure de certains paramètres on trouve aussi :



- **Viscosimètre** (Rheomat RM 200 LAMY RHEOLOGY)



- Mesureur de PH



- Etuve chauffante

II. Méthodes d'analyses

1. Analyse sensoriel : Panel sensoriel (20) (21)

a. *Définition*

L'analyse sensorielle permet d'étudier les caractéristiques sensorielles des produits en faisant intervenir l'homme comme instrument de mesure : examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes des sens (odorat, vue, toucher, ouïe, goût).

b. *Objectifs généraux*

Selon le but recherché, les approches sont différentes :

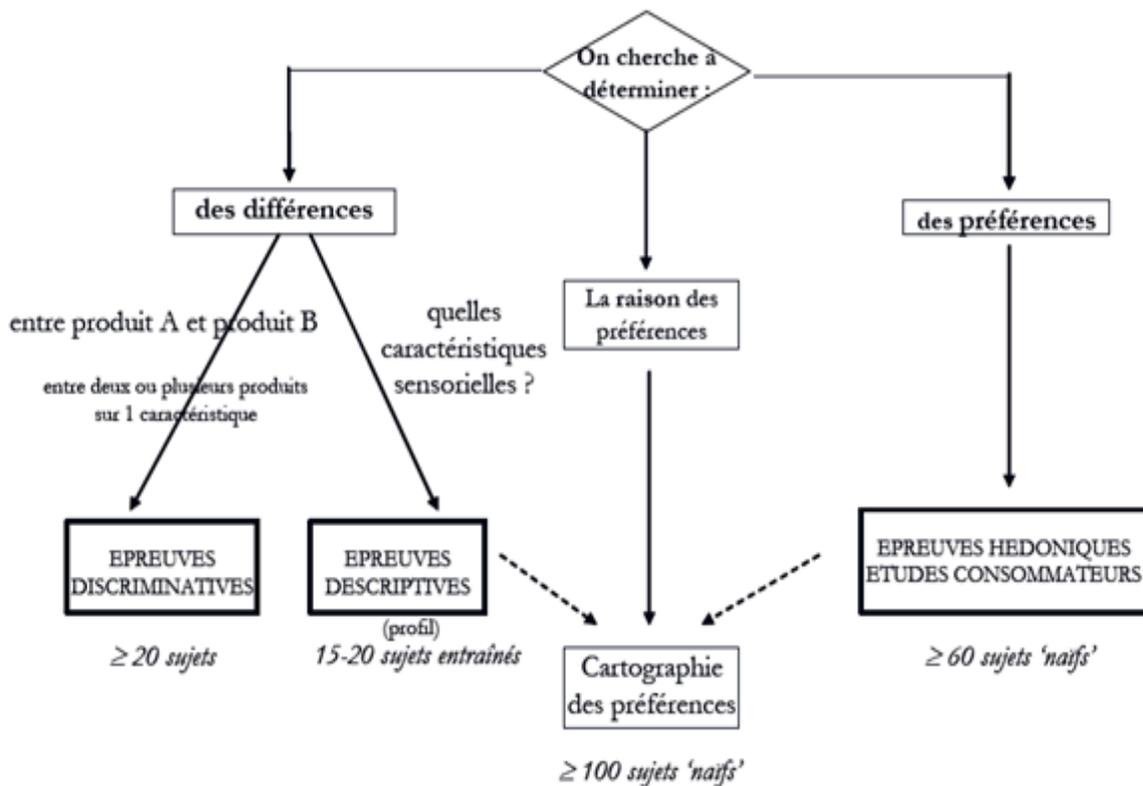


Figure 21: Les différents objectifs de l'évaluation sensorielle

c. *Objectif majeur*

En **R&D** : pour la mise au point d'un nouveau produit, pour la corrélation entre un changement de formulation et une modification des qualités sensorielles d'un produit. L'analyse sensorielle permet d'obtenir une description complète d'un produit, afin de mieux connaître ses produits et de pouvoir ainsi mieux communiquer dessus.

Le **profil sensoriel** est le test le plus utilisé en R&D.

d. *Profil sensoriel (20)*

▪ *Définition*

Selon la norme [ISO 11035](#) le profil sensoriel est une utilisation de termes descriptifs pour évaluer les propriétés sensorielles d'un échantillon et l'intensité de chaque propriété. Il a pour objet de décrire les caractéristiques sensorielles d'un produit.

▪ *Principe*

Recherche et sélection d'un ensemble de descripteurs pertinents permettant de donner le maximum d'informations sur les propriétés sensorielles du produit à analyser, dans le but d'élaborer un profil sensoriel.

- **Étapes de la méthodologie**

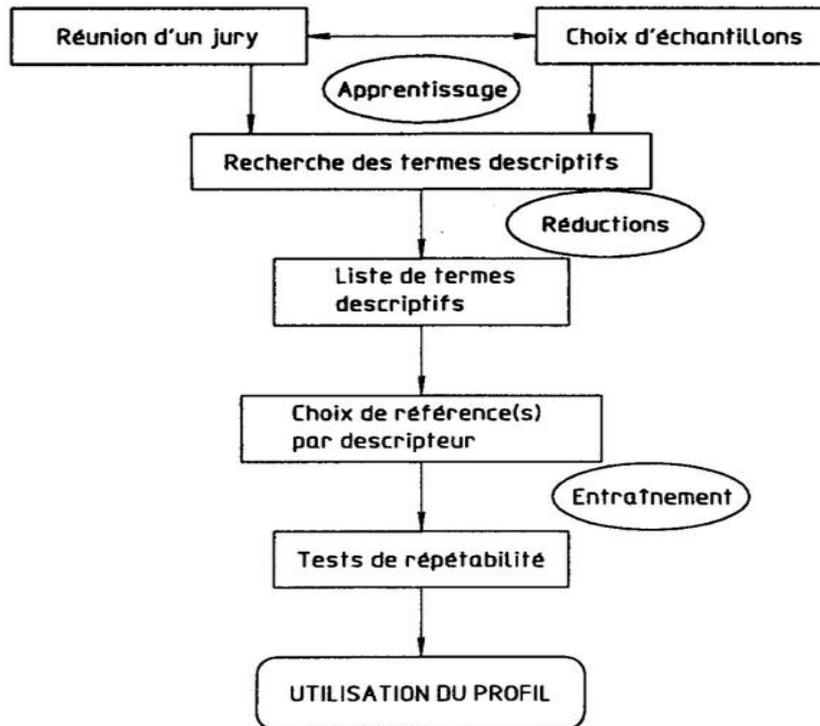


Figure 22 : Étapes pour la recherche et la sélection de descripteurs pour l'établissement d'un profil sensoriel

e. **Descripteur :**

Terme renvoyant le sujet à un élément de la perception du produit. Le descripteur doit avoir des propriétés telles (pertinence par rapport au produit, mono dimensionnalité) qu'il puisse en être fait une évaluation sur une échelle d'intensité (saveur sucrée du saccharose, par exemple).

2. Analyses physico-chimiques

a. **Analyse viscosimétrique**

- **Rappel des définitions :**

- **Viscosité dynamique (η , en Pa.s) :** Elle est définie par l'équation de Newton et quantifie la mesure de la friction interne d'une substance fluide. Sa détermination nécessite d'appliquer au fluide un gradient de vitesse de cisaillement (D , en s⁻¹) et de mesurer la contrainte de cisaillement (τ , en Pa) résistante à cette rotation, avec : $\eta = \frac{\tau}{D}$
- **Seuil d'écoulement (Pa) :** Contrainte de pression devant être appliquée au fluide pour qu'il puisse s'écouler. En deçà de cette valeur, il se comporte comme un solide sous des conditions statiques et ne subit aucune déformation.

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

- **Principe :**

L'analyse viscosimétrique est une analyse physico-chimique, elle est basée sur l'application au fluide d'un gradient de vitesse de cisaillement grâce à un viscosimètre à fin de mesurer la friction interne de ce produit pour caractériser l'aptitude de ce dernier à s'écouler et de décrire ses propriétés en écoulement.

- **Technique :**

En utilisant un viscosimètre rotatif et après avoir rempli le réceptacle du fluide à analyser, sa viscosité dynamique à 100 s⁻¹ et son seuil d'écoulement pour un gradient de vitesse de cisaillement de 0 à 10 s⁻¹ sont déterminés selon le modèle de Casson à l'aide d'un rhéomètre, à une température d'environ 19,7°C ± 2°C (Rheomat RM 200 LAMY RHEOLOGY).

b. **Analyse du pH**

- **Principe :**

La mesure du pH est une analyse physico-chimique qui permet de mesurer le niveau d'acidité d'une solution qui résulte des réactions d'échange de l'ion H⁺ (appelé aussi proton). Le pH est relié à l'activité des ions H⁺ solvatés par les molécules de solvant dans lequel ils ont été dissous. La mesure se fait grâce au pH-mètre.

- **Technique :**

En utilisant un pH-mètre et après avoir étalonné son pH, le pH des échantillons à analyser est déterminé directement sur l'appareil après introduction de la sonde du pH-mètre dans le produit.

3. Analyse Réglementaire :

En termes de réglementation européen, pour définir les allégations santé associées à chaque nutriment qui rentre dans la formulation en huile du produit et après avoir déterminer les seuils significatifs de leurs présence dans une portion bien précise du produit fini, il a fallu suivre et respecter les normes de la réglementation :

RÈGLEMENT (UE) N° 432/2012 DE LA COMMISSION du 16 mai 2012 : établissant une liste des allégations de santé autorisées portant sur les denrées alimentaires, autres que celles faisant référence à la réduction du risque de maladie ainsi qu'au développement et à la santé infantiles.

RÈGLEMENT (UE) N o 1169/2011 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 25 octobre 2011 : Concernant l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires, modifiant les règlements (CE) n o 1924/2006 et (CE) n o 1925/2006 du Parlement européen et du Conseil.

Pour établir le profil sensoriel, ainsi que de caractériser/mesurer/quantifier chaque descripteur d'un profil donnée de la mayonnaise ou de n'importe quel produit en

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

développement, il a fallu suivre les règles s'appliquant à l'élaboration et au déroulement de panel.

Norme ISO 11035 : Analyse sensorielle - Recherche et sélection de descripteurs pour l'élaboration d'un profil sensoriel, par approche multidimensionnelle

Analyse sensorielle - Guide général pour l'évaluation sensorielle - Description, différenciation et mesure hédonique NF V09-501 (2010-04-01)

Analyse sensorielle- Vocabulaire d'analyse sensorielle ISO 5492

E. Résultats expérimentaux et discussion

I. Etude des propriétés nutritionnelles du produit

Après échantillonnage des huiles une caractérisation organoleptique et nutritionnelles des huiles sélectionnées a été effectuée à fin de confirmer les allégations santé relatives au produit en termes de matières grasses.

Tableau 5 : Caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles d'intérêt des huiles sélectionnées (Source : fournisseurs d'huile Vigean, Emile Noël)

Huile végétale	Couleur	Saveur	Rapport oméga-6/oméga-3	Teneur en acides gras oméga-3		Teneur en vitamine E	
				Source en oméga-3 pour 25% d'huile dans le produit fini	Riche en oméga-3 pour 25% d'huile dans le produit fini	Source de vitamine E pour 25% d'huile dans le produit fini	Riche en vitamine E pour 25% d'huile dans le produit fini
Colza	Jaune pâle	Discrète, neutre, légèrement sucrée et herbacée	1,80	Oui	Oui	Oui	Oui
					Non		Non
Chanvre	Vert tendre	Discrète, légèrement herbacée et fraîche	0,17	Oui	Oui	Oui	Non
							Non

D'après ce tableau, on constate que les différentes sauces formulées avec 100% de l'huile d'olive ou de l'huile de pépins de courge ou de l'huile de chanvre présentent des saveurs particulièrement trop forte et notamment désagréable à la consommation, aussi elles ne répondent pas aux allégations de santé recherchées dans la recette Algama. Par contre le produit avec 100% de l'huile de colza présente une saveur moins forte et plus agréable à la consommation et en plus elle respecte les règles de la réglementation en termes d'allégations nutritionnelles et de santé.

II. Formulation théoriques des mix d'huile

1. Le mélange d'huiles idéal pour remplir les objectifs nutritionnels de la sauce

Après une première analyse sensorielle de sauces formulées selon la recette d'Algama et comportant 100% de chacune de ces huiles, il a pu être constaté que celles d'olive, de chanvre et de pépins de courge conféraient à la sauce une saveur particulière, trop forte pour être agréable. L'huile de colza, au contraire, a été perçue comme beaucoup plus douce et discrète. Pour cette raison, il a été décidé de réaliser, pour le panel de consommateurs, des mélanges d'huiles formulés à partir de 90 et 80% d'huile de colza, et respectivement 10 et 20% d'huiles d'olive, de chanvre ou de pépins de courge. En plus de satisfaire tous les objectifs nutritionnels en termes de richesse en acides gras oméga-3 et de source en vitamine E, il sera alors possible de choisir un mélange optimal qui puisse satisfaire les cibles organoleptiques du produit, mais aussi lui conférer une certaine typicité, tout en présentant les avantages économiques les plus avantageux.

Huiles (prototype du panel consommateurs) :	25% huile de colza
	22,5% d'huile de colza + 2,5% d'huile d'olive
	20% d'huile de colza + 5% d'huile d'olive
	22,5% d'huile de colza + 2,5% d'huile de chanvre
	20% d'huile de colza + 5% d'huile de chanvre
	22,5% d'huile de colza + 2,5% d'huile de courge
	20% d'huile de colza + 5% d'huile de courge

2. Propriétés nutritionnelles du produit pour des mélanges d'huile différents

Afin de vérifier les objectifs à atteindre pour arriver à la recette d'Algama, une étude des propriétés nutritionnelles du produit en intégrant à chaque fois un mix d'huiles différent sera efficace. Le tableau ci-dessous résume ces caractéristiques.

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Tableau 6 : Caractéristiques et nutritionnelles d'intérêt des mélanges d'huiles sélectionnées

Produit fini substitué en matière grasse	Rapport oméga6 / oméga3	Teneur en acides gras oméga-3		Teneur en vitamine E	
		Source en oméga-3	Riche en oméga-3	Source de vitamine E	Riche en vitamine E
Produit fini avec 25% huile de colza	1,80	Oui	Oui	Oui	<i>Oui</i>
Produit fini avec 22,5% d'huile de colza + 2,5% d'huile d'olive	2.40	Oui	Oui	Oui	<i>Oui</i>
Produit fini avec 20% d'huile de colza + 5% d'huile d'olive	2.5	Oui	Oui	Oui	<i>Oui</i>
Produit fini avec 22,5% d'huile de colza + 2,5% d'huile de chanvre	2.50	Oui	Oui	Oui	<i>Oui</i>
Produit fini avec 20% d'huile de colza + 5% d'huile de chanvre	2.70	Oui	Oui	Oui	<i>Oui</i>
Produit fini avec 22,5% d'huile de colza + 2,5% d'huile de pépins de courge	3.00	Oui	Oui	Oui	<i>Oui</i>
Produit fini avec 20% d'huile de colza + 5% d'huile de pépins de courge	3.90	Oui	Oui	Oui	<i>Oui</i>

En se basant sur les résultats de ce tableau, on conclue qu'avec les mélanges d'huiles on peut atteindre les cibles recherchées pour la sauce Algama, car toutes les sauces sont riches en acides gras de la famille des oméga 3 et de la vitamine E, ainsi le rapport oméga 6/oméga 3 est intéressant pour chaque formule.

III. Analyse du produit fini en termes de matières grasses

1. Analyse sensoriel de la sauce

Afin de fixer les paramètres organoleptiques à mesurer ainsi que les bornes inférieures et supérieures de chaque paramètre et pour chaque sauce substituée en matières grasses, une détermination des éléments à caractériser est indispensable. Le tableau ci-joint récapitule les différentes caractéristiques à analyser du produit.

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Tableau 7: Caractéristiques organoleptiques à analyser du produit

Eléments à caractériser	Paramètres à mesurer	Méthode de mesure	Borne inférieur(0) et supérieur(5) de chaque paramètre
Aspect visuel	Couleur	Panel sensoriel	0 : Blanc 5 : Jaune foncé (Coque de la banane)
	Brillance	Panel sensoriel	0 : Aspect non brillant (aspect mat) 5 : Aspect très brillant (Forte réflexion de la lumière)
Texture au toucher	Elasticité	Panel sensoriel	0 : Texture non élastique, à rupture franche 5 : Texture très élastique
	Adhérence	Panel sensoriel	0 : Texture non adhérente à la cuillère 5 : Texture très adhérente à la cuillère
	Fluidité	Panel sensoriel	0 : Texture très épaisse, aspect consistant et dense 5 : Texture très fluide, peu visqueuse
Textures-en bouche	Onctueux	Panel sensoriel	0 : Texture non onctueuse (Très hétérogène, peu lisse) 5 : Très onctueuse (Lisse, impression de gras)
	Collant	Panel sensoriel	0 : Texture en bouche non collante, très fluide 5 : Texture très collante en bouche, adhérente au palais
Saveur	Acide	Panel sensoriel	0 : Saveur acide non perceptible 5 : Saveur acide très fortement perceptible
	Herbacé	Panel sensoriel	0 : Saveur herbacé non perceptible 5 : Saveur herbacé très fortement perceptible
	Fruité	Panel sensoriel	0 : Saveur fruité non perceptible 5 : Saveur fruité très fortement perceptible
	Céréalière	Panel sensoriel	0 : Saveur céréalière non perceptible 5 : Saveur céréalière très fortement perceptible
Odeur	Acide	Panel sensoriel	0 : Odeur acide non perceptible 5 : Odeur acide très fortement perceptible
	Herbacé	Panel sensoriel	0 : Odeur herbacé non perceptible 5 : Odeur herbacé très fortement perceptible
	Fruité	Panel sensoriel	0 : Odeur fruité non perceptible 5 : Odeur fruité très fortement perceptible
	Céréalière	Panel sensoriel	0 : Odeur céréalière non perceptible 5 : Odeur céréalière très fortement perceptible

2. Analyses physico-chimiques de la sauce

c. Détermination de la viscosité dynamique et du seuil d'écoulement de la sauce

La mayonnaise est un fluide rhéoépaississant : sa viscosité augmente lorsque le taux de cisaillement s'élève en raison de la mise en œuvre d'émulsifiants et de stabilisants dans sa formulation. Il s'agit en outre d'un fluide de Casson, caractérisé par un comportement de solide parfait sous de faibles contraintes et un comportement de fluide visqueux au-delà d'une contrainte-seuil de pression [19].

Dans l'objectif de chercher l'effet de l'utilisation des types différents de l'huile dans la formulation de la mayonnaise, 7 sauces différentes ont été analysées de manière physicochimique, par viscosimétrie.

Afin de pouvoir comparer entre les différentes mayonnaises, les résultats de l'étude viscosimétrique sont les suivantes :

Tableau 8: Etude viscosimétrique des mayonnaises

Sauce	Mesure physicochimique : Viscosité dynamique à 100 s^{-1} (Pa.s)	Mesure physicochimique : Seuil d'écoulement de 0 à 10 s^{-1} (Pa)
Témoin : Mayonnaise (25% de l'huile de colza non biologique)	1.170	34.9
Mayonnaise (25% de l'huile de colza biologique)	1.030	40.9
Mayonnaise (22.5% de l'huile de colza biologique et 2.5% de l'huile d'olive vierge extra bio)	0.837	35.3
Mayonnaise (22.5% de l'huile de colza biologique et 2.5% de l'huile de courges bio)	0.920	40.1
Mayonnaise (22.5% de l'huile de colza biologique et 2.5% de l'huile de chanvre bio)	0.837	39.4
Mayonnaise (20% de l'huile de colza biologique et 5% de l'huile d'olive vierge extra bio)	0.816	44.6
Mayonnaise (20% de l'huile de colza biologique et 5% de l'huile de courges bio)	0.803	40.8
Mayonnaise (20% de l'huile de colza biologique et 5% de l'huile de chanvre bio)	0.501	23.8

Les valeurs à cibler pour la sauce d'Algama concernant ces deux grandeurs sont les suivantes :

- Viscosité dynamique : environ $2,2 \pm 0,2 \text{ Pa.s}$ à 100 s^{-1}
- Seuil d'écoulement pour une contrainte de cisaillement comprise entre 0 et 10 s^{-1} : $54,5 \pm 5 \text{ Pa}$

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

• Conclusion

La viscosité dynamique de la mayonnaise ne semble pas influencée par le type de l'huile où le mélange des huiles utilisées dans la formulation du produit car toutes les valeurs se rapprochent entre eux. Par ailleurs, ce qu'il faut bien savoir c'est que l'utilisation des huiles biologiques non raffinées peut diminuer faiblement la viscosité de la mayonnaise par rapport à l'utilisation des huiles raffinées comme indique le résultat du témoin (Mayonnaise avec de l'huile de colza non biologique). Et on pourra expliquer ce phénomène par la présence des molécules particulières qui restent libre dans ces huiles biologique non raffinées (Ex : Mono glycérides, Di glycérides...etc.)

d. Optimisation du pH

Parmi les paramètres à fixer pour optimiser la phase lipidique d'une mayonnaise est le pH. Un pH approximatif permet d'obtenir une mayonnaise ayant une acidité correcte. Cependant, celui-ci est très dépendant d'autres ingrédients qui rentrent dans la formule de la mayonnaise tels que le jus de citron, le vinaigre de cidre et la farine des micro-algues utilisée. Si bien qu'il faut bien respecter les mêmes doses de ces ingrédients pour chaque formule pour pouvoir au mieux détecter l'influence du type d'huile ainsi que les quantités de ces huiles introduites sur le pH final de la mayonnaise qui doit être de l'ordre de 3.5.

L'objectif, ici, est de mesurer le pH de la mayonnaise obtenue en fonction de la nature et de la quantité des huiles ajoutées (25g de l'huile dans 100g de la mayonnaise). Ainsi, une lecture au pH-mètre de la mayonnaise permettrait de déterminer le type d'huile ou le mélange d'huiles à incorporer pour atteindre le pH cible.

Tableau 9 : Impact de certains mélanges de l'huile sur le pH de la mayonnaise préparée à base de l'huile

Essais	Différentes Formules de la mayonnaise en termes de la composition en huile	PH	
Témoin	Mayonnaise avec 25% de l'huile du colza non biologique	3.32	
Echantillon A	Mayonnaise avec 25% de l'huile du colza biologique	2.94	
Echantillon B	Mayonnaise avec 22.5% de l'huile du colza biologique et	2.5% de l'huile de chanvre biologique	2.95
Echantillon C		2.5% de l'huile de pépins de courge biologique	2.91
Echantillon D		2.5% de l'huile d'olive vierge extra biologique	2.94
Echantillon E		5% de l'huile chanvre biologique	2.92
Echantillon F	Mayonnaise avec 20% de l'huile de colza biologique et	5% de l'huile de pépins de courge biologique	2.97
Echantillon G		5% de l'huile d'olive vierge extra biologique	2.94

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Le tableau 9 visible en dessus permet de mettre en évidence l'évolution du pH qui se produit lors de la variation de l'huile et les mix d'huiles utilisées.

En théorie, le pH cible de la mayonnaise qu'on cherche à développer doit être égal à 3.5. L'aspect biologique de l'huile a cependant une influence non négligeable sur la mesure de celui-ci. En effet, le pH de la mayonnaise en utilisant de l'huile raffinée non biologique sera différent en utilisant de l'huile vierge biologique (lorsque l'huile est raffinée, le pH de la mayonnaise est plus important par rapport à celle produite à base d'une huile vierge biologique). Ainsi, on n'a pas pu déterminer à l'aide de ce tableau quel type de l'huile à utiliser car les pH de tous les échantillons se rapprochent entre eux néanmoins, le type de l'huile ajouté n'influence pas d'une manière significative le pH final du produit. Pour pouvoir atteindre le pH cible, il faut optimiser d'autres paramètres qui agissent sur le pH ou bien d'ajouter un correcteur d'acidité dans la formule.

IV. Analyse sensoriel du produit Yogi

a. *Etablissement du profil sensoriel de chaque essais de la sauce Yogi*

Dans le but de déterminer la formule de la sauce la plus adapté pour Algama à partir de 7 versions différentes du produit substitué en matières grasses, une analyse sensorielle de ces produits a été effectuée au laboratoire d'Agoranov par un panel interne constitué de 9 membres d'Algama, naïfs et initiés au vocabulaire employé dans le test 15 minutes avant la dégustation. Le visuel, la composition en ingrédients et en nutriments, les allégations, les conditions de conservation et les informations économiques relatives à chaque produit sont présentés en *Annexe 5*.

Le protocole, standardisé, a consisté à homogénéiser par mélange succinct chaque sauce avant d'en introduire 20 g dans un pot transparent codé et couverclé, en le maintenant à $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ avant dégustation, puis en le sortant à température ambiante environ 5 minutes avant l'analyse afin que chaque produit atteigne une température de $10^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ à cœur [17].

Les produits ont été dégustés en aveugle et en monadique séquentiel, c'est-à-dire en étant codifiés de manière aléatoire avec un nombre à trois chiffres et évalués les uns après les autres. Ils ont ainsi été analysés par la méthode du profil sensoriel grâce à l'évaluation de 21 descripteurs notés sur une échelle croissante de 0 à 5, la modalité 0 correspondant à « nul(le), absence » et 5 à « très marqué(e), forte présence », selon la norme ISO 13299:2003 [18]. La grille d'évaluation est présentée en *Annexe 1*.

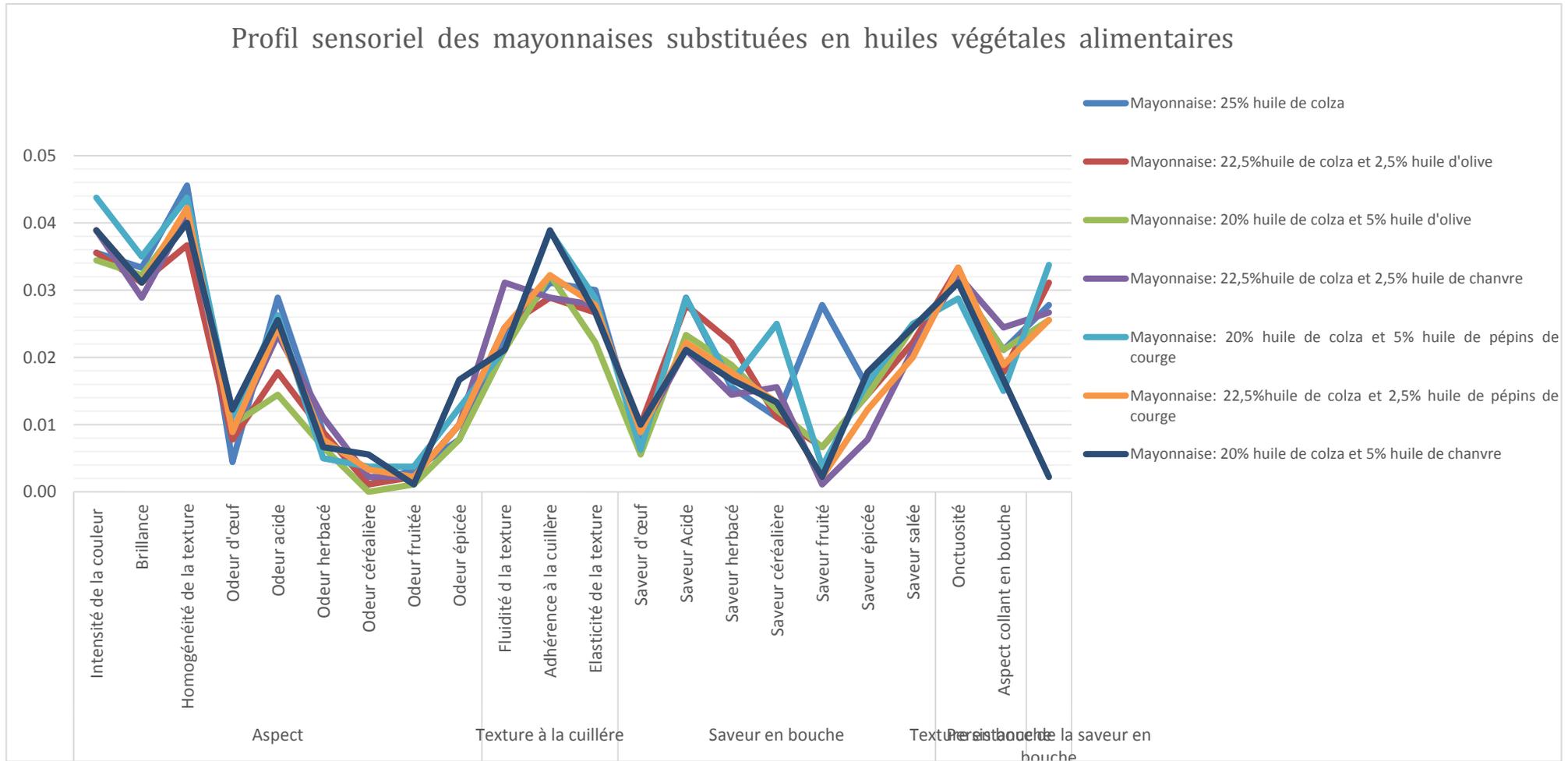


Figure 23 : Profils sensoriels de 7 mayonnaises substituées en matières grasses. Les moyennes et écarts-types des échantillons pour chaque descripteur sont précisés en Annexe 4

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

D'après les résultats des profils sensoriels, il peut être remarqué dans un premier temps que la composition en huile des mayonnaises ne possède pas une influence significative sur presque la totalité des descripteurs sensoriels. En effet, la saveur acide et céréalière est très remarquée au niveau de la formule contenant 5% de l'huile de pépins de courge et la saveur fruité et l'odeur acide sont très remarquées au niveau de la formule contenant 25% de l'huile de colza. En revanche, la texture collante en bouche de la mayonnaise formulée pour 2.5% de l'huile de chanvre est fortement perceptible par rapport aux autres formules.

D'après le graphique on peut remarquer aussi que la texture au visuel et plus homogène et moins élastique chez la mayonnaise produite pour 25% de l'huile de colza et encore plus fluide pour la mayonnaise formulée pour 2.5% de l'huile de chanvre.

Par ailleurs, il est aussi intéressant de dire que, globalement, la mayonnaise contenant 5% de l'huile de chanvre ou de pépins de courge ou bien de l'huile d'olive sont ceux dont la texture est la plus dissemblable aux autres : elles sont en effet plus fluide mais aussi moins adhérente et nappante à la cuillère, et a été jugée par la majorité des panelistes comme « élastique » et « gluante » à la cuillère comme en bouche. De surcroît, une odeur d'œuf semblable à celle des mayonnaises en contenant a été perçue par les panelistes alors que la formule de cette sauce n'en possède pas.

D'un point de vue hédonique, parmi les panelistes, 80% environ ont préféré la sauce contenant 25% de l'huile de colza pour sa typicité de saveur (Saveur fruité) et d'aspect (couleur jaune et brillante). Néanmoins ils ont considéré cette sauce comme la plus appétissante en raison d'une texture très homogène et d'une couleur jaune intermédiaire entre la couleur jaune claire et jaune intense, semblant « naturelle ». La totalité du panel l'a de ce fait jugée comme « la plus bonne sauce parmi les 7 ».

V. Mise en place de panels

L'élaboration des prototypes alimentaires implique généralement la mise en place de panels. Ceux-ci peuvent servir divers objectifs comme aider à établir le profil sensoriel d'un produit, ou encore mettre en lumière un prototype par rapport à un autre (1) (2). Compte tenu des moyens et du contexte, certains panels mis en place ne furent effectués que sur un nombre relativement restreint de participants, en partie membres de l'équipe d'Algama et du centre d'Agoranov.

L'un de ces tests, réalisé afin de déterminer quel(s) type ou mélange d'huile étai(en)t intéressant(s) à retenir pour la formulation de la mayonnaise « Yogi », fut mené la fin du mois de mai.

1. Protocole

a. Informations générales

Objectif du test : Classement des produits testés selon l'ordre de préférence comme indiquer sur la grille d'évaluation du test (Annexe 2).

Date : 28 mai 2015

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Projet : Sauce froide de type mayonnaise

Lieu : Laboratoire d'Algama (76bis boulevard Raspail, 75006 PARIS)

b. *Description du panel*

Type de panel (interne/externe/mixte) : Panel interne

Qualité des panélistes (naïf/expert) : Naïfs

Nombre de panélistes : 7

c. *Description du test*

N° du test	Type de test	Norme associée	Critères mesurés
1	Epreuve de classement	ISO 8587 (3)	Hédonique

2. Déroulement de séance

Le test se déroule dans une salle, la plus isolée possible de l'environnement extérieur (Sons, personnes, odeurs, couleurs, etc.).Après explication des consignes, le sujet se voit présenter simultanément quatre échantillons que celui-ci va devoir classer (après dégustation) dans l'ordre de ses préférences. Il a la possibilité de déguster les échantillons dans l'ordre qu'il souhaite et autant de fois qu'il juge nécessaire pour établir un classement.

Chaque échantillon est ordonné de la même façon, en quantité et à température égale. Ils sont présentés par un code à 3 chiffres.

Les panélistes ne sont pas entraînés à l'analyse sensorielle.

3. Résultats obtenus/ interprétations

« Nombre de panelistes » $b=7$

« Nombre de produits testés » $t=7$

« Nombre de produits testés par chaque paneliste » $K=4$

Tableau 10 : Classements obtenues pour chaque prototype

	A=772	B=115	C=260	D=212	E=788	F=967	G=823
Panéliste1	2	1	4	3			
Panéliste2				2	1	3	4
Panéliste3		3	1	2	4		
Panéliste4	1				3	2	4
Panéliste5	1	2	3		4		
Panéliste6		2		1		3	4
Panéliste7	2		1			4	3

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Pour les différents tests, on considérera que le risque α (probabilité de conclure qu'il existe une différence pour le panéliste alors qu'il n'en existe pas) est égal à 5%.

a. *Test de Durbin*

$$T_2 = \frac{T_1 / (t - 1)}{(bk - b - T_1) / (bk - b - t + 1)}$$

Avec :

t : Nombre total de produits testés.

K : Nombre de produits testés par chaque panéliste.

b : Nombre de panélistes participants et

$$T_1 = \frac{t - 1}{A - C} \sum_{j=1}^t (R_j^2 - rC)$$

Avec :

r : Nombre de fois que chaque produit apparaît.

R_j : Somme des rangs de chaque produit i dont j correspond à un des panélistes (pour A, i=1 et R_j=2+1+1+2 donc R_j=6) et

$$A = \sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^j R(X_{ij})^2 \quad \text{et} \quad C = \frac{1}{4}bk(k+1)^2$$

$$\text{et} \quad R_j = \sum_{i=1}^b R(X_{ij})$$

▪ *Résultats :*

	A	B	C	D	E	F	G
R _j	6	8	9	8	12	12	15
R _j ²	36	64	81	64	144	144	225

On a t=7, k=4, b=7 et r=4 , en remplaçant ces indices dans les formules A,C, et T1 on aura les valeurs suivantes : C=175, A=210 et T1=-710,057143

On remplaçant T1, t, b et k par leurs valeurs dans T2 on aura le résultat suivant :

$$T_2 = -2,42818619$$

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Pour $\alpha=0.05$, la région critique est donnée par

$$T_2 > F_{\alpha, k-1, bk-b-t+1}$$

Dont $F_{\alpha, k-1, bk-b-t+1}$ est donnée par la loi de Fisher-Snedecor, avec :

$k-1=3$: degré de liberté du numérateur.

$Bk-b-t+1=15$: degré de liberté du dénominateur

- *Interprétation du test :*

H_0 : Les produits sont également préférés.

H_1 : Les produits sont inégalement préférés.

Selon la table de loi de Fisher $F_{0.05, 3, 15} = 3.29$, donc :

$$T_2 < F_{0.05, 3, 15}$$

Avec $T_2 < F_{0.05, 3, 15}$ on peut conclure que les sept mayonnaises sont également préférés. Pour cette raison, il n'est pas possible en termes de préférence de choisir un produit parmi les sept et de le juger idéal.

- *Analyse critique de la démarche*

Il y a beaucoup à dire sur les conditions dans lesquelles s'est déroulé le test. Tout d'abord, il faut noter que les résultats du test sont jugés non significatifs à cause de nombre de panélistes qui est de l'ordre de 7. Dans les conditions normales il aurait été plus intéressant de faire passer 60 panélistes au minimum.

Les panelistes se voyaient présenter des quantités de la mayonnaise (environ 5g) ; cependant, il arrivait qu'elles ne soient pas toutes également proportionnées, ce qui pouvait influencer dans une moindre mesure le paneliste. En ce qui concerne les conditions environnementales dans lesquelles s'est déroulé le test, elles sont plus que discutables.

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Tableau 11: Evaluation des conditions expérimentales du test

Critère	Laboratoire Algama
SONORE	Moyennement satisfaisant : Pollution sonore de Paris
OLFACTIF	
PIECE	Moyennement satisfaisant : Pièce chargée (matériel de laboratoire, bureaux, affiches). Eclairage correct, murs blanc.
PLAN DE TRAVAIL	Moyennement satisfaisant : Paillasse de laboratoire. Dispositif et support plastique différents (4 plans de travail). Certains étaient face à un mur (sensation d'isolement) d'autres face à un bureau. Les supports plastiques étaient de blancs, rouge, verts et rose (influence sur la perception visuelle du produit).
ACCESOIRES	Satisfaisant : Un verre d'eau, des cuillères, des frites pour la dégustation et une fiche à remplir (voir en Annexe 2).
CONTEXTE	Pré-test : Explication succincte de l'activité d'Algama (Objectifs, volonté de démocratiser les micro-algues dans l'alimentation). Explication orale des consignes Test : Le responsable du test reste à proximité du paneliste, silencieux (si besoin apporte son aide si cela est jugé utile) Post-test : Présentation des différents échantillons qu'il a testé. Discussion succincte sur son appréciation générale des échantillons « Mayonnaise » Rappel consigne « ne pas divulgué d'informations sur le contenu du test à d'éventuels futurs paneliste durant la durée des tests ».

Dans ces conditions, plusieurs facteurs jouent sur l'expérience gustative, tel que le parfum porté par le paneliste, sa consommation de tabac, café et autre aliments plus ou moins récente.

VI. Sélection en termes du coût de revient de chaque mayonnaise formulée

D'après les résultats obtenus après chaque analyse effectuée sur le produit fini formulé avec des mix d'huiles différents, on constate dans un premier temps qu'il est difficile de choisir une formule d'huiles parmi les sept formules proposées et de la considérer comme la plus idéale pour l'incorporer dans la recette Algama. Malgré cette difficulté, et même si toutes les mélanges d'huiles influent approximativement de la même manière le produit fini, on peut conclure selon les données du profil sensoriel de chaque sauce que le produit formulé avec 25% huile de colza biologique est le plus proche à la recette Algama en termes de cibles organoleptiques recherchées, et pour s'assurer de ce résultat pertinent et que l'on peut pas considérer comme résultat final à cause des données physicochimiques et allégations nutritionnelles qui sont presque les mêmes, on a pensé à faire une sélection selon le coût de revient de chaque sauce, et le tableau ci-dessous montre quelques informations économiques associées à chaque sauce substituée en matières grasses.

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Tableau 12 : Informations économiques sur la mayonnaise en substituant la matières grasses utilisée

	Formule théorique	Nom commercial	Marque de référence	Proportions	Prix au kg ou au L	Prix au kg rapporté à la formule
Mayonnaise A	Huile de colza	Huile de colza	Biopress	25,00%	7,75 €	1,94 €
	Coût de 100g de la mayonnaise A					
Mayonnaise B	Huile de colza	Huile de colza	Biopress	20,00%	7,75 €	1,55 €
	Huile de pépins de courge	Huile de pépins de courge	Vigean	5,00%	31,60 €	1,58 €
	Coût de 100g de la mayonnaise B					
Mayonnaise C	Huile de colza	Huile de colza	Biopress	20,00%	7,75 €	1,55 €
	Huile d'olive	Huile d'olive extra vierge	Vigean	5,00%	13,50 €	0,68 €
	Coût de 100g de la mayonnaise C					
Mayonnaise D	Huile de colza	Huile de colza	Biopress	20,00%	7,75 €	1,55 €
	Huile de chanvre	Huile vierge de chanvre	Vigean	5,00%	39,96 €	2,00 €
	Coût de 100g de la mayonnaise D					
Mayonnaise E	Huile de colza	Huile de colza	Biopress	22,50%	7,75 €	1,74 €
	Huile de chanvre	Huile vierge de chanvre	Vigean	2,50%	39,96 €	1,00 €
	Coût de 100g de la mayonnaise E					
Mayonnaise F	Huile de colza	Huile de colza	Biopress	22,50%	7,75 €	1,74 €
	Huile d'olive	Huile d'olive extra vierge	Vigean	2,50%	13,50 €	0,34 €
	Coût de 100g de la mayonnaise F					
Mayonnaise G	Huile de colza	Huile de colza	Biopress	22,50%	7,75 €	1,74 €
	Huile de pépins de courge	Huile de pépins de courge	Vigean	2,50%	39,96 €	1,00 €
	Coût de 100g de la mayonnaise G					

Selon ce tableau, on constate que l'huile de colza est l'huile la plus économe sur le marché, et que la formule préparée avec 25% de l'huile de colza est la sauce la moins cher, suivie par celle formulée avec 22.5% de l'huile de colza et 2.5% de l'huile d'olive, ainsi la sauce contenant 20% du colza et 5% huile de chanvre est considérée comme la plus cher sauce parmi les sauces proposées.

Pour la recette Algama, et en se basant à la fois sur les résultats des analyses sensoriels et physicochimiques, ainsi que sur l'étude économique faite sur le produit fini pour les différentes formules en huiles, on conclue que la sauce formulée avec 25% de l'huile de colza biologique c'est elle qui réponds aux allégations nutritionnelles et de santé attendus, elle présente aussi les cibles organoleptiques fixées à partir de l'étude qu'on a fait sur les

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

différentes mayonnaises du commerce, et pour des raisons économiques cette sauce est la moins cher pour la société.

- **Résultat de cette étude :**

Recette Algama : Mayonnaise formulée avec 25% de l'huile de colza biologique

F. Taches annexes

I. Gestion de laboratoire

Durant les 4 mois que j'ai passé au sein d'Algama, j'ai pu participer, de mon initiative et en collaboration avec Thomas FELICE, à son développement et sa gestion par :

- L'établissement des devis d'analyses à effectuer en contactant les laboratoires d'analyses concernés (Voir en Annexe 6).
- La mise en place de fiches de suivi des denrées alimentaires.
- La rédaction de protocoles expérimentaux.
- La participation à l'élaboration du Plan de Maîtrise Sanitaire.
- La réorganisation du stockage du matériel de laboratoire et des denrées alimentaires.

II. Springwave, la boisson

Algama c'est avant tout Springwave pour le moment, un nom mais également une boisson qui est va être lancée sur le marché d'ici quelques mois. Malgré le fait que le produit soit formulé, j'ai pu me charger d'étudier les propriétés nutritionnelles de la spiruline à partir de trois fiches techniques différentes en termes de compositions en micro et en macronutriments à fin de déterminer les allégations de santé autorisées selon le règlement (UE) N°432/2012 la commission du 16 Mai 2012

III. Autres

La participation à des journées d'informations organisées par le groupe Vitagora⁵, ou encore au recrutement de stagiaires ont ponctué mon séjour chez Algama. Cela m'a permis de me sentir intégré au sein de l'équipe et non pas d'être simplement un stagiaire qui serait là pour réaliser une mission sur 4 mois.

⁵ Vitagora est un pôle de compétitivité qui a pour but d'aider ces membres, acteurs de la filière agroalimentaire en île de France, bourgogne et Franche-Comté, à monter des projets innovant

Conclusion

L'objectif de mon stage était de participer au développement d'un nouveau produit alimentaire et de me charger d'optimiser le profil nutritionnel du produit en termes de matières grasses, jusqu'à la validation de la formule proposée à l'échelle laboratoire. Cet objectif a été atteint, mais on n'est pas pu y arriver à la validation de la formule à l'échelle laboratoire. Cependant, si l'on considère le fait qu'il s'agit d'un des premiers développements de produit mené par la société Algama, il est légitime de dire qu'atteindre un transfert industriel en 4 mois était très compliqué ; d'autant que le premier produit d'Algama, Springwave, était encore au centre de toutes les attentions. Découvrir les détails et contraintes liées au développement d'un produit alimentaire en même temps que l'unité R&D fut une expérience très enrichissante. La mayonnaise en elle-même, malgré sa composition relativement simple, représente un certain challenge, la stabilisation du produit au cours du temps étant une problématique complexe à maîtriser. L'utilisation de la farine des micro algues ne facilite pas la tâche en rendant l'aspect de la mayonnaise un peu farineux, ce qui fait appel à une étape d'optimisation ultérieure pour assurer l'élaboration d'une mayonnaise dont l'aspect et la texture en bouche soient homogène, lisse et sans aucun déphasage visible.

Toutes ces conditions m'ont permis de prendre pleinement conscience des multiples points clés pour la maîtrise du développement d'un produit alimentaire (benchmarking, réglementation, sourcing, tests microbiologiques etc...). J'ai également conscience qu'il existe des étapes importantes qui n'ont pas été abordées durant mon stage, faute de moyens et/ou de temps, qu'elles soient en lien directe avec l'unité de R&D (analyses de profil lipidique du produit, suivie de l'état d'oxydation du produit au cours du temps, réalisations des panels sensoriels à grand échelle, Analyse de la stabilité physique de l'émulsion au cours du temps etc.) ou en collaboration avec d'autres services de l'entreprise (Etiquetage etc.).

Ce stage au sein de l'équipe d'Algama m'a donné envie de continuer à travailler dans la formulation de produit alimentaire. Travailler pour une jeune entreprise comme celle-ci a également été un plaisir que je serai prête à renouveler, la recherche de l'innovation ainsi que le sentiment de participer activement au développement d'une entreprise étant des éléments moteurs pour ma part.

Bibliographie

1. **Félix, DEPLEDT.** Evaluation sensorielle. *Manuel méthodologique*. s.l. : Lavoisier, 2009.
2. **Anne-Marie, PENSÉ-LHÉRITIER.** Evaluation sensorielle et formulation - Méthodes. <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/principes-de-formulation-42489210/evaluation-sensorielle-et-formulation-j2243/methodes-j2243niv10002.html>. [En ligne] 10 12 2014.
3. Analyse sensorielle - Méthodologie - Classement par rangs. <http://www.boutique.afnor.org/norme/nf-iso-8587/analyse-sensorielle-methodologie-classement-par-rangs/article/635200/fa101855>. [En ligne]
4. **JJ.** lipides. *le figaro.fr*. [En ligne] [Citation : 7 mai 2015.] <http://sante.lefigaro.fr/mieux-etre/nutrition-nutriments/lipides/quest-ce-que-cest>.
5. **fskjlqm.** *fjdskl*. 2014.
6. **Centre d'Allergologie Bordeaux Nord.** Allergie Alimentaire. *Centre d'Allergologie Bordeaux Nord*. [Online] [Cited: 2015 йил 09-03.] <http://www.bordeaux-allergie.com/article11.html>.
7. **DUBUISSON C., LA VIEILLE S. et MARTIN A.** *Allergies alimentaires : état des lieux et propositions d'orientations*. s.l. : AFSSA, 2002.
8. *Epidémiologie de l'allergie alimentaire alimentaire et prévalence relative des trophallergènes en France - 41ème Journée annuelle de nutrition et de diététique.* **D., MONERET-VAUTRIN.** Paris : s.n., 2001.
9. **Cercle d'Investigations Cliniques et Biologiques en Allergologie Alimentaire (CICBAA).** Fréquence des allergènes responsables d'allergie chez les adultes. *Cercle d'Investigations Cliniques et Biologiques en Allergologie Alimentaire*. [Online] 2005 йил 02. [Cited: 2015 йил 09-03.] http://www.cicbaa.com/pages_fr/donnees/allergenes_adultes.html.
10. **ROSTROM A., MURRAY J.A. et KAGNOFF M.F.** American Gastroenterological Associate (AGA) Institute technical review on the diagnosis and management of celiac disease. *Gastroenterology*. 2006 йил, Vol. 131.
11. **Y., PLANCQUEEL.** *Etude sociologique des végétariens en France*. 2008.
12. **C., STAHLER.** How many adults are vegetarian? *Vegetarian Journal*. 2006 йил, Vol. 4.
13. **CODEX ALIMENTARIUS.** Norme Codex STAN 168-1969 pour la mayonnaise.
14. **Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt.** Sous-classe 10.84Z. Fabrication de condiments et assaisonnements. *Panorama des industries agroalimentaires*. 2014 йил.

15. **CIMSCEE (Comité des Industries des Mayonnaises et des Sauces Condimentaires de la Communauté Européenne)**. Code européen de bonnes pratiques relatif à la mayonnaise. 1991 йил.
16. **Fédération des Industries des Sauces Condimentaires, de la Moutarde et des Fruits et légumes préparés à l'huile et au vinaigre de l'Union Européenne**. Code de bonnes pratiques. 2006 йил.
17. Consommation : bataille autour de la mayonnaise aux Etats-Unis. *Orange*. [Online] 2014 йил 12-11. [Cited: 2015 йил 09-03.] http://finances.orange.fr/actualites/infos-economiques/consommation-bataille-autour-de-la-mayonnaise-aux-etats-unis-newsweb-finances_CNT0000005Khuv.html.
18. **FACQUET, C.** Les sauces font toujours autant recette. *LSA Commerce & Consommation*. [Online] 2012 йил 24-05. [Cited: 2015 йил 16-02.] <http://www.lsa-conso.fr/les-sauces-font-toujours-autant-recette,130504>.
19. **Tribune, La.** Gaëtan Gohin, Mathieu Gonçalves, Alwyn Severien. *La Tribune - Le Prix Jeune Entrepreneur*. [Online] [Cited: 2015 йил 18-02.] <http://pltje.latribune.fr/candidat/gohin-gaetan-springwave/>.
20. **Viande.info.** L'impact de la viande. *Viande.info - L'impact de la viande sur les humains, les animaux et l'environnement*. [Online] [Cited: 2015 йил 05-03.] <http://www.viande.info/>.
21. **DOUMEIX, O.** *Opérations unitaires en Génie Biologique - Les émulsions*. s.l. : Biologie technique, 2011.
22. **SELL H.M., OLSEN A.G. et KREMERS H.E.** Lecitho-protein, the emulsifying ingredient in egg yolk. *Industrial and Engineering Chemistry*. 1935 йил, Vol. 27, 10.
23. **BROCHETTE, P.** Émulsification Élaboration et étude des émulsions. *Techniques de l'Ingénieur*. [Online] 2013 йил 10-12. [Cited: 2015 йил 09-03.] <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/biomedical-pharma-th15/mise-en-forme-des-medicaments-42611210/emulsification-j2150/>.
24. **SCHER, J.** Rhéologie, texture et texturation des produits alimentaires. *Techniques de l'ingénieur*. [Online] 2006 йил 10-12. [Cited: 2015 йил 06-03.] <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/operations-unitaires-du-genie-industriel-alimentaire-42430210/rheologie-texture-et-texturation-des-produits-alimentaires-f3300/>.
25. **Algama France** . Elaboration profil sensoriel_ISO 11035 (1995-07-01). *Sensoriel*. 2015.
26. **Algama France**. Méthode d'évaluation sensoriel. *Sensoriel*.
27. **Rana**. Thèse-rana.pdf. [En ligne] [Citation : 07 03 2015.]
28. **BAUDET, Cécile**. *En forme grâce aux huiles végétales!*
29. **Labouret, Pascal**. Les huiles alimentaires. <http://patismania.pagesperso-orange.fr/techno/huilesaliment.pdf>. [En ligne] 2005. [Citation : 016 03 2015.]

Annexes

Annexe 1 : Grille d'évaluation des 7 sauces dégustées par analyse sensorielle

Annexe 2 : Grille d'évaluation de 4 sauces par un test de préférence

Annexe 3 : Cahier des charges des huiles alimentaires

Annexe 4: moyenne et écart-type des 7 sauces substituées en matières grasses pour les 22 descripteurs étudiés

Annexe 5 : la composition en ingrédients et en nutriments, les allégations, les conditions de conservation et les informations économiques relatives à chaque produit

Annexe 6 : Devis d'analyses du produit Algama

Liste des abréviations

ANOVA	Analyse de la variance
CA	Chiffre d'affaires
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
CREAT	Centre de Recherche Ethique Aliment Terre
EFSA	<i>European Food Safety Authority</i>
MNHM	Muséum National d'Histoire Naturelle
OGM.....	Organisme Génétiquement Modifié
ONU	Organisation internationale des Nations Unies
R&D	Recherche et Développement
SIAL	Salon International de l'Alimentation
VNR	Valeurs Nutritionnelles de Référence

Introduction

« Une population mondiale de 9,6 milliards d'individus », telle est l'estimation prévisionnelle alarmante de l'Organisation internationale des Nations Unies (ONU) pour 2050 [1]. Pour subvenir, conséquemment, à la demande alimentaire mondiale, comment alors assurer à toute l'humanité une alimentation suffisante, saine et durable ?

Une des solutions potentielles pour esquisser l'avenir de notre alimentation c'est l'exploitation des ressources marines telles que les microalgues. Ces super-aliments, dont font partie la spiruline et la chlorelle, ont en effet une richesse nutritionnelle si exceptionnelle que certains spécialistes, comme Philippe STEFANINI (Docteur en Anthropologie Biologique et Explorateur Scientifique (CNRS/CREAT)), voient en eux une planche de salut face aux problématiques actuelles et futures de dénutrition et de déséquilibre alimentaire. En outre, non seulement leur culture occupe une surface 300 fois moins importante que celle permettant l'obtention de protéines animales, mais elle consomme également 50 fois moins d'énergie et d'eau [3].

C'est le pari de la valorisation des ressources phyto-marines par le biais d'une voie non nutraceutique et de la démocratisation de leur consommation grand public qu'a choisi d'effectuer la start-up biotechnologique Algama, pionnière dans ce domaine. Souhaitant allier éthique, innovation, plaisir gustatif, nutrition et fonctionnalité, elle aspire ainsi à l'heure actuelle à s'imposer en tant que leader en B to C sur le marché des denrées alimentaires fonctionnelles développées à partir de microalgues.

La sauce « *Yogi* » est l'une d'entre elles.

Le marché des sauces est régi par deux tendances transversales : le plaisir et la naturalité [5]. En intégrant ces deux notions dans sa stratégie d'innovation, la pénétration de ce marché semble donc plus que prometteuse pour Algama. La sauce froide « *Yogi* » représente ainsi le fruit d'un partenariat initié en février 2015 entre un grand groupe industriel de B to B (Roquette Frères), et Algama.

Dans le cadre de ma mission au sein de cette start-up, une présentation de ses acteurs, ses objectifs et ses projets stratégiques sont dans un premier temps effectuée. Par la suite, le projet « *Yogi* » est abordé à travers différents angles. Sa définition et son positionnement marketing sont premièrement exposés, puis suivis par une veille relative à son environnement réglementaire, commercial et sensoriel. La formulation et le développement de la sauce à l'échelle laboratoire est ensuite présenté et associé à leurs problématiques respectives. Puis, pour déterminer les allégations nutritionnelles et de santé relative au produit en termes de matières grasses en se basant sur les normes de la réglementation européenne, une optimisation de la phase lipidique ainsi que du profil nutritionnel du produit sont effectuées en réalisant des panels sensoriels.

A. Contexte de stage

I. Contexte alimentaire

Ces 10 dernières années, le "BIO" c'est beaucoup développé et n'est plus l'apanage des écologistes. Quoi que l'on puisse en dire, la population occidentale tend à faire plus attention à son alimentation. Une vraie prise de conscience est en train de s'opérer quant à la nécessité de modifier nos habitudes de consommation et de production. Cela dit, le chemin est encore long et difficile avant d'espérer développer une agriculture et une consommation durable, plus en accord avec les réels besoins du corps. La Chlorelle, une micro-algue déjà consommée au 16ème siècle par les Aztèques, fait partie de ces solutions pour l'avenir. A plus d'un titre, elle offre une alternative à la consommation de produits carnés. Utilisée afin de lutter contre la malnutrition des enfants dans plusieurs pays en développement, la forte proportion en protéines (60-70%) de la Chlorelle est un réel atout. La culture de cette micro-algue se veut responsable par nature.

Il est à parier que dans un futur proche, la chlorelle, tout comme d'autres solutions, permettra de développer une agriculture et une consommation plus respectueuse de notre environnement et de nous même.

II. Algama, pionnière de la valorisation et de la démocratisation des micro-algues dans les produits alimentaires

1. Les acteurs stratégiques d'Algama

a. *L'équipe projet*

Fondée en 2013 par trois amis d'enfance, la société Algama est une start-up de biotechnologies spécialisée en agroalimentaire. Elle est en outre pionnière dans sa volonté de valoriser et de démocratiser la consommation grand public de microalgues en les incorporant dans des matrices alimentaires classiques.

A sa tête, Alwyn SEVERIEN, Gaëtan GOHIN et Mathieu GONÇALVES ont recruté, entre 2013 et 2015, un Chargé de Développement (Hugo LERCHER), une Responsable Scientifique (Samira ACHIR) ainsi qu'un Responsable R&D (Thomas FELICE) et un Chef de Projet R&D (Maxime PECQUET) pour mener à bien les projets de l'entreprise et bénéficier d'une expertise technique scientifique pluridisciplinaire. Une graphiste designer (Pauline LERDON) a également rejoint l'équipe en 2014, afin de créer un univers propre à Algama, vecteur d'une bonne communication envers ses clients et investisseurs.



Alwyn Severien
Président Directeur Général



Gaëtan Gohin
Directeur Financier



Mathieu Gonçalves
Directeur de la technologie



Figure 1 : Les acteurs stratégiques d'ALGAMA – L'équipe projet

b. *Le comité stratégique*

« L'art de la réussite consiste à savoir s'entourer des meilleurs », déclarait J.F. KENNEDY. Pour mettre toutes les chances de leur côté, les trois co-fondateurs d'Algama se sont très rapidement dotés d'un comité scientifique et stratégique constitué de six « pointures » du domaine agroalimentaire et de la communication, à savoir :



Figure 2 : Les acteurs stratégiques d'ALGAMA - Le comité scientifique et stratégique (Agroalimentaire et communication)

Convaincus par le potentiel d'Algama et riches de leurs expériences, tous contribuent pleinement au bon développement des innovations pilotées par la start-up grâce à leurs conseils avisés et leur forte implication dans la démarche mise en œuvre pour tenir les objectifs de l'entreprise. De surcroît, la stratégie globale d'Algama est mentorée par M. Jacques VINCENT (Ex-Vice PDG de Danone), dans le cadre du programme du fond d'amorçage « Petit Poucet », et par M. Mathias MONRIBOT, son Président.



Figure 3 : Les acteurs stratégiques d'ALGAMA - Le comité stratégique (entreprise)

2. Les objectifs stratégiques d'Algama

Avec une valeur de 0,6 à 1 milliard d'euros pour un volume inférieur à 10 000 tonnes par an, le marché mondial des microalgues peut encore être considéré comme de niche et relativement émergent [6]. Car si les premiers usages de microalgues par les hommes datent de l'époque Aztèque, où elles étaient destinées à la consommation en raison de leurs

propriétés nutritionnelles exceptionnelles, leur exploitation industrielle n'a pourtant débuté qu'à la fin du XX^{ème} siècle avec l'aquaculture marine, et pour de tous autres débouchés. La raison de leur délaissement pour la filière alimentaire est en effet assez simple : leur flaveur caractéristique (salée, amère et « vaseuse »), l'intensité de leur couleur (émeraude ou jaune d'or pour les deux principales microalgues autorisées en alimentation humaine, à savoir la spiruline et la chlorelle) et leur texture pâteuse les rendent difficilement attrayantes et consommables en tant que telles. Néanmoins leur fort potentiel dans de nombreux autres domaines, identifié dès les années 1970, a rapidement mené à leur déploiement dans des marchés à courts et longs termes aussi variés que la pharmacie, la nutraceutique, la cosmétique, les biocarburants, la dépollution et la chimie fine [7]. De multiples acteurs ont ainsi vu le jour sur tous les maillons de la chaîne de valeur de ces microorganismes, tant au niveau de leur culture que de leur récolte, l'extraction de leurs composés d'intérêt et leur transformation.

Partant du fait que les technologies actuelles entrouvrent la possibilité d'une production éco-responsable et durable de biomasse phyto-marine à grande échelle, haut rendement et faible coût et qu'il est actuellement possible de contrôler leur synthèse de substances actives et leurs caractéristiques organoleptiques, Algama a souhaité sortir des sentiers battus du classique marché des compléments alimentaires. Ses objectifs principaux : valoriser et démocratiser la consommation grand public de microalgues et devenir le leader mondial du développement de denrées alimentaires fonctionnelles formulées à partir de ces microorganismes en B to C

a. *Valoriser et démocratiser la consommation grand public de microalgues*

« Aujourd'hui, 2% des Français mangent régulièrement de la spiruline. (...) Le marché est en expansion » indique E. GORODETZSKY, producteur et administrateur de la Fédération des spiruliniers de France [8]. Pourtant, dans l'optique d'envisager pour les années à venir une alimentation mondiale suffisante, saine et durable, ce chiffre est à l'heure actuelle bien trop faible.

Pour cette raison, Algama a pris le défi d'engager une véritable démarche communicationnelle, ancrée dans une stratégie de marketing élaborée, pour sensibiliser les consommateurs aux problématiques relatives à l'exploitation des ressources planétaires et valoriser le potentiel singulier qu'offrent les microalgues à ce sujet.

b. *Devenir le leader mondial du développement de denrées alimentaires fonctionnelles formulées à partir de micro algues en B to C*

Dans le domaine agroalimentaire, les microalgues sont actuellement intégrées de manière forte au marché des compléments alimentaires. Ainsi, leur consommation s'apparente le plus souvent à des cures de 1 à 3 mois, impliquant une prise journalière d'une dose comprise entre 4 et 10 g pour l'obtention d'un bénéfice sur la santé. Celui-ci est par ailleurs variable selon la souche considérée (contribution à la réduction de la fatigue, à la protection des cellules contre le stress oxydatif, *etc.*... en fonction de la richesse en nutriments de la microalgue). Or, en raison des caractéristiques organoleptiques peu agréables de ces microorganismes, les bienfaits sur la santé qu'ils induisent s'obtiennent au détriment du plaisir lié à leur consommation. « Et si

l'ingestion de microalgues dans des quantités suffisantes pour bénéficier de leurs excellentes propriétés nutritionnelles pouvait être rendue agréable ? ». C'est sur cette question que s'est fondée l'essence-même de l'activité d'Algama.

Désireuse de proposer aux consommateurs des produits savoureux, sains, innovants mais les plus naturels possibles, cette start-up a engagé le pari d'incorporer des microalgues dans des matrices alimentaires classiques et de les commercialiser en B to C à des cibles de marché spécifiques mais variées, en lien avec son premier objectif. Pionnière dans la volonté de développer des aliments fonctionnels à partir de cette matière première, elle cherche ainsi à affirmer son leadership en s'insérant dans le secteur très concurrentiel des aliments santé, dont le marché devrait atteindre les 5,2 milliards d'euros en 2016 (progression de 3% par an entre 2014 et 2016) [9].



Figure 4 : Du complément alimentaire à l'aliment fonctionnel

3. Un projet ambitieux reconnu dans le domaine agroalimentaire et source d'innovations

a. *Un projet incubé dans la capitale française et reconnu dans le domaine agroalimentaire*

Riche de son potentiel innovant, le projet d'Algama a remporté en 2013 le concours national de création d'entreprise du Petit Poucet. Ainsi, depuis cette date, le siège social de la start-up est hébergé à Paris par la maison des Petits Poucets, mi-incubateur, mi-fonds d'investissement. Le laboratoire R&D, quant à lui, se situe à Agoranov, l'incubateur de technologies innovantes de la ville de Paris.

Par ailleurs, Algama est membre de deux pôles de compétitivité ayant pour objectif de développer des projets collaboratifs innovants pour l'industrie agroalimentaire : Vitagora (« Goût-Nutrition-Santé ») et Valorial (« L'aliment de demain »). Ainsi, forte de son ancrage dans cet écosystème dynamique et de son positionnement dans le secteur des écotechnologies, Algama fait à l'heure actuelle partie des 60 bâtisseurs de demain du salon « Osons la France, tous visionnaires ».

b. *Springwave, un premier produit Algama primé et prometteur*



Figure 5 : Visuel de la bouteille de Springwave

Premier produit de la start-up, la boisson Springwave a déjà un palmarès notable dans le marché des « aquadrinks ». Avec deux prix internationaux en 2014 (« Grand Prix Boissons non alcoolisées » du Salon International de l'Alimentation (SIAL) et « Best functional drink » du World Beverage Innovation Awards), cette boisson rafraîchissante formulée à base de spiruline semble avoir un avenir prometteur. Pour preuve, le groupe hôtelier Accor a déjà fait confiance à Springwave puisqu'elle sera distribuée dans certains de ses hôtels et spa d'ici le second semestre de l'année 2015.

Son atout : être le parfait témoin du savoir-faire de l'entreprise et de son positionnement unique sur la chaîne de valeur des ressources phyto-marines. En effet, Springwave a été développée à l'aide de la mise en œuvre d'un procédé d'extraction

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

complexe de la spiruline modifiant ses caractéristiques organoleptiques indésirables, issu d'un partenariat mixte entre le CNRS et le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHM). Pour autant, jusqu'en bout de chaîne, cette boisson est également le fruit d'un long travail de marketing entrepris par les 3 co-fondateurs pour transmettre son message et ses valeurs au grand public.

Le résultat : une boisson aux notes d'agrumes, à la couleur bleue soutenue et aux propriétés nutritionnelles vectrices de deux allégations de santé (« Antioxydante » et « Vitalisante ») grâce à la teneur importante en extrait de spiruline du produit (30 mg pour 100 mL, équivalent à 0,3 g d'algue entière) et son apport conséquent en vitamines B2, B12 et magnésium¹ (15% des Valeurs Nutritionnelles de Référence (VNR)).

Avec la boisson innovante Springwave comme figure de proue, Algama compte donc bien développer de nouveaux produits alimentaires fonctionnels formulés à partir de microalgues, pour affirmer son hégémonie dans ce marché à l'expansion prometteuse.

B. Présentation du projet « sauce mayonnaise »

I. Initiation et définition du projet et de ses attentes

1. Une opportunité unique de partenariat et de projet

L'innovation est plus que jamais le moteur du secteur agro-alimentaire. Pour autant, à l'heure actuelle, elle tend à s'inscrire dans une politique de développement durable. A l'occasion du SIAL 2014, Algama a fait la rencontre d'un de ses exposants, un acteur mondial de la transformation des matières premières végétales et de leur commercialisation en B to B : le groupe Roquette Frères. Depuis quelques années, celui-ci a également engagé le pari de valoriser les microalgues dans le domaine alimentaire. Fortes de cet objectif commun et de la complémentarité de leur positionnement respectif sur la chaîne de valeur de ces microorganismes, les deux entreprises ont donc conjointement lancé en février 2015 un projet à court-terme de développement d'une sauce de type « mayonnaise », avec une mise sur le marché prévue en septembre 2015. Cette sauce serait formulée à partir des ressources microalgales produites par Roquette, pour lesquelles Algama se positionnerait en tant qu'ambassadeur à l'échelle internationale. La vocation de ce produit : être ultérieurement déclinable en une gamme aux saveurs variées pour asseoir le leadership des deux parties du projet sur le marché des aliments fonctionnels développés à partir de microalgues, à leurs niveaux respectifs.

Les raisons du choix de cette denrée alimentaire sont multiples : d'une part, de manière générale, le marché des sauces froides ne cesse de progresser depuis quelques années [4]. D'autre part, l'opportunité de développer et de commercialiser des sauces froides semble

¹ « La vitamine B2 contribue à protéger les cellules contre le stress oxydatif. La vitamine B12 et le magnésium aident à réduire l'état de fatigue. » (Règlement (UE) n°432/2012 de la Commission du 16 mai 2012 établissant une liste des allégations de santé autorisées portant sur les denrées alimentaires, autres que celles faisant référence à la réduction du risque de maladie ainsi qu'au développement et à la santé infantiles)

optimale, en France comme en Europe et au-delà de ses frontières, dans les pays occidentaux. En effet, les Etats-Unis sont actuellement le premier importateur mondial de sauces (17,57% des importations), pour une valeur totale des importations de 1,9 milliards d'euros en 2011, devant des pays européens tels que l'Allemagne, la Russie et le Royaume-Uni, avec respectivement 10,55%, 10,13% et 7,04% des importations. Le choix d'une sauce de type « mayonnaise », quant à lui, est simple : représentant 36% des parts de marché en France, la mayonnaise se place en tête du marché des sauces froides, avec une évolution en valeur de 6% entre 2013 et 2014 [4]. D'ailleurs, à l'échelle mondiale, son marché est estimé à la somme non négligeable de 11,3 milliards d'euros [10].

2. Ma mission

Sous la direction du Responsable R&D d'Algama, en tant que stagiaire ingénieur en service R&D, l'objectif de mon stage était de participer au développement d'une sauce froide de type mayonnaise en coordonnant le partenariat avec le groupe Roquette Frères. Pour ce faire, j'ai participé dans un premier temps dans la formulation et la recherche des alternatives pour le produit développé, et dans un deuxième temps j'ai pris en charge les phases suivantes :

- Etudes bibliographique sur les huiles alimentaires.
- Synthèse réglementaire sur les allégations nutritionnelles et de santé.
- Formulation théorique et optimisation du profil lipidique de la mayonnaise.
- Formulation pratique de la mayonnaise en substituant la phase lipidique.
- Réalisation de panels sensoriels.
- Contacts, achats et échantillonnage auprès de fournisseurs de matières premières.

3. Le positionnement marketing et le cahier des charges fonctionnel du produit

En intégrant les deux tendances du marché des sauces froides (plaisir sensoriel et naturalité/clean label), Algama cherche à concevoir et développer en 2015 une sauce de type « mayonnaise » haut-de-gamme, lui permettant de pénétrer ce marché avec deux plus-values notables [5]. La première est l'incorporation de microalgues dans ses recettes pour les valoriser, démocratiser leur consommation grand public et profiter de leurs vertus nutritionnelles exceptionnelles. La seconde est l'extension de la cible de marché habituelle de ces sauces.

En effet, bien des personnes ne peuvent à l'heure actuelle consommer de la mayonnaise. Les raisons principales de ce constat sont multiples : ce produit contient des allergènes majeurs (œufs, moutarde) et est parfois texturé par des ingrédients riches en gluten (amidon de blé). En outre, il est associé à un régime alimentaire souvent omnivore et relativement calorique en raison de ses conditions classiques d'utilisation en tant que substance nappante d'aliments de tous types (sandwiches, viandes, crudités, *etc...*).

Pour pallier à ces différentes problématiques, Algama a choisi de concevoir et de développer une sauce destinée non seulement à la cible de marché habituelle des sauces froides (hommes et femmes de la population active), mais aussi à des consommateurs présentant des spécificités de régime et des valeurs prônées par l'entreprise [15]. Consommer une sauce de type « mayonnaise » ne sera donc plus à l'heure actuelle un problème pour les

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

allergiques aux œufs et à la moutarde, les intolérants au gluten, les végétaliens ainsi que les individus soucieux de prendre soin de leur santé et de leur ligne.

Dans le but de répondre à cette demande, les objectifs, contraintes et opportunités de formulation suivants (voir Figure 3) ont donc été identifiés et corrélés au Règlement CE n°1924/2006 du Parlement Européen et du Conseil du 20 décembre 2006 concernant les allégations nutritionnelles et de santé portant sur les denrées alimentaires, et au Règlement CE n°967/2008 du Conseil du 29 septembre 2008 modifiant le Règlement (CE) n° 834/2007 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques [11], [12] :

De ces objectifs de marketing en matière de cible de consommateurs finaux et de ces contraintes de formulation conséquemment énoncées naît l'ébauche d'un univers de marque pour le produit du projet mené conjointement par Algama et Roquette Frères. Il est donc nécessaire de s'intéresser au marché des sauces de type « mayonnaise » pour le positionner de manière plus relative et en déduire les perspectives sous-jacentes en termes d'orientation réglementaire, technique et sensorielle.

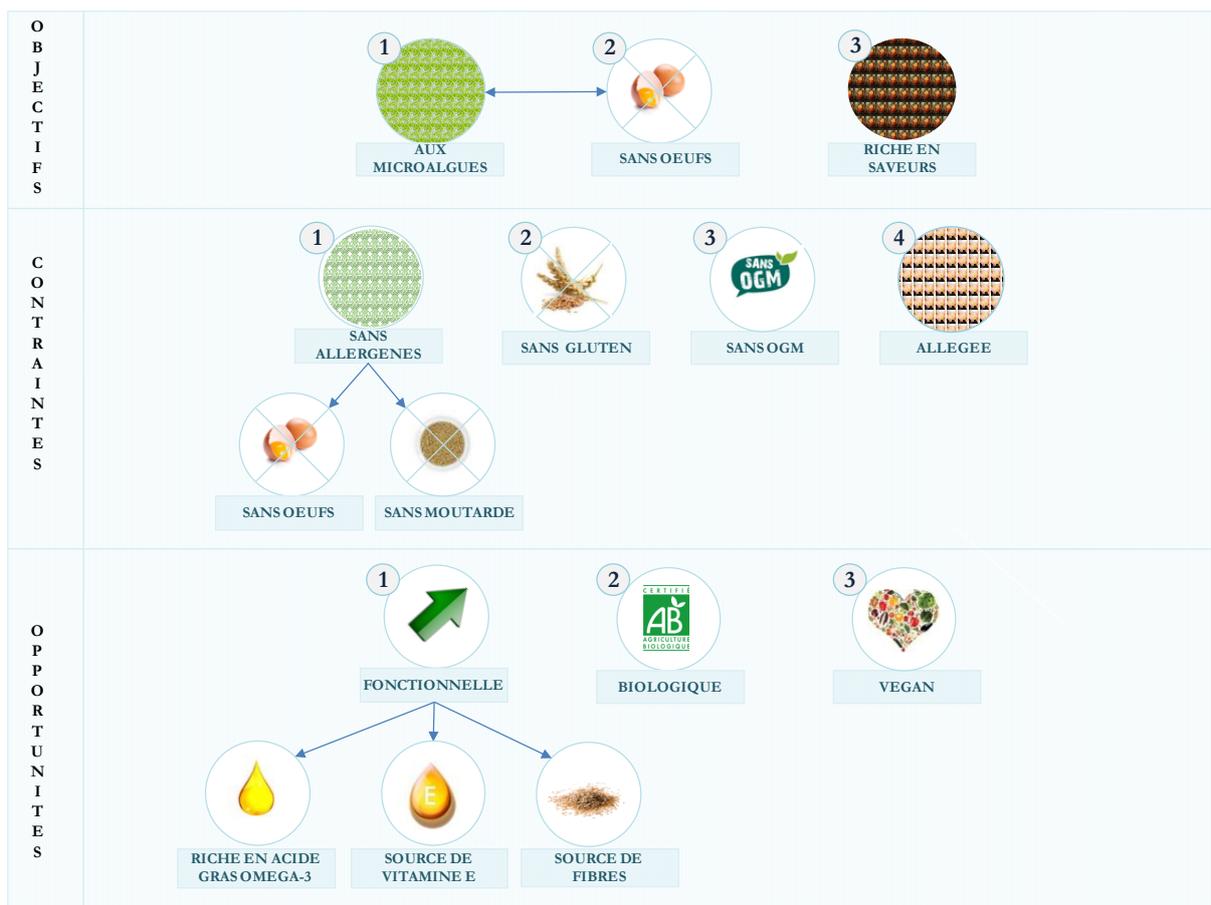


Figure 6: Les objectifs et contraintes de formulation issus du brief marketings.

II. L'environnement réglementaire, commercial et sensoriel dans lequel s'ancre le projet

1. Veille réglementaire : la mayonnaise

D'après la norme CODEX STAN 168-1989, la mayonnaise est définie comme étant « une sauce condimentaire obtenue en émulsionnant une ou plusieurs huiles végétales comestibles dans une phase aqueuse constituée par du vinaigre ; l'émulsion huile-dans-eau étant produite en utilisant du jaune d'œuf de poule» [13].

De surcroît, les spécifications européennes du code européen des bonnes pratiques relatif à la mayonnaise indiquent quant à elles que la dénomination « mayonnaise » ne peut être attribuée que pour un minimum de 70% m/m d'huile mise en œuvre dans le process, et de 5% m/m de jaune d'œuf techniquement pur [14], [15].

Par conséquent, étant donné l'objectif principal d'Algama de prohiber la présence d'œufs dans la formulation de la sauce développée, cette dernière ne pourra porter la dénomination « mayonnaise », bien que ses caractéristiques organoleptiques aient pour vocation d'y ressembler. Pour cette raison, quelle dénomination lui donne-t-on ?

2. Veille concurrentielle : les références sur le marché des sauces froides et de la mayonnaise

a. Analyse générale du marché

L'industrie des condiments et assaisonnement est très concentrée : les dix premières sociétés ont ainsi réalisé plus de trois quarts du chiffre d'affaires de ce marché en 2012 [16]. Cette situation s'explique notamment par la présence de multinationales du secteur agroalimentaire disposant, en Europe comme outre-Atlantique, de marques fortes occupant des positions majeures au sein de la grande distribution depuis plus de 50 ans. En outre, de manière internationale, c'est le groupe Unilever, détenteur des deux leaders respectifs Amora-Maille (Europe) et Hellmann's (USA), qui règne majoritairement sur le marché des sauces froides.



Figure 7 : Les principaux acteurs du marché de la mayonnaise en 2013 [16]

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Or en 2012, d'après le comité American Egg Board, plus de 40 milliards d'œufs ont été produits aux Etats-Unis, la majorité d'entre eux provenant de poules élevées en batterie (88%). Etant donné la proportion moyenne non négligeable d'œufs dans une mayonnaise classique (5 à 8%) et l'ampleur de son marché outre-Atlantique, ce constat pose des problèmes éthiques. Pour y remédier, depuis une trentaine d'années, quelques entreprises se sont donné pour objectif de commercialiser des sauces de type « mayonnaise » sans œufs et compatibles avec une alimentation végétalienne. Sont ainsi nées, aux Etats-Unis, la « Vegenaïse » (FollowYourHeart), la « Nayonnaïse » (Nasoya), l'« Eggless Canola Mayonnaïse » (Spectrum Naturals), l'« Organic Egg Free Mayo » (Plamil) et la toute récente « Just Mayo » d'Hampton Creek, lancée sur le marché US en 2013. Certaines d'entre elles sont également biologiques, sans gluten, sans cholestérol, riches en acides gras polyinsaturés, sources de vitamine B12 ou encore sans conservateurs. Pour autant, il n'existe à l'heure actuelle aucune sauce de type « mayonnaïse » répondant de manière simultanée aux différents objectifs et contraintes de formulation énoncés par Algama, et qui intègre, de plus, des microalgues dans sa recette en alternative aux protéines animales ou végétales de type « soja ». Aucun concurrent direct n'a donc été identifié, faisant du produit d'Algama une offre unique sur le marché international des sauces et des condiments.

b. Détermination consécutive des cibles organoleptiques de la sauce « Yogi »

Suite à l'analyse sensorielle et viscosimétrique des sauces du commerce, l'appréciation de certains descripteurs sensoriels et physicochimiques a permis de fixer pour la sauce « K-SOSS » des objectifs organoleptiques quantitatifs et qualitatifs cruciaux à atteindre, déterminants pour la validation du prototype de la sauce à l'échelle laboratoire puis pilote et industrielle.

2. Aspect	3. Texture	1. Flaveur
<ul style="list-style-type: none">- Couleur intermédiaire entre les mayonnaises françaises et américaines <i>Cible organoleptique : 3/6</i> Soit : - Aspect brillant intermédiaire entre les mayonnaises françaises et américaines <i>Cible organoleptique : 3/5 ± 0,5/5</i>- Aucun déphasage de la sauce 1 mois après ouverture (spécification interne classique établie par les fabricants de mayonnaïse)	<ul style="list-style-type: none">- Fluidité moyenne au visuel <i>Cible organoleptique : 2,4/5 ± 0,3/5</i>- Viscosité dynamique moyenne <i>Cible physicochimique : 2,2 ± 0,2 Pa.s à 100 s⁻¹ et 19,7°C ± 2°C</i>- Seuil d'écoulement moyen <i>Cible physicochimique : 54,5 ± 5 Pa pour une contrainte de cisaillement comprise entre 0 et 10 s⁻¹ à 19,7°C ± 2°C</i>- Texture à la cuillère moyennement adhérente <i>Cible organoleptique : 3,5/5 ± 0,5/5</i>- Texture onctueuse en bouche <i>Cible organoleptique : 3,5/5 ± 0,5/5</i>- Faible sensation de « collant » et « farineux » en bouche <i>Cibles organoleptiques : 1,5/5 ± 0,5/5</i>	<ul style="list-style-type: none">- Equilibre des odeurs et saveurs, acidité et salinité intermédiaires entre les mayonnaises françaises et américaines Cibles organoleptiques : 2/5 ± 0,5/5 pour l'intensité des odeurs 2,5/5 ± 0,5/5 pour l'intensité des saveurs- Sauce légèrement relevée en épices et aromates Cible organoleptique : 3,5/5 ± 0,5/5- Persistance en bouche faible à moyenne Cible organoleptique : 2/5 ± 0,5/5

Figure 8 : Les attentes organoleptiques incombées à la sauce d'Algama

Dans le but d'atteindre ces objectifs organoleptiques et de concevoir, sur-mesure, une sauce de type « mayonnaïse » répondant également aux spécifications de formulation et d'allégation souhaitées par Algama, il convient de lever un certain nombre de verrous technologiques

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

posés par ces différentes attentes et contraintes associées au produit. A cet effet, une veille concurrentielle de déformulation a été couplée à une veille technologique, pour mettre en évidence les potentielles solutions existantes et les tester de manière consécutive.

III. La formulation de la sauce « Yogi »

1. Veille technologique : les ingrédients classiques d'une mayonnaise industrielle et leurs propriétés fonctionnelles

En effectuant la déformulation de certaines mayonnaises industrielles du commerce², il a pu être noté que la composition classique d'une telle sauce était la suivante :

 <p>Huile végétale (environ 60%)</p> <ul style="list-style-type: none">- Phase organique de la mayonnaise- Rôle organoleptique : coloration jaune de la mayonnaise et saveur dépendantes de l'origine biologique de l'huile (colza, tournesol, soja, etc...) et de son raffinement	 <p>Jus de citron concentré (environ 2%)</p> <ul style="list-style-type: none">- Phase aqueuse de la mayonnaise, fluidifiant- Acidifiant- Rôle organoleptique : saveur acide
 <p>Eau (environ 20%)</p> <ul style="list-style-type: none">- Phase aqueuse de la mayonnaise	 <p>Sel (moins de 1%)</p> <ul style="list-style-type: none">- Exhausteur de goût- Conservateur
 <p>Jaunes d'œufs (environ 5%)</p> <ul style="list-style-type: none">- Emulsifiants- Rôle organoleptique : coloration jaune de la mayonnaise et apport d'une saveur caractéristique	 <p>Sucre (moins de 1%)</p> <ul style="list-style-type: none">- Exhausteur de goût- Conservateur
 <p>Moutarde (environ 5%) (Eau, graines de moutarde, vinaigre d'alcool, sel)</p> <ul style="list-style-type: none">- Phase aqueuse de la mayonnaise, fluidifiant- Emulsifiant et acidifiant- Rôle organoleptique : saveur piquante, acide et salée	 <p>Epaississants et stabilisants (moins de 1%) (Amidon transformé, gommes xanthane, guar, arabique)</p> <ul style="list-style-type: none">- Texturants
 <p>Vinaigre d'alcool (environ 5%)</p> <ul style="list-style-type: none">- Phase aqueuse de la mayonnaise, fluidifiant- Acidifiant- Rôle organoleptique : saveur acide	 <p>Conservateurs (EDTA) (moins de 0,1%)</p>
	 <p>Colorants (bêta-carotène, lutéine)(moins de 0,1%)</p>
	 <p>Arômes (moins de 0,1%)</p>
	 <p>Epices (paprika, oignon) (moins de 0,1%)</p> <ul style="list-style-type: none">- Exhausteurs de goût, colorants

Figure 9 : Formule classique d'une mayonnaise

Comme indiqué précédemment, étant donné les objectifs et contraintes de formulation de la sauce d'Algama, un certain nombre de verrous technologiques étaient à lever au cours de ce projet pour obtenir une sauce savoureuse formulée à partir de microalgues, émulsifiée sans jaunes d'œufs, ni allergènes, ni additifs tensioactifs ; allégée en matières grasses, texturée

² Mayonnaise (Bénédicta), Mayonnaise de Dijon (Amora), Mayonnaise fine (Maille), Mayonnaise classique (Lesieur), Real Mayonnaise (Hellmann's) et Original (Miracle Whip)

avec un minimum d'additifs gélifiants, épaississants et stabilisants, exempte amidon de blé et qui soit à la fois riche en fibres, en acide gras oméga-3 et en vitamine E. Le dépassement de ces verrous technologiques représente en effet pour Algama l'assurance d'une plus-value par rapport aux sauces concurrentes présentes dans le commerce. En raison du caractère innovant du produit, celui-ci a donc fait l'objet de 3 concours (Agropôle, NutriAwards et Intermarché) et de quelques festivals, salons et expositions (Taste of Paris, Hello Tomorrow Challenge, Exposition Universelle de Milan) en 2015 dans le but de promouvoir son unicité sur le marché en valorisant ses challenges technologiques et éthiques.

2. Une sauce formulée à partir de microalgues et émulsifiée sans jaunes d'œufs, ni allergènes, ni additifs tensioactifs

a. *Le rôle du jaune d'œuf dans la mayonnaise*

La mayonnaise est un système dispersé pouvant être qualifié d'émulsion, puisqu'elle correspond, par définition, à « la dispersion d'un liquide (phase dispersée ou discontinue) en fines gouttelettes dans un autre liquide (phase dispersante ou continue), les deux phases étant non miscibles » [20]. En effet, à l'échelle industrielle, elle contient une phase organique majoritairement constituée d'huile végétale, ainsi qu'une phase hydrophile composée d'eau et de divers composés hydrosolubles tels que du vinaigre de cidre, du jus de citron, du sel et du sucre (Figure 11). Or, de manière conventionnelle, les émulsions sont des systèmes thermodynamiquement instables : elles sont formées grâce à un apport d'énergie, correspondant à l'énergie nécessaire pour créer une aire interfaciale plus importante [21]. D'un point de vue cinétique, il en résulte une rapide séparation des deux phases après mélange en raison de leur non-miscibilité, induisant un système hétérogène hors équilibre au bout de quelques minutes à quelques heures seulement en l'absence de toute molécule tensioactive.

Pour résoudre ce problème les affectant de manière physicochimique et organoleptique, les émulsions industrielles telles que la mayonnaise comportent des émulsifiants. En effet, bien qu'une incorporation lente de phase dispersée dans la phase continue sous une agitation forte puisse permettre d'obtenir de fines gouttelettes de phase discontinue par cisaillement, favorable à la stabilité cinétique de l'émulsion, ce procédé n'est souvent pas suffisant pour éviter le déphasage de la mayonnaise au bout de quelques jours de conservation [22]. Les émulsifiants, quant à eux, forment un film interfacial autour des globules de phase dispersée et apportent une énergie d'activation suffisamment importante pour empêcher la déstabilisation rapide de l'émulsion (Figure 12). Ces molécules ont en effet un caractère amphiphile, et possèdent de ce fait un pôle hydrophile et un pôle hydrophobe présentant une affinité pour la phase hydrophile et hydrophobe de l'émulsion, respectivement. Par conséquent, c'est cette polarisation fonctionnelle qui détermine l'organisation des tensioactifs dans l'émulsion et qui permet sa stabilisation dans le temps, au cours du cycle de vie du produit. Cette stabilité s'établit en outre en fonction de l'intensité du pouvoir émulsifiant des tensioactifs, variant par nature [20].

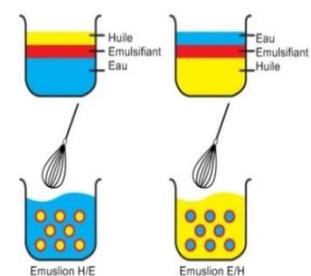


Figure 10 : Stabilisation d'une émulsion huile dans l'eau (H/E – mayonnaise allégée) ou eau dans l'huile (E/H – mayonnaise classique)

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Dans la mayonnaise, c'est le jaune d'œuf qui joue ce rôle, grâce au caractère émulsifiant d'un de ses phospholipides : la lécithine, également appelée phosphatidylcholine [21].

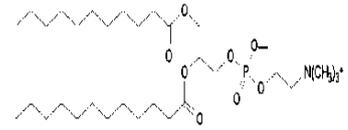


Figure 11 : Molécule de lécithine

Cette molécule, composée d'un pôle hydrophile (choline, groupe phosphate) et d'un pôle hydrophobe (acides gras), présente un équilibre hydrophile/lipophile variant entre 2 et 8 selon la nature des acides gras qu'elle comporte [23]. Son pouvoir émulsifiant remarquable permet de ce fait aux industriels de ne pas rajouter d'agents tensioactifs de manière additionnelle aux sauces développées, d'autant plus que la moutarde contenue dans les mayonnaises françaises joue, elle-même, un léger rôle émulsifiant grâce aux phospholipides provenant des graines de cette plante.

Or un des objectifs principaux pour la sauce d'Algama est de prohiber l'utilisation d'œufs, pour permettre aux personnes végétaliennes et allergiques à cet ingrédient de pouvoir consommer le produit fini. Comment alors permettre l'émulsification de la sauce au cours de son cycle de vie sans utiliser les propriétés tensioactives de la lécithine de jaune d'œuf ?

b. *Les alternatives classiques aux tensioactifs issus du jaune d'œuf*

Pour garantir l'homogénéité de la dispersion des deux phases du système, quelques alternatives à l'utilisation de lécithine de jaune d'œuf existent sur le marché.

Parmi les 5 sauces du commerce identifiées comme exemptes d'œufs³, 4 présentent dans leur formulation des huiles et graines de soja, et 1 (« Just Mayo » d'Hampton Creek), des isolats de protéines de pois. Ces différents ingrédients possèdent en effet des propriétés émulsifiantes, induites par la présence de lécithine dans l'huile de soja (dont les graines sont riches), et par les propriétés fonctionnelles issues des tensioactifs présents dans les isolats de protéines de pois [24], [25]. Cependant ces sources naturelles d'émulsifiants présentent des inconvénients, rendant leur utilisation non souhaitable pour Algama. Le premier d'entre eux est le caractère allergène du soja et les polémiques écologiques relatives à sa culture ; le second concerne l'émergence de nouveaux cas d'allergénicité aux protéines de pois en France [26].

Par ailleurs, plus d'une centaine d'émulsifiants classés parmi les additifs alimentaires sont communément employés pour texturer des denrées alimentaires aussi variées que la margarine, les confiseries, le pain, les crèmes glacées, mais également les sauces, selon le Règlement CE n°1333/2008 Parlement Européen et du Conseil du 16 décembre 2006 sur les additifs alimentaires [27]. Pour respecter la politique de clean label souhaitée par Algama, leur utilisation n'est pas envisageable.

Par conséquent, compte-tenu des différentes contraintes et des objectifs de formulation de la sauce d'Algama, la problématique d'émulsification de cette sauce de type « mayonnaise » sans lécithine de jaune d'œuf, ni allergènes potentiels, ni additifs tensioactifs est un véritable verrou technologique à lever.

³Vegenaise (Follow Your Heart), Nayonaise (Nasoya), Eggless Canola Mayonnaise (Spectrum Naturals), Organic Egg Free Mayo (Plamil) et Just Mayo (Hampton Creek)

c. *Les microalgues, de véritables substituts des œufs ?*

Le potentiel offert par les microalgues est à l'heure actuelle considérable. Depuis les années 2000, le groupe Roquette Frères, convaincu du rôle futur des ressources phyto-marines dans les domaines de l'alimentation, de la nutrition et de la santé, a investi dans cette filière et dispose à l'heure actuelle d'une capacité de production de 4 000 à 5 000 tonnes par an. Spécialisée dans la production de chlorelle par le biais d'un processus de fermentation, cette société se trouve depuis 2006 à la tête d'un laboratoire de phycologie, jouant un rôle clé dans la sélection des microalgues destinées au domaine alimentaire. Car selon la nature de ces microorganismes et leurs conditions de culture, il est possible de contrôler leur expression de nutriments par le biais de leur métabolisme. Après une purification et un séchage doux (sans agitation, à basse température) permettant de préserver leurs qualités organoleptiques et nutritionnelles, les extraits de microalgues enrichis en micro et macronutriments spécifiques peuvent ainsi être mis en œuvre dans des denrées alimentaires, sous forme entière ou broyée.

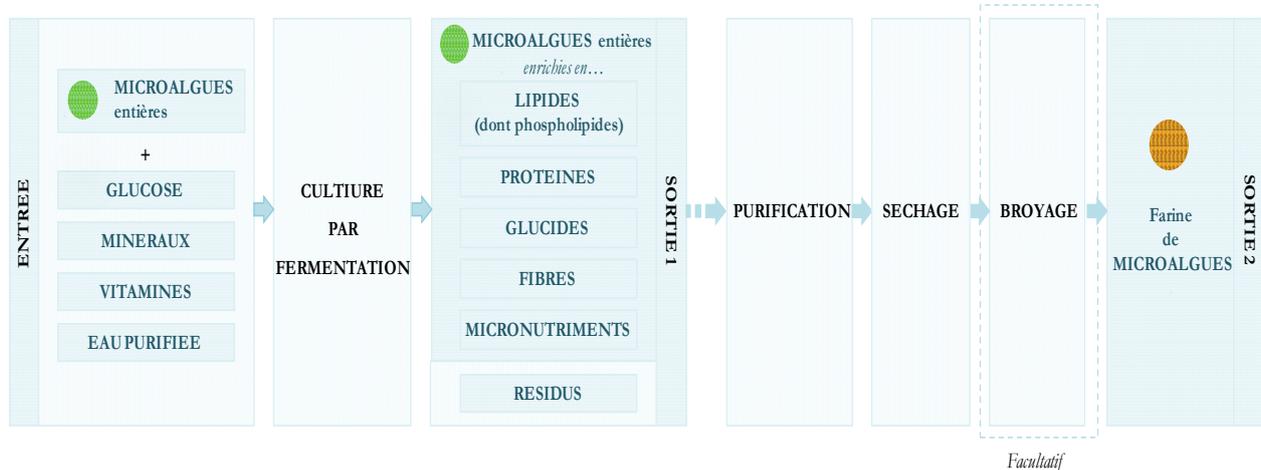


Figure 12 : Processus d'obtention d'une farine de microalgues enrichie en micro et macronutriments

« Microalgae »⁴ est une farine microalgale, développée par le groupe Roquette Frères à partir d'une souche de microalgues unicellulaires du genre *Chlorella*. Outre son profil nutritionnel exceptionnel, ce sont surtout sa couleur jaune d'or, la neutralité de sa flaveur et ses propriétés émulsifiantes qui en font une alternative tout à fait remarquable, dans les sauces, à la lécithine de jaune d'œuf (Figure 15). De plus, cet ingrédient a l'avantage de ne pas présenter de potentielle allergénicité, mais également d'être sans gluten, sans OGM, halal, kascher, 100% vegan et sans cholestérol (contrairement au jaune d'œuf). Grâce à cette multiplicité de bénéfices nutritionnels et fonctionnels, la farine « Microalgae » a été primée « Ingrédient le plus Innovant » aux Food Ingredients Europe Excellence Innovation Awards en 2013.

⁴ Nom de code donné à l'ingrédient microalgal de la société Roquette Frères mis en œuvre dans la sauce d'Algama.

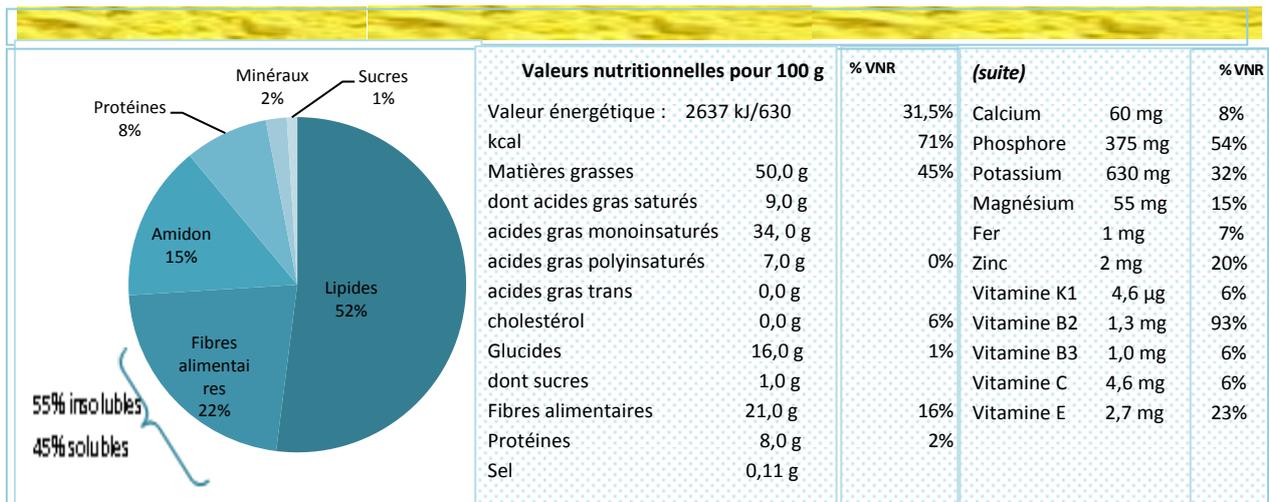


Figure 13 : Composition et valeurs nutritionnelles de l'ingrédient "Microalgae" de Roquette Frères. Le pourcentage des VNR est calculé sur la base d'un apport énergétique de 2000 kcal selon l'annexe XIII du Règlement (UE) n°1169/2011 du Parlement Européen et du Conseil du 25 octobre 2011 concernant l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires [28].

A l'origine du pouvoir émulsifiant de cet ingrédient se trouve une importante teneur en phospholipides (1 g pour 100 g de produit fini), bien qu'inférieure de moitié à celle contenue dans les jaunes d'œufs de poule (2 g pour 100 g d'œufs en moyenne) [29]. Mais alors que les industriels mettent en œuvre environ 5% de jaunes d'œufs dans leurs mayonnaises (soit 0,1 g de phospholipides pour 100 g de produit fini), le groupe Roquette Frères, quant à lui, préconise une teneur idéale en farine « Microalgae » de seulement 1,5% pour émulsionner une sauce exempte de jaune d'œuf de type « mayonnaise » à 25% d'huile (soit 0,015 g de phospholipides seulement pour 100 g de produit fini, 6 fois moins qu'en employant 5% de jaunes d'œufs).

Cet important écart peut être attribué à deux causes différentes : si la farine « Microalgae » et le jaune d'œuf apportent tous deux une couleur jaune soutenue à la sauce, le jaune d'œuf en revanche lui confère une saveur typique, non induite par la microalgue. D'autre part, la farine de microalgues contient 15% d'amidon et 22% de fibres alimentaires, contrairement au jaune d'œuf qui en est dépourvu. Or ces deux éléments présentent des propriétés fonctionnelles viscosantes et texturantes, capables de stabiliser, légèrement, l'émulsion : il s'agit donc d'un avantage pour conserver l'homogénéité du système dispersé au cours de son cycle de vie.

Afin de juger du pouvoir émulsifiant de la farine microalgale développée par Roquette Frères, 3 essais ont été réalisés en parallèle, en suivant la recette transmise par ce fournisseur (Figure 16).

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

	ESSAI 1 : Sans émulsifiant	ESSAI 2 : Avec du jaune d'œuf	ESSAI 3 : Avec des microalgues	
Eau	58,05 g	Eau 53,05 g	Eau 56,55 g	
Huile de colza	25,00 g	Huile de colza 25,00 g	Huile de colza 25,00 g	
Vinaigre de cidre (5° acétimétrique)	5,30 g	Vinaigre de cidre (5° acétimétrique) 5,30 g	Vinaigre de cidre (5° acétimétrique) 5,30 g	
Amidon de maïs pré-gélatinisé	5,00 g	Amidon de maïs pré-gélatinisé 5,00 g	Amidon de maïs pré-gélatinisé 5,00 g	
Jus de citron	2,60 g	Jaune d'œuf 5,00 g	Jus de citron 2,60 g	
Sirope d'agave	2,00 g	Jus de citron 2,60 g	Sirope d'agave 2,00 g	
Sel	1,75 g	Sirope d'agave 2,00 g	Sel 1,75 g	
Gommexanthane	0,30 g	Sel 1,75 g	Farine « Microalgae » 1,50 g	
TOTAL :	100,00 g	Gommexanthane 0,30 g	Gomme xanthane 0,30 g	
		TOTAL : 100,00 g	TOTAL : 100,00 g	
PROCESSINGREDIENTS	<ol style="list-style-type: none"> Mélanger dans un bécher de 250 mL l'eau, le vinaigre, le jus de citron, le sel et le sirop d'agave à l'aide d'un agitateur magnétique à 700 tr/min. Introduire le mélange dans le robot émulsionneur Magimix « Le Micro » (Annexe 7). Diluer, dans un bécher de 100 mL, l'amidon, le jaune d'œuf ou les microalgues selon la recette dans 7 g d'huile. Introduire le mélange dans le Magimix en émulsionnant pendant environ 30 secondes. Ajouter lentement et progressivement le reste de l'huile dans le Magimix en émulsionnant pendant environ 30 secondes. Ajouter la gomme xanthane dans le Magimix en émulsionnant pendant environ 1 minute. Stocker la sauce dans une étuve à 45°C±2°C environ. 			
	RESULTATS	<p>A t=0</p>  <p>A t= 12 heures</p>  <p>Déphasage de 3 mm environ</p>	<p>A t=0</p>  <p>A t= 12 heures</p>  <p>A t= 15 heures</p>  <p>A t=16 heures</p>  <p>Déphasage de 2 mm environ</p>	<p>A t=0</p>  <p>A t= 12 heures</p>  <p>A t= 15 heures</p>  <p>Déphasage de 2 mm environ</p>

Figure 14 : Comparaison du pouvoir émulsifiant de la farine de microalgues et du jaune d'œuf

A t=0, le système dispersé est stable pour les 3 sauces. En revanche, dès t= 12 heures, la sauce sans émulsifiants commence à se déphaser, contre t= 15 heures pour la sauce formulée à partir de la farine de microalgues et t =16 heures pour celle formulée avec du jaune d'œuf. En conclusion, le pouvoir émulsifiant de la farine de microalgues du groupe Roquette Frères est sensiblement

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

identique à celui de la lécithine de jaune d'œuf, en pratique. Cet ingrédient est donc crucial pour lever le verrou technologique relatif à l'émulsification de la sauce sans allergènes ni additifs tensioactifs, mais en valorisant le potentiel unique qu'offrent les microalgues en matière d'alimentation fonctionnelle. **Il a de ce fait été décidé de l'introduire dans la formule de la sauce à hauteur de 1,5%**, comme préconisé par le fournisseur.

3. Une sauce allégée texturée avec un minimum d'additifs gélifiants, épaississants, stabilisants et sans amidon transformé

a. *Recette de base de Roquette Frères*

Pour concevoir un premier prototype, Roquette Frères a tout d'abord développé une recette contenant 25% d'huile dans le produit fini, mais ne respectant pas les critères « sans moutarde », « biologique » et « avec un minimum d'additifs ». En effet, pour ce dernier item, non seulement la sauce développée mettait en œuvre un agent conservateur (le potassium sorbate), mais elle contenait également 5,3% d'additifs épaississants et stabilisants (amidon de maïs pré-gélatinisé et gomme xanthane).

Eau	49,00 g
Huile de colza	25,00 g
Vinaigre de cidre (5°)	5,30 g
Amidon de maïs pré-gélatinisé	5,00 g
Moutarde	5,00 g
Sucre	4,50 g
Jus de citron	2,50 g
Sel	1,75 g
Farine « Microalgae »	1, 50 g
Gommexanthane	0, 30 g
Potassium sorbate	0, 15 g

Figure 15 : Recette initiale de la sauce de type "mayonnaise" de Roquette Frères (pour 100 g)

b. *Premiers éléments de la recette de base d'Algama*

Le but d'Algama était de conserver le savoir-faire issu de cette recette de base, en l'optimisant selon les objectifs et contraintes relatifs au projet. Pour cette raison, dans un premier temps, il a été décidé d'exclure la présence de moutarde, d'amidon de maïs pré-gélatinisé, de gomme xanthane et de potassium sorbate de la recette souhaitée par l'entreprise.

Huile de colza	25,00 g
Vinaigre de cidre (5°)	5,30 g
Jus de citron	2,50 g
Sel	1,75 g
Sirop d'agave	2, 00 g
Farine « Microalgae »	1, 50 g

Figure 16 : Eléments de base de la sauce initiale de Roquette Frères conservés pour atteindre les objectifs d'Algama (pour 100 g)

Le sucre, quant à lui, a été remplacé par du sirop d'agave. En effet, cet édulcorant présente, par rapport au saccharose, de nombreux avantages. Tout d'abord, il bénéficie d'une image positive auprès des consommateurs en raison de son origine naturelle, étant donné qu'il est extrait de la sève de certains cactus mexicains, de la famille des Agavaceae. Après filtration, le sirop, chauffé pour hydrolyser les glucides en sucres simples, est constitué d'un mélange de fructose (de 95 à 99%) et de glucose. Son pouvoir sucrant est de ce fait 1,2 à 1,4 fois supérieur à celui du saccharose. Il peut donc être dosé en moindre quantité dans le produit fini sans pour autant perturber son profil organoleptique. De plus, le sirop d'agave est moins calorique que le sucre à hauteur d'environ 13 %, puisque 1 gramme de saccharose correspond à 4 kcal, contre 3,52 kcal pour 1 g de sirop d'agave. Son index glycémique, quant à lui, est faible (I_g sirop d'agave = 20,



Figure 17 : Sirop d'agave

I_g saccharose = 70) en raison de la forte teneur en fructose du sirop d'agave : il permet donc d'éviter l'élévation rapide indésirable de la glycémie post-prandiale [30]. Enfin, contrairement à la stévia par exemple, qui possède des propriétés plus intéressantes notamment grâce à son pouvoir sucrant environ 12 fois supérieur au sucre, le sirop d'agave ne coûte qu'environ 15€ le kilo, soit 5 fois moins que la stévia pour l'obtention d'un pouvoir sucrant identique sur la base d'un prix au kilo de 650€ pour cet édulcorant intense.

c. *Combinaison fécule, gomme xanthane et inuline*

▪ *La fécule d'arrow-root : l'alternative d'Algama*

Pour substituer l'amidon de maïs pré-gélatinisé de Roquette Frères par une alternative non considérée comme un additif mais présentant des caractéristiques fonctionnelles intéressantes en réponse aux contraintes liées au processus et au produit lui-même, une veille bibliographique et technologique a été menée sur d'autres sources botaniques d'amidon exemptes de gluten, à l'état natif cette fois-ci.

La fécule d'arrow-root c'est de l'amidon qui est une molécule d'intérêt, présentant des fonctionnalités épaississantes, gélifiantes et stabilisantes extraite des rhizomes d'une plante de la famille des Marantaceae, *Maranta arundinacea*. La mise en œuvre de cette substance nécessite une dissolution dans 4 fois son poids en eau froide, suivie par un chauffage de 2 à 3 minutes à 65°C, suffisant pour obtenir un couple viscosité-rendement correct et développer une onctuosité dans le milieu réactionnel. Cependant, la fécule toute seule ne permettait pas d'obtenir une texture plus onctueuse avec un épaississement suffisant pour imiter la texture d'une mayonnaise classique, pour des pourcentages de 5 à 10%, pour cette raison il est indispensable de mettre en œuvre de la gomme de xanthane et de l'inuline.

▪ **La gomme xanthane : un additif épaississant agissant en synergie avec la fécule pour texture la sauce**

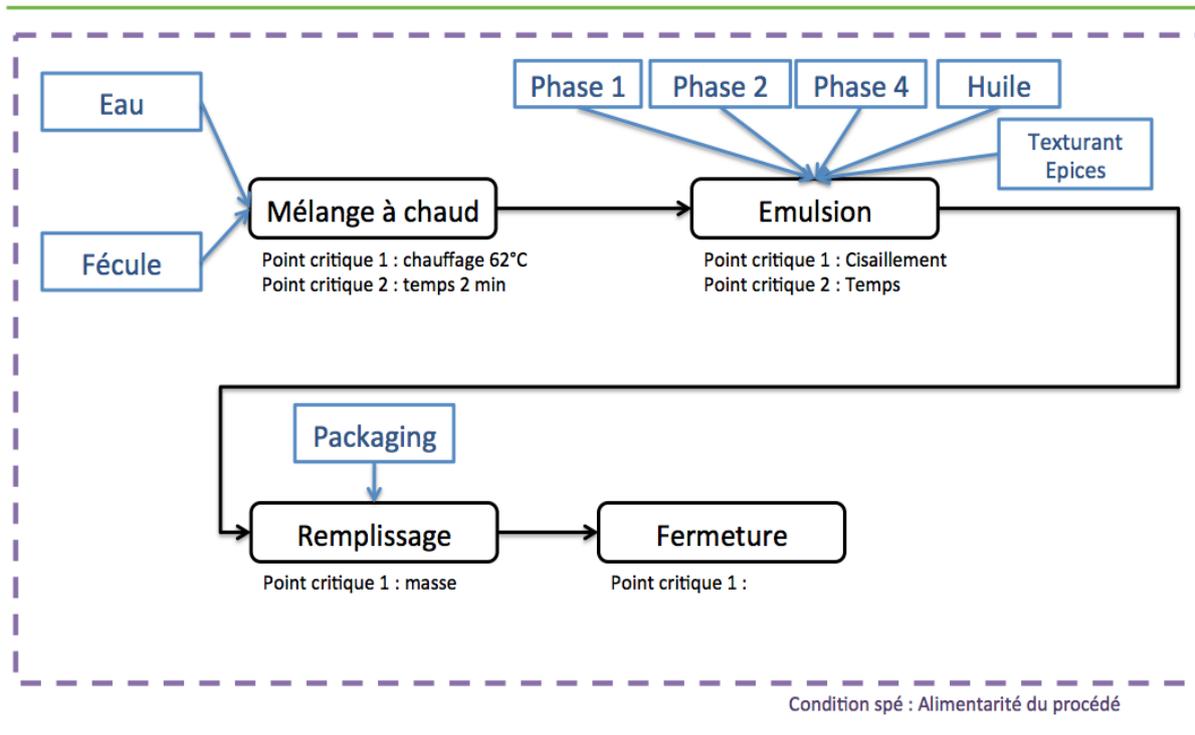
La gomme xanthane est un additif alimentaire qui se caractérise par ses propriétés hydrocolloïdales, le xanthane permet de bloquer les gouttelettes d'huiles en suspension dans l'eau, de façon à obtenir une structure homogène pour le système dispersé, auquel l'amidon aura donné du corps et stabilisé la matrice.

▪ *L'inuline*

L'inuline est un hydrocolloïde fibreux constitué de polysaccharides de la famille des fructanes produit de manière naturelle par de nombreux végétaux tels que la chicorée, l'artichaut, le pissenlit ou encore l'agave, l'utilisant comme moyen de stocker de l'énergie à la place ou en complément de l'amidon dans les racines ou les rhizomes. Cette substance permet de conférer à la sauce une certaine onctuosité et sensation de gras en bouche.

IV. Diagramme de fabrication

Schéma bloc de production : Sauce Yogi



Légende :

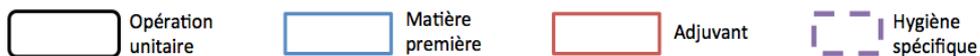


Figure 18 : Schéma bloc de production : Sauce Yogi

- ✓ **La phase 1**
 - Mélange de l'inuline et de l'eau froide.
- ✓ **La phase 2**
 - Mélange d'eau, du vinaigre, du jus de citron, du sel et du sirop d'agave.
- ✓ **La phase 3**
 - Mélange de la fécule avec de l'eau froide.
- ✓ **La phase 4**
 - Mélange de la farine de microalgues avec de l'huile.

V. Exigences du produit en termes de matières grasses

a. Matière grasse d'origine végétale :

Pour répondre aux exigences des consommateurs végétaliens ayant un mode d'alimentation basé sur les ressources végétales, la mayonnaise doit être produite à base d'une matière grasse d'origine végétal, c'est pour cette raison qu'on a pensé à faire intégrer dans la formule des huiles alimentaires obtenue à partir des fruits et/ou des graines oléagineuses issue de l'agriculture.

b. *Allégation d'allègement*

Pour obtenir une allégation d'allègement, la mayonnaise doit faire preuve d'une réduction de la quantité de matières grasses d'au moins 30% par rapport à une mayonnaise classique de référence, d'après le Règlement CE n°1924/2006 du Parlement Européen et du Conseil du 20 décembre 2006 concernant les allégations nutritionnelles et de santé portant sur les denrées alimentaires [11]. Etant donné la proportion conséquente en huile de la phase lipidique d'une sauce de type « mayonnaise » classique (environ 60%), exempte d'œufs ou non, cela signifie que cette teneur doit être réduite à 42% d'huile mise en œuvre au maximum dans la sauce, faisant basculer la balance « huile-eau » à une balance « eau-huile ». En effet, les autres ingrédients pouvant être mis en œuvre dans la sauce (eau, vinaigre, jus de citron, sel et sucre) comportent une teneur en matières grasses négligeable par rapport à l'huile : leur impact sur le profil lipidique du produit est donc minime.

c. *Matière grasse portante la certification Biologique*

Pour produire une mayonnaise portante la certification biologique, il faut qu'au moins 95% d'ingrédients utilisés dans la production de la mayonnaise issus du mode de production biologique, et pour répondre à cette exigence il faut employer des huiles certifiées agriculture biologique « AB » .

d. *Allégation de la richesse en acides gras de la famille des oméga-3*

L'objectif de ce projet était de répondre aux exigences du Règlement n°1924/2006 du Parlement Européen et du Conseil du 26 décembre 2008 concernant les allégations nutritionnelles et de santé portant sur les denrées alimentaires, ainsi qu'aux recommandations de l'EFSA, pour obtenir la mention d'une allégation nutritionnelle (« riche en acide gras oméga-3 ») et d'une allégation de santé (« les acides gras oméga-3 participent/contribuent au bon fonctionnement (du système) cardiovasculaire ») [11], [73]. Pour cela :

- Le produit doit contenir au moins 0,6 g d'acide alpha-linolénique pour 100 g et 100 kcal, ou au moins 80 mg d'acide eicosapentaénoïque et d'acide docosahexaénoïque combinés pour 100 g et 100 kcal [11].
- Le rapport acide linoléique (oméga-6)/acide alpha-linolénique (oméga-3) du produit doit être inférieur ou égal à 5.
- La composition globale du produit fini doit être en accord avec les recommandations de prévention cardiovasculaire actuelles : étant donné que l'aliment apporte beaucoup d'énergie d'origine lipidique (>33% de l'apport énergétique du produit fini), le rapport acides gras saturés/acides gras totaux doit être inférieur à 30%, et la teneur en cholestérol inférieure ou égale à 150 mg/100 g de produit fini [73].

e. *Allégation de la richesse en vitamine E*

La vitamine E présente un intérêt notable en raison de son rôle antioxydant, tant bénéfique pour la conservation du produit que pour la santé du consommateur [74]. Pour présenter l'allégation nutritionnelle « source de vitamine E » et celle de santé « la vitamine E contribue à protéger les cellules contre le stress oxydatif », 100 g de produit fini doivent contenir au minimum 1,8 mg de vitamine E, soit 30% des VNR [11].

C. Etude bibliographique

I. Généralités sur les lipides

1. Définition et composition (5)

Les lipides forment une classe de constituants biologiques nutritionnellement importants pour la part calorique et l'apport indispensable d'acides gras essentiels et de vitamines liposolubles qu'ils présentent dans la ration alimentaire. Les graisses et les huiles, qui ne se distinguent que par leur point de fusion, constituent les matières grasses ou corps gras. Ces corps gras sont des matières organiques insolubles dans l'eau, et plus ou moins hydrophobes. Ils peuvent être solubilisés par les solvants organiques peu ou non-polaires (éthanol, isopropanol, acétone, éther éthylique, etc.).

Les corps gras naturels sont essentiellement constitués par les triesters entre des acides gras et du glycérol. Ils renferment, en outre, des phospholipides en faible quantité, les stérols, des alcools, des vitamines, des pigments, des hydrocarbures, désignés dans leur ensemble sous le nom de constituants non glycériques, ou constituants mineurs.

Une des caractéristiques importante du point de vue chimique et nutritionnel est la longueur de chaîne des acides gras constitutifs des triacylglycérols (chaînes courtes, moyennes ou longues). Lorsqu'il n'y a pas de double liaison entre les atomes de carbone constitutifs de la chaîne, l'acide gras est dit "Saturé"; dans le cas contraire, il est dit "insaturé". Un exemple d'acide gras saturé est donné par l'acide stéarique (C18:0), et un exemple d'acide gras insaturé est l'acide oléique (C18:1). Quand plusieurs paires d'atomes de carbone ne sont pas saturés, l'acide gras est dit "poly-insaturé", comme l'acide linoléique (C18:2), ou l'acide linoléinique (C18:3) (Figure 11).

Par ailleurs, la présence d'une double liaison dans un acide gras entraîne une propriété particulière, qui tient à ce que les deux atomes d'hydrogène adjacents à la double liaison puissent être:

- soit du même côté de la double liaison: isomère "cis" (Figure 12);
- soit de part et d'autre de la double liaison: isomère "trans" (Figure 12).

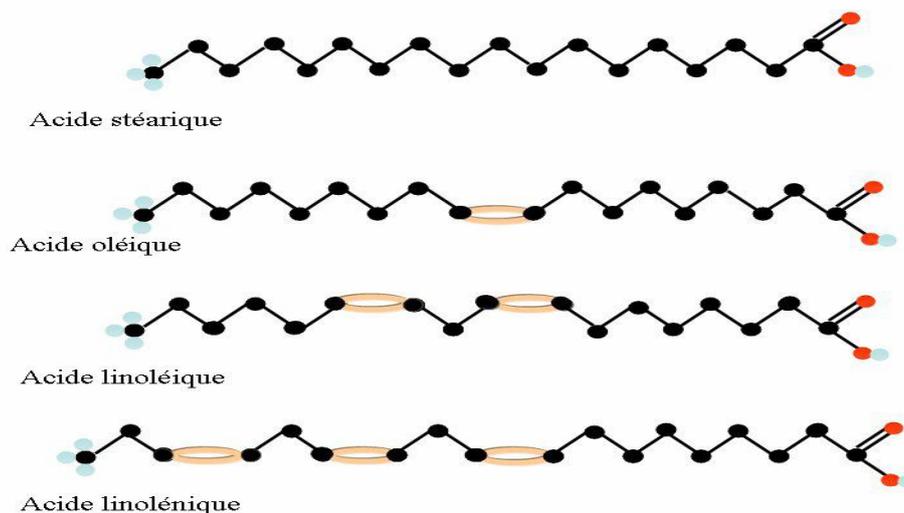


Figure 19 : Structure chimique de quelques acides gras : En rouge : l'atome d'oxygène ; en bleu : l'atome d'hydrogène ; en noir : l'atome de carbone ; en orange : la double liaison.

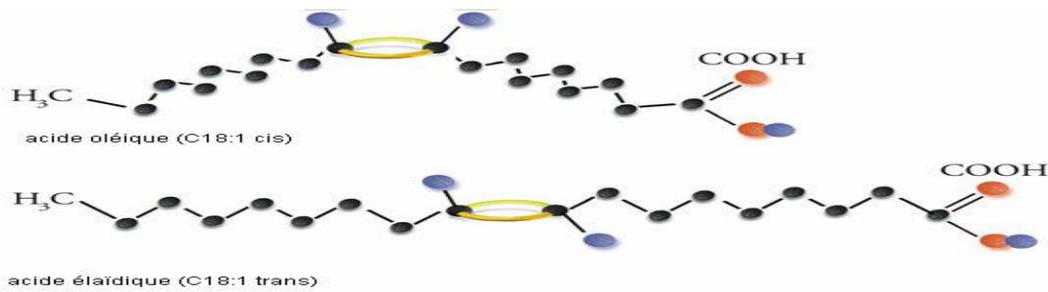


Figure 20 : Structure chimiques de l'isomère "cis" et "trans" de l'acide gras C18 :1 : En rouge : l'atome d'oxygène ; bleu : atome hydrogène ; jaune : double liaison ; noir atome de carbone (Mauro A., 2003)

2. Contrainte et dégradation des matières grasses

a. *Dégradation à la chaleur*

La résistance des corps gras à la chaleur est variable : il existe pour chacun d'eux une température critique (également appelée "point de fumée") à ne pas dépasser, au delà de laquelle les corps gras produisent des composés toxiques, irritants pour les muqueuses digestives et qui oxydent les caroténoïdes et les vitamines A et E.

b. *L'oxydation*

L'oxydation est un phénomène chimique, naturel, complexe, spontané, évolutif, irréversible et altératif qui consiste à faire dégrader les acides gras insaturés (les doubles liaisons s'ouvrent et fixent des atomes d'oxygène) en présence d'air, à température élevée ou sous l'action des ultraviolets.

L'oxydation présente deux conséquences majeures :

- Qualité organoleptique : Flaveur rance dû au rancissement aldéhydique qui s'exprime par la formation des composés carbonylés (C4 à C12).
- Qualité nutritionnelle : Les AGPI oxydés non biodisponibles.

II. Description des huiles végétales alimentaires

1. Les huiles alimentaires

Les huiles végétales sont des corps gras qui se trouvent sous forme liquide à la température ambiante de 20°C parce qu'elles contiennent d'avantages d'acides gras insaturés, qui possèdent une ou des doubles liaisons capables de s'ouvrir pour interagir avec l'environnement(6), elles sont issues de culture oléagineuse.... Les propriétés d'une huile végétale (texture, stabilité, qualité nutritionnelle,...) sont déterminées par le profil en acides gras saturés et insaturés ainsi que la présence d'impuretés (terpènes, tocophérol,...). Le secteur agroalimentaire constitue le marché principal des huiles végétales mais elles sont également de plus en plus utilisées comme produit de substitution aux ressources fossiles dans l'industrie chimique.

2. Composition en acides gras des huiles végétales alimentaires

La plupart des lipides simples comme les huiles sont des triacylglycérols qui résultent de l'estérification d'une molécule de glycérol avec trois molécules d'acides gras.



Les teneurs en acides gras dans certaines huiles alimentaires sont présentées dans le tableau 1 .

Tableau 1: Pourcentage des acides gras dans certaines huiles alimentaires (Harwood J. et al. 2000)

		Colza	Olive	Palme	Arachide	Argan	Soja	Tournesol	Maïs
Acide myristique	C14 :0	0,2	0,025	1,25	0,15	≤0,2	0,125	0,125	0,175
Acide palmitique	C16 :0	3,75	13,75	43,4	9,425	13,25	10,75	6,3	12,55
Acide palmitoléique	C16 :1	3	1,9	0,325	0,225	≤0,2	0,125	0,175	0,275
Acide héptadécanoïque	C17 :0	0,1	0,15	0,125	0,075	traces	0,075	ND	0,075
Acide heptadécénoïque	C17 :1	0,1	0,15	ND	0,075		0,075	ND	0,075
Acide stéarique	C18 :0	1,8	2,75	4,75	3,1375	5,75	3,7	4,6	1,675
Acide oléique	C18 :1 ω9	34	69	40	28,9	46,05	23,5	26,7	31,1
Acide linoléique	C18 :2 ω6	17	7	10,5	55,475	32,65	53,5	61,15	49,8
Acide α-linolénique	C18 :3 ω3	9	1	0,275	0,6	≤0,3	7,75	0,175	1,025
Acide arachidique	C20 :0	3	0,3	0,525	0,475	≤0,5	0,35	0,3	0,65
Acide éicosénoïque	C20 :1	9	0,2	0,225	0,2875	≤0,5	0,275	0,175	0,4
Acide éicosadiénoïque	C20 :2	1	ND	ND	0,075		0,075	ND	0,075
Acide béhénique	C22 :0	2	0,1	0,125	0,5875	≤0,2	0,375	0,9	0,275
Acide érucique	C22 :1	31	Non spécifique	ND	0,175		0,175	0,175	0,175
Acide décosadiénoïque	C22 :2	2	ND	ND	0,175		ND	0,175	ND
Acide lignocérique	C24 :0	2	0,1	ND	0,275		0,275	0,275	0,275
Acide nervonique	C24 :1	3	ND	ND	ND		ND		ND

3. Qualité nutritionnelle des huiles alimentaires

Les critères de qualité et d'authenticité des divers types d'huiles sont décrits en détail dans la norme du Codex Alimentarius et dans le règlement de la Commission Européenne CE 2568/91, ainsi que dans les amendements et les additions à ce règlement de base. Ces ensembles de normes des deux organismes sont complémentaires. On peut juger la qualité des huiles en déterminant la composition nutritionnelles de ces dernières à partir de certaines caractéristiques notamment la composition en acides gras saturés, mono-insaturés et polyinsaturés, le rapport oméga 6/oméga 3, ainsi que la teneur en antioxydants naturels tel la vitamine E dans le cas des huiles.

Tableau 2 : Composition nutritionnelle des huiles alimentaires

POUR 100 G DE L'HUILE	Energie (kJ)	MG (g)	AGS(g)	AGMI (g)	AGPI (g)	Oméga 9 (g)	Oméga 6 (g)	Oméga 3 (g)	Vitamine E (mg)	Rapport W6/W3
Huile de tournesol	3700	100,0	11,0	28,0	58,0	26,7	61,2	0,2	6,69	Très élevé
Huile de colza	3700	100,0	7,5	64,0	32,0	ND	22,5	9,5	24,30	2,36
Huile d'olive vierge extra	3700	100,0	14,0	77,0	9,0	76,0	8,0	0,6	10,50	13,33
Huile de cameline	3700	100,0	11,2	30,6	58,2	15,3	19,2	39,0	7,00	0,49
Huile de pépins de courge	3700	100,0	19,0	31,0	50,0	22,0	58,0	ND	10,00	>58
Huile de chanvre	3700	100,0	10,0	13,0	77,0	12,3	56,8	16,7	19,20	3,40
Huile de germes de maïs	3700	100,0	14,0	29,0	60,5	ND	49,8	1,0	29,50	49,80
Huile de soja	3700	100,0	16	22	63	23,5	53,5	7,75	6,90	6,90
Huile de palme	3700	100,0	50	40	10	40	10,5	0,275	38,10	38,00
Huile d'arachide	3700	100,0	16	54	39	52	27,5	0,175	1,57	Très élevé

La composition en acides gras diffère d'une huile à une autre, Les facteurs primaires affectant la composition en acides gras sont l'origine d'extraction de l'huile ainsi que les conditions de culture de ces origines fruits ou graines.

4. Caractérisation physico-chimique des huiles végétales alimentaires

Pour exprimer d'une manière physico-chimique la qualité de l'huile. On prend en considération six paramètres présentés dans le tableau 3 suivant :

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Tableau 3 : Les caractéristiques physico-chimiques de la qualité des huiles végétales alimentaires

	Indice d'iode (Wijs)	Indice de peroxyde (milliéquivalent d'oxygène actif/kg d'huile)	Indice de saponification (mg KOH/g)	Indice d'acide	Point de fumé (°C)	Densité relative
Huile de soja	131,5	5	192	0,6	230	0,922
Huile de colza	107	5	174,5	0,6	204	0,915
Huile de tournesol	129,5	5	191	0,6	200	0,92
Huile d'olive vierge extra	84,5	20	190	0,62	216	0,913
Huile de palme	52,5	5	199,5	0,6	250	0,895
Huile de cameline	139	5	189,5	0,6	203	0,916
Huile de maïs	121	5	191	0,6	232	0,921
Huile de chanvre	153,5	5	191,5	0,6	165	0,92
Huile de courge	122	5	190,5	0,6	140	0,923
huile de sésame	112	5	191	0,6	232	0,919

III. Synthèse des huiles végétales selon les exigences de base du produit

Dans un premier temps, une veille bibliographique a été effectuée sur 27 huiles végétales biologiques (non raffinées) compatibles avec l'alimentation humaine, afin de pouvoir sélectionner celles présentant des propriétés nutritionnelles et fonctionnelles intéressantes pour la sauce.

Tableau 4 : Synthèse des huiles alimentaires

Critères de sélection	Huiles alimentaires
Présence d'allergènes	Huile de blé, huile de sésame, huile de noix, huile d'amande, huile de noisette et huile d'arachide...
Taux élevé en graisses saturées	Huile de coco et huile de palme...
Difficulté de digestion	Huile de ricin (présence d'acide ricin oléique)...
Interdite au niveau de la réglementation européenne (France)	Huile de lin
Pas de source d'oméga 3	Huile d'argan, huile de carthame, huile de tournesol, huile d'onagre, Huile de bourrache et huile d'avocat...
Rapport W6/W3 très élevé	Huile de tournesol, Huile d'arachide...
Absente sur le marché avec la certification biologique	Huile de maïs...

En premier lieu, les huiles dont la culture impacte de manière très néfaste l'environnement en raison d'une surexploitation ont été éliminées du panel (huile de soja, huile de palme et de palmiste), au même titre que l'huile de coco, dont la teneur en acides gras saturés très élevée

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

(environ 90%) est non souhaitée. Celles présentant des risques d'allergénicité ont également été écartées (huile d'arachide, de sésame, de noix, de noisette, d'amande, de pistache, de moutarde et de germes de blé). Il en est de même pour celles présentant un rapport oméga-6/oméga-3 trop élevé car supérieur à 35 (huile de carthame, de tournesol, de coton, d'argan, d'onagre, de pépins de raisin, de germes de maïs et d'œillette). Par la suite, elle a été décidé d'éliminer les huiles de son de riz et d'avocat, étant donné qu'elles ne sont ni riches en acides gras oméga-3, ni en vitamine E. L'huile de cameline, malgré ses propriétés nutritionnelles intéressantes, a également été écartée en raison de sa saveur herbacée très forte et incompatible avec celle d'une sauce de type « mayonnaise ».

Conclusion :

Suite à ce constat, on a gardé les quatre huiles suivantes: huile de colza, huile d'olive vierge extra, huile de chanvre, huile de pépins de courge. En revanche, ces huiles présentent pratiquement toutes les caractéristiques nutritionnelles souhaitées, ainsi que des propriétés organoleptiques très intéressantes.

IV. Préparation du cahier des charges des huiles

Pour l'échantillonnage de chaque matière première, il est indispensable de préparer un cahier des charges qui va décrire la matière que l'on est amené à utiliser. Pour le cas des huiles voir le cahier des charges en annexe 3.

Un cahier des charges comporte les points suivant :

- Description générale du produit.
- Les caractéristiques recherchées.
- Les coordonnées de l'entreprise en question.

V. Recherche des fournisseurs des huiles certifiées agriculture biologique

Pour la formulation d'un produit alimentaire, il est important de sélectionner et fixer les matières premières que l'on est amené à utiliser. Un aliment tel que les huiles alimentaires, ce sont des matrices peu complexes, et ce sont des produits relativement similaires d'un fournisseur à l'autre, que ce soit d'un point de vue fonctionnel ou organoleptique. Le choix dans ces cas-là se portera souvent sur la qualité du produit :

- Pureté
- Prix

Il faut préciser que malgré leur caractère simple/invariant, les huiles utilisés, jouent tout de même un rôle non négligeable dans la saveur et la flaveur du produit fini, et leurs caractéristiques organoleptiques sont susceptibles de varier d'un producteur à un autre et ce en raison des conditions d'extraction de ces huiles ainsi que du mode de conditionnement proposé par le fournisseur.

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Les matières premières utilisées dans un premier temps provenaient toutes d'un magasin parisien d'alimentation certifiée biologique.

1. Les huiles alimentaires

Pour les huiles, le principal critère de sélection fut le prix, pour les raisons évoquées précédemment. Les huileries est très développée en France, Vegean, Emile Noël et Biopress sont les principaux producteurs de l'huile et ayant la certification biologique. Cependant, compte tenu des faibles volumes consommés par Algama et ce, même en imaginant les premières productions industrielles, il n'est pas envisageable de se tourner directement vers ces groupes qui fournissent des volumes trop imposant. Il a fallu se rabattre vers des distributeurs qui disposent de plus de souplesse en ce qui concerne les volumes. Naturalia faisait partie des distributeurs les plus susceptibles d'être adapté à nos besoins. D'un distributeur à l'autre, ces produits s'avèrent très semblable, à tel point que le choix final c'est fait quasi-exclusivement par rapport au prix de vente.

2. Difficultés rencontrées

La recherche de fournisseurs, dans le contexte du stage et en règle générale, s'accompagne de désagréments et autres difficultés auxquelles il faut être capable de réagir.

Le stage se déroulant au sein d'une jeune entreprise, celle-ci ne possède pas de base de données fournisseur. La recherche d'une matière première particulière signifie donc qu'il faut consulter les sites, catalogues et démarcher directement les entreprises afin de recevoir les fiches techniques des produits d'intérêts. Rapidement, on se rend compte que le contact par mail n'est, pour beaucoup d'entreprise, pas la solution la plus rapide pour obtenir ce que l'on souhaite. Un appel téléphonique reste le plus efficace, même si pour cela il faut passer par plusieurs interlocuteurs qui vous renvoient vers leurs collègues plus aptes à vous répondre. A cet instant, le principal avantage en évoluant dans une start-up, reste la synergie d'entreprise puisqu'il n'y a quasiment pas d'intermédiaires, contrairement aux entreprises plus imposantes.

D. Matériels et méthodes

I. Matériels

Le matériel utilisé pour la production de la sauce et pour la réalisation des analyses est :

- Béchers
- Spatules
- Mixeur
- Agitateur magnétique
- Plaque à induction
- Thermomètre
- Bain marie
- Balance
- Barreaux magnétiques

- Broyeur

Et pour la mesure de certains paramètres on trouve aussi :



- **Viscosimètre (Rheomat RM 200 LAMY RHEOLOGY)**



- Mesureur de PH



- Etuve chauffante

II. Méthodes d'analyses

1. Analyse sensoriel : Panel sensoriel (20) (21)

a. *Définition*

L'analyse sensorielle permet d'étudier les caractéristiques sensorielles des produits en faisant intervenir l'homme comme instrument de mesure : examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes des sens (odorat, vue, toucher, ouïe, goût).

b. *Objectifs généraux*

Selon le but recherché, les approches sont différentes :

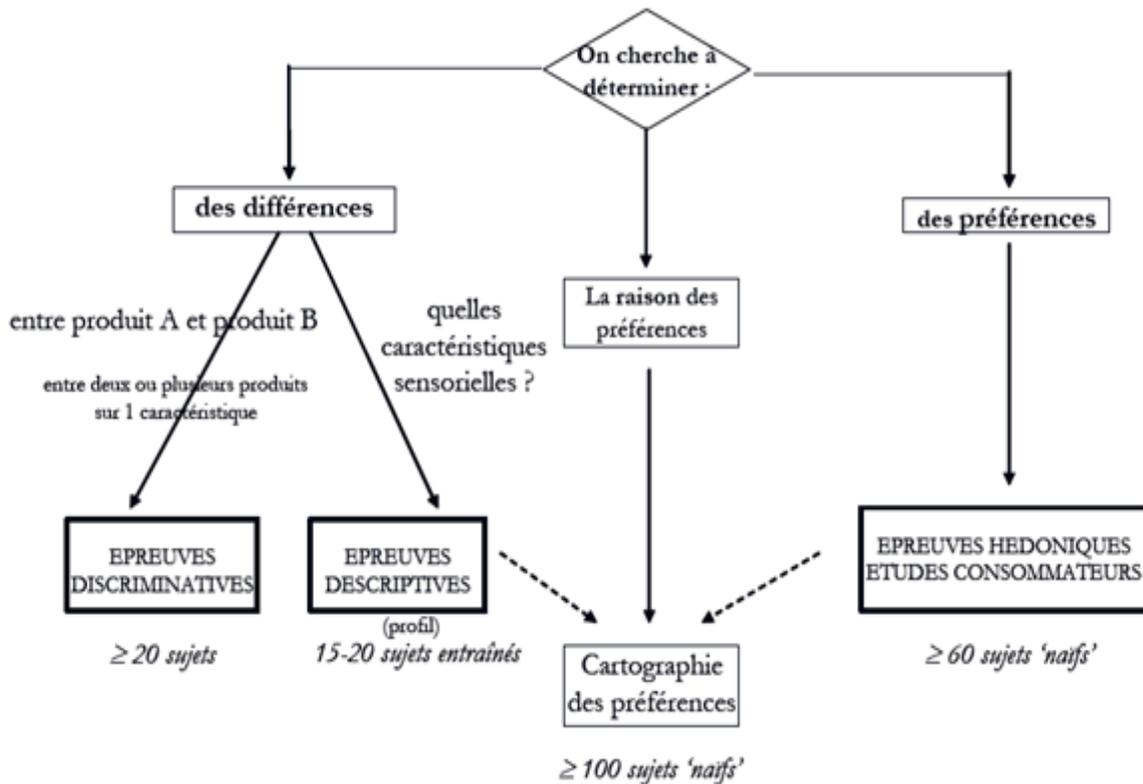


Figure 21: Les différents objectifs de l'évaluation sensorielle

c. *Objectif majeur*

En **R&D** : pour la mise au point d'un nouveau produit, pour la corrélation entre un changement de formulation et une modification des qualités sensorielles d'un produit. L'analyse sensorielle permet d'obtenir une description complète d'un produit, afin de mieux connaître ses produits et de pouvoir ainsi mieux communiquer dessus.

Le **profil sensoriel** est le test le plus utilisé en R&D.

d. *Profil sensoriel (20)*

▪ *Définition*

Selon la norme [ISO 11035](#) le profil sensoriel est une utilisation de termes descriptifs pour évaluer les propriétés sensorielles d'un échantillon et l'intensité de chaque propriété. Il a pour objet de décrire les caractéristiques sensorielles d'un produit.

▪ *Principe*

Recherche et sélection d'un ensemble de descripteurs pertinents permettant de donner le maximum d'informations sur les propriétés sensorielles du produit à analyser, dans le but d'élaborer un profil sensoriel.

- **Principe :**

L'analyse viscosimétrique est une analyse physico-chimique, elle est basée sur l'application au fluide d'un gradient de vitesse de cisaillement grâce à un viscosimètre à fin de mesurer la friction interne de ce produit pour caractériser l'aptitude de ce dernier à s'écouler et de décrire ses propriétés en écoulement.

- **Technique :**

En utilisant un viscosimètre rotatif et après avoir rempli le réceptacle du fluide à analyser, sa viscosité dynamique à 100 s⁻¹ et son seuil d'écoulement pour un gradient de vitesse de cisaillement de 0 à 10 s⁻¹ sont déterminés selon le modèle de Casson à l'aide d'un rhéomètre, à une température d'environ 19,7°C ± 2°C (Rheomat RM 200 LAMY RHEOLOGY).

b. **Analyse du pH**

- **Principe :**

La mesure du pH est une analyse physico-chimique qui permet de mesurer le niveau d'acidité d'une solution qui résulte des réactions d'échange de l'ion H⁺ (appelé aussi proton). Le pH est relié à l'activité des ions H⁺ solvatés par les molécules de solvant dans lequel ils ont été dissous. La mesure se fait grâce au pH-mètre.

- **Technique :**

En utilisant un pH-mètre et après avoir étalonné son pH, le pH des échantillons à analyser est déterminé directement sur l'appareil après introduction de la sonde du pH-mètre dans le produit.

3. Analyse Réglementaire :

En termes de réglementation européen, pour définir les allégations santé associées à chaque nutriment qui rentre dans la formulation en huile du produit et après avoir déterminer les seuils significatifs de leurs présence dans une portion bien précise du produit fini, il a fallu suivre et respecter les normes de la réglementation :

RÈGLEMENT (UE) N° 432/2012 DE LA COMMISSION du 16 mai 2012 : établissant une liste des allégations de santé autorisées portant sur les denrées alimentaires, autres que celles faisant référence à la réduction du risque de maladie ainsi qu'au développement et à la santé infantiles.

RÈGLEMENT (UE) N o 1169/2011 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 25 octobre 2011 : Concernant l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires, modifiant les règlements (CE) n o 1924/2006 et (CE) n o 1925/2006 du Parlement européen et du Conseil.

Pour établir le profil sensoriel, ainsi que de caractériser/mesurer/quantifier chaque descripteur d'un profil donnée de la mayonnaise ou de n'importe quel produit en

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

développement, il a fallu suivre les règles s'appliquant à l'élaboration et au déroulement de panel.

Norme ISO 11035 : Analyse sensorielle - Recherche et sélection de descripteurs pour l'élaboration d'un profil sensoriel, par approche multidimensionnelle

Analyse sensorielle - Guide général pour l'évaluation sensorielle - Description, différenciation et mesure hédonique NF V09-501 (2010-04-01)

Analyse sensorielle- Vocabulaire d'analyse sensorielle ISO 5492

E. Résultats expérimentaux et discussion

I. Etude des propriétés nutritionnelles du produit

Après échantillonnage des huiles une caractérisation organoleptique et nutritionnelles des huiles sélectionnées a été effectuée à fin de confirmer les allégations santé relatives au produit en termes de matières grasses.

Tableau 5 : Caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles d'intérêt des huiles sélectionnées (Source : fournisseurs d'huile Vigean, Emile Noël)

Huile végétale	Couleur	Saveur	Rapport oméga-6/oméga-3	Teneur en acides gras oméga-3		Teneur en vitamine E	
				Source en oméga-3 pour 25% d'huile dans le produit fini	Riche en oméga-3 pour 25% d'huile dans le produit fini	Source de vitamine E pour 25% d'huile dans le produit fini	Riche en vitamine E pour 25% d'huile dans le produit fini
Colza	Jaune pâle	Discrète, neutre, légèrement soufrée et herbacée	1,80	Oui	Oui	Oui	<i>Oui</i>
Olive	Jaune à reflets verts	Fruitée forte	7,00	Oui	<i>Non</i>	Oui	<i>Non</i>
Chanvre	Vert tendre	Discrète, légèrement herbacée et fraîche	0,17	Oui	Oui	Oui	<i>Non</i>
Pépins de courge	Brune à reflets rouges	Céréalière et fruitée	5,00	Non	Non	Oui	<i>Non</i>

D'après ce tableau, on constate que les différentes sauces formulées avec 100% de l'huile d'olive ou de l'huile de pépins de courge ou de l'huile de chanvre présentent des saveurs particulièrement trop forte et notamment désagréable à la consommation, aussi elles ne répondent pas aux allégations de santé recherchées dans la recette Algama. Par contre le produit avec 100% de l'huile de colza présente une saveur moins forte et plus agréable à la consommation et en plus elle respecte les règles de la réglementation en termes d'allégations nutritionnelles et de santé.

II. Formulation théoriques des mix d'huile

1. Le mélange d'huiles idéal pour remplir les objectifs nutritionnels de la sauce

Après une première analyse sensorielle de sauces formulées selon la recette d'Algama et comportant 100% de chacune de ces huiles, il a pu être constaté que celles d'olive, de chanvre et de pépins de courge conféraient à la sauce une saveur particulière, trop forte pour être agréable. L'huile de colza, au contraire, a été perçue comme beaucoup plus douce et discrète. Pour cette raison, il a été décidé de réaliser, pour le panel de consommateurs, des mélanges d'huiles formulés à partir de 90 et 80% d'huile de colza, et respectivement 10 et 20% d'huiles d'olive, de chanvre ou de pépins de courge. En plus de satisfaire tous les objectifs nutritionnels en termes de richesse en acides gras oméga-3 et de source en vitamine E, il sera alors possible de choisir un mélange optimal qui puisse satisfaire les cibles organoleptiques du produit, mais aussi lui conférer une certaine typicité, tout en présentant les avantages économiques les plus avantageux.

Huiles (prototype du panel consommateurs) :	25% huile de colza
	22,5% d'huile de colza + 2,5% d'huile d'olive
	20% d'huile de colza + 5% d'huile d'olive
	22,5% d'huile de colza + 2,5% d'huile de chanvre
	20% d'huile de colza + 5% d'huile de chanvre
	22,5% d'huile de colza + 2,5% d'huile de courge
	20% d'huile de colza + 5% d'huile de courge

2. Propriétés nutritionnelles du produit pour des mélanges d'huile différents

Afin de vérifier les objectifs à atteindre pour arriver à la recette d'Algama, une étude des propriétés nutritionnelles du produit en intégrant à chaque fois un mix d'huiles différent sera efficace. Le tableau ci-dessous résume ces caractéristiques.

Tableau 6 : Caractéristiques et nutritionnelles d'intérêt des mélanges d'huiles sélectionnées

Produit fin substitué en matière grasse	Rapport oméga6 / oméga3	Teneur en acides gras oméga-3		Teneur en vitamine E	
		Source en oméga-3	Riche en oméga-3	Source de vitamine E	Riche en vitamine E
Produit fine avec 25% huile de colza	1,80	Oui	Oui	Oui	<i>Oui</i>
Produit fini avec 22,5% d'huile de colza + 2,5% d'huile d'olive	2.40	Oui	Oui	Oui	<i>Oui</i>
Produit fini avec 20% d'huile de colza + 5% d'huile d'olive	2.5	Oui	Oui	Oui	<i>Oui</i>
Produit fini avec 22,5% d'huile de colza + 2,5% d'huile de chanvre	2.50	Oui	Oui	Oui	<i>Oui</i>
Produit fini avec 20% d'huile de colza + 5% d'huile de chanvre	2.70	Oui	Oui	Oui	<i>Oui</i>
Produit fini avec 22,5% d'huile de colza + 2,5% d'huile de pépins de courge	3.00	Oui	Oui	Oui	<i>Oui</i>
Produit fini avec 20% d'huile de colza + 5% d'huile de pépins de courge	3.90	Oui	Oui	Oui	<i>Oui</i>

En se basant sur les résultats de ce tableau, on conclue qu'avec les mélanges d'huiles on peut atteindre les cibles recherchées pour la sauce Algama, car toutes les sauces sont riches en acides gras de la famille des oméga 3 et de la vitamine E, ainsi le rapport oméga 6/oméga 3 est intéressant pour chaque formule.

III. Analyse du produit fini en termes de matières grasses

1. Analyse sensoriel de la sauce

Afin de fixer les paramètres organoleptiques à mesurer ainsi que les bornes inférieures et supérieures de chaque paramètre et pour chaque sauce substituée en matières grasses, une détermination des éléments à caractériser est indispensable. Le tableau ci-joint récapitule les différentes caractéristiques à analyser du produit.

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Tableau 7: Caractéristiques organoleptiques à analyser du produit

Eléments à caractériser	Paramètres à mesurer	Méthode de mesure	Borne inférieur(0) et supérieur(5) de chaque paramètre
Aspect visuel	Couleur	Panel sensoriel	0 : Blanc 5 : Jaune foncé (Coque de la banane)
	Brillance	Panel sensoriel	0 : Aspect non brillant (aspect mat) 5 : Aspect très brillant (Forte réflexion de la lumière)
Texture au toucher	Elasticité	Panel sensoriel	0 : Texture non élastique, à rupture franche 5 : Texture très élastique
	Adhérence	Panel sensoriel	0 : Texture non adhérente à la cuillère 5 : Texture très adhérente à la cuillère
	Fluidité	Panel sensoriel	0 : Texture très épaisse, aspect consistant et dense 5 : Texture très fluide, peu visqueuse
Textures-en bouche	Onctueux	Panel sensoriel	0 : Texture non onctueuse (Très hétérogène, peu lisse) 5 : Très onctueuse (Lisse, impression de gras)
	Collant	Panel sensoriel	0 : Texture en bouche non collante, très fluide 5 : Texture très collante en bouche, adhérente au palais
Saveur	Acide	Panel sensoriel	0 : Saveur acide non perceptible 5 : Saveur acide très fortement perceptible
	Herbacé	Panel sensoriel	0 : Saveur herbacé non perceptible 5 : Saveur herbacé très fortement perceptible
	Fruité	Panel sensoriel	0 : Saveur fruité non perceptible 5 : Saveur fruité très fortement perceptible
	Céréalière	Panel sensoriel	0 : Saveur céréalière non perceptible 5 : Saveur céréalière très fortement perceptible
Odeur	Acide	Panel sensoriel	0 : Odeur acide non perceptible 5 : Odeur acide très fortement perceptible
	Herbacé	Panel sensoriel	0 : Odeur herbacé non perceptible 5 : Odeur herbacé très fortement perceptible
	Fruité	Panel sensoriel	0 : Odeur fruité non perceptible 5 : Odeur fruité très fortement perceptible
	Céréalière	Panel sensoriel	0 : Odeur céréalière non perceptible 5 : Odeur céréalière très fortement perceptible

2. Analyses physico-chimiques de la sauce

c. Détermination de la viscosité dynamique et du seuil d'écoulement de la sauce

La mayonnaise est un fluide rhéoépaississant : sa viscosité augmente lorsque le taux de cisaillement s'élève en raison de la mise en œuvre d'émulsifiants et de stabilisants dans sa formulation. Il s'agit en outre d'un fluide de Casson, caractérisé par un comportement de solide parfait sous de faibles contraintes et un comportement de fluide visqueux au-delà d'une contrainte-seuil de pression [19].

Dans l'objectif de chercher l'effet de l'utilisation des types différents de l'huile dans la formulation de la mayonnaise, 7 sauces différentes ont été analysées de manière physicochimique, par viscosimétrie.

Afin de pouvoir comparer entre les différentes mayonnaises, les résultats de l'étude viscosimétrique sont les suivantes :

Tableau 8: Etude viscosimétrique des mayonnaises

Sauce	Mesure physicochimique : Viscosité dynamique à 100 s ⁻¹ (Pa.s)	Mesure physicochimique : Seuil d'écoulement de 0 à 10s ⁻¹ (Pa)
Témoin : Mayonnaise (25% de l'huile de colza non biologique)	1.170	34.9
Mayonnaise (25% de l'huile de colza biologique)	1.030	40.9
Mayonnaise (22.5% de l'huile de colza biologique et 2.5% de l'huile d'olive vierge extra bio)	0.837	35.3
Mayonnaise (22.5% de l'huile de colza biologique et 2.5% de l'huile de courges bio)	0.920	40.1
Mayonnaise (22.5% de l'huile de colza biologique et 2.5% de l'huile de chanvre bio)	0.837	39.4
Mayonnaise (20% de l'huile de colza biologique et 5% de l'huile d'olive vierge extra bio)	0.816	44.6
Mayonnaise (20% de l'huile de colza biologique et 5% de l'huile de courges bio)	0.803	40.8
Mayonnaise (20% de l'huile de colza biologique et 5% de l'huile de chanvre bio)	0.501	23.8

Les valeurs à cibler pour la sauce d'Algama concernant ces deux grandeurs sont les suivantes :

- Viscosité dynamique : environ $2,2 \pm 0,2$ Pa.s à 100 s⁻¹
- Seuil d'écoulement pour une contrainte de cisaillement comprise entre 0 et 10 s⁻¹: 54,5 ± 5Pa

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

• Conclusion

La viscosité dynamique de la mayonnaise ne semble pas influencée par le type de l'huile où le mélange des huiles utilisées dans la formulation du produit car toutes les valeurs se rapprochent entre eux. Par ailleurs, ce qu'il faut bien savoir c'est que l'utilisation des huiles biologiques non raffinées peut diminuer faiblement la viscosité de la mayonnaise par rapport à l'utilisation des huiles raffinées comme indique le résultat du témoin (Mayonnaise avec de l'huile de colza non biologique). Et on pourra expliquer ce phénomène par la présence des molécules particulières qui restent libre dans ces huiles biologique non raffinées (Ex : Mono glycérides, Di glycérides...etc.)

d. Optimisation du pH

Parmi les paramètres à fixer pour optimiser la phase lipidique d'une mayonnaise est le pH. Un pH approximatif permet d'obtenir une mayonnaise ayant une acidité correcte. Cependant, celui-ci est très dépendant d'autres ingrédients qui rentrent dans la formule de la mayonnaise tels que le jus de citron, le vinaigre de cidre et la farine des micro-algues utilisée. Si bien qu'il faut bien respecter les mêmes doses de ces ingrédients pour chaque formule pour pouvoir au mieux détecter l'influence du type d'huile ainsi que les quantités de ces huiles introduites sur le pH final de la mayonnaise qui doit être de l'ordre de 3.5.

L'objectif, ici, est de mesurer le pH de la mayonnaise obtenue en fonction de la nature et de la quantité des huiles ajoutées (25g de l'huile dans 100g de la mayonnaise). Ainsi, une lecture au pH-mètre de la mayonnaise permettrait de déterminer le type d'huile ou le mélange d'huiles à incorporer pour atteindre le pH cible.

Tableau 9 : Impact de certains mélanges de l'huile sur le pH de la mayonnaise préparée à base de l'huile

Essais	Différentes Formules de la mayonnaise en termes de la composition en huile		PH
Témoin	Mayonnaise avec 25% de l'huile du colza non biologique		3.32
Echantillon A	Mayonnaise avec 25% de l'huile du colza biologique		2.94
Echantillon B	Mayonnaise avec 22.5% de l'huile du colza biologique et	2.5% de l'huile de chanvre biologique	2.95
Echantillon C		2.5% de l'huile de pépins de courge biologique	2.91
Echantillon D		2.5% de l'huile d'olive vierge extra biologique	2.94
Echantillon E	Mayonnaise avec 20% de l'huile de colza biologique et	5% de l'huile chanvre biologique	2.92
Echantillon F		5% de l'huile de pépins de courge biologique	2.97
Echantillon G		5% de l'huile d'olive vierge extra biologique	2.94

Le tableau 9 visible en dessus permet de mettre en évidence l'évolution du pH qui se produit lors de la variation de l'huile et les mix d'huiles utilisées.

En théorie, le pH cible de la mayonnaise qu'on cherche à développer doit être égal à 3.5. L'aspect biologique de l'huile a cependant une influence non négligeable sur la mesure de celui-ci. En effet, le pH de la mayonnaise en utilisant de l'huile raffinée non biologique sera différent en utilisant de l'huile vierge biologique (lorsque l'huile est raffinée, le pH de la mayonnaise est plus important par rapport à celle produite à base d'une huile vierge biologique). Ainsi, on n'a pas pu déterminer à l'aide de ce tableau quel type de l'huile à utiliser car les pH de tous les échantillons se rapprochent entre eux néanmoins, le type de l'huile ajouté n'influence pas d'une manière significative le pH final du produit. Pour pouvoir atteindre le pH cible, il faut optimiser d'autres paramètres qui agissent sur le pH ou bien d'ajouter un correcteur d'acidité dans la formule.

IV. Analyse sensoriel du produit Yogi

a. *Etablissement du profil sensoriel de chaque essais de la sauce Yogi*

Dans le but de déterminer la formule de la sauce la plus adapté pour Algama à partir de 7 versions différentes du produit substitué en matières grasses, une analyse sensorielle de ces produits a été effectuée au laboratoire d'Agoranov par un panel interne constitué de 9 membres d'Algama, naïfs et initiés au vocabulaire employé dans le test 15 minutes avant la dégustation. Le visuel, la composition en ingrédients et en nutriments, les allégations, les conditions de conservation et les informations économiques relatives à chaque produit sont présentés en *Annexe 5*.

Le protocole, standardisé, a consisté à homogénéiser par mélange succinct chaque sauce avant d'en introduire 20 g dans un pot transparent codé et couverclé, en le maintenant à $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ avant dégustation, puis en le sortant à température ambiante environ 5 minutes avant l'analyse afin que chaque produit atteigne une température de $10^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ à cœur [17].

Les produits ont été dégustés en aveugle et en monadique séquentiel, c'est-à-dire en étant codifiés de manière aléatoire avec un nombre à trois chiffres et évalués les uns après les autres. Ils ont ainsi été analysés par la méthode du profil sensoriel grâce à l'évaluation de 21 descripteurs notés sur une échelle croissante de 0 à 5, la modalité 0 correspondant à « nul(le), absence » et 5 à « très marqué(e), forte présence », selon la norme ISO 13299:2003 [18]. La grille d'évaluation est présentée en *Annexe 1*.

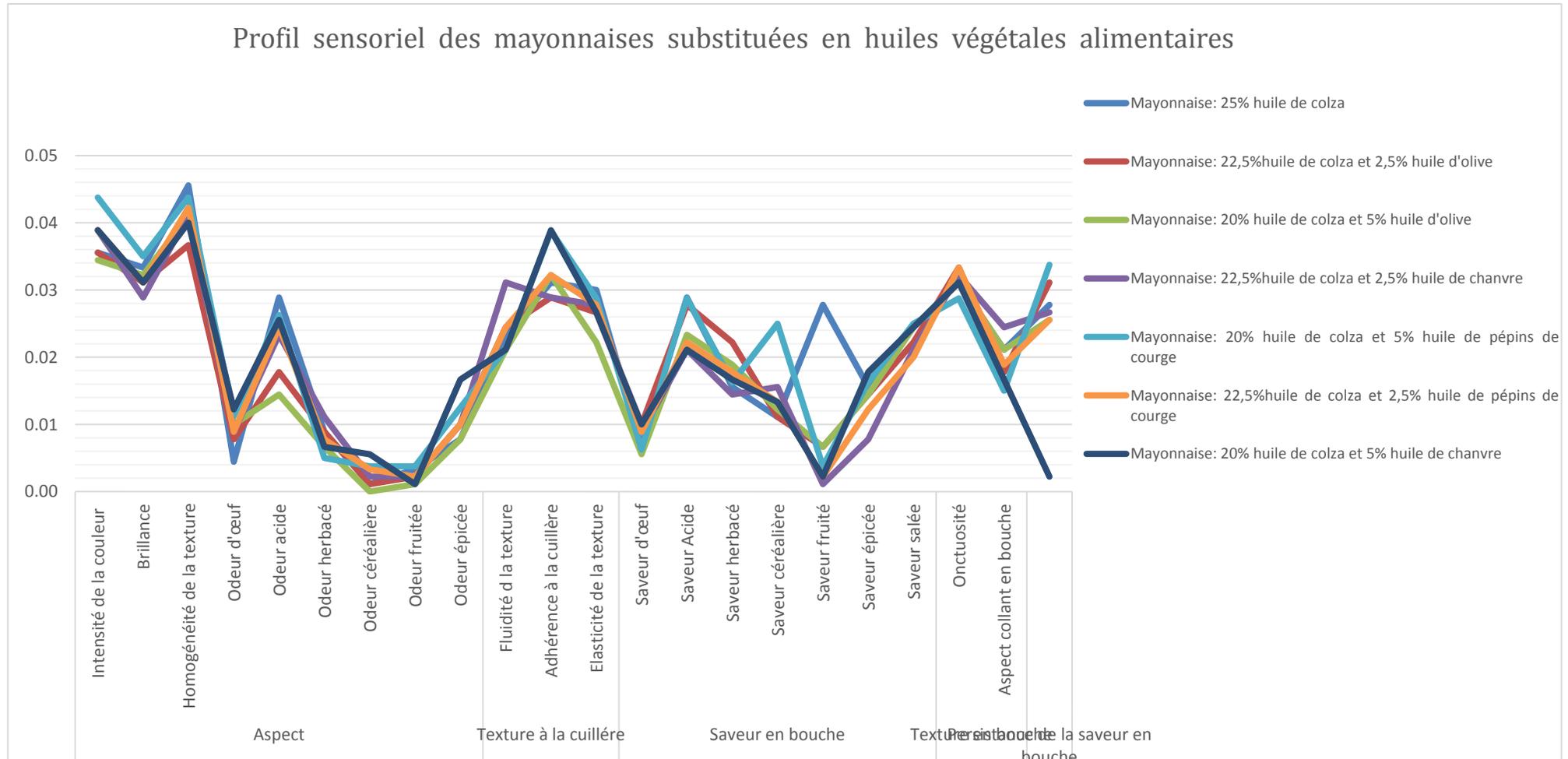


Figure 23 : Profils sensoriels de 7 mayonnaises substituées en matières grasses. Les moyennes et écarts-types des échantillons pour chaque descripteur sont précisés en Annexe 4

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

D'après les résultats des profils sensoriels, il peut être remarqué dans un premier temps que la composition en huile des mayonnaises ne possède pas une influence significative sur presque la totalité des descripteurs sensoriels. En effet, la saveur acide et céréalière est très remarquée au niveau de la formule contenant 5% de l'huile de pépins de courge et la saveur fruité et l'odeur acide sont très remarquées au niveau de la formule contenant 25% de l'huile de colza. En revanche, la texture collante en bouche de la mayonnaise formulée pour 2.5% de l'huile de chanvre est fortement perceptible par rapport aux autres formules.

D'après le graphique on peut remarquer aussi que la texture au visuel et plus homogène et moins élastique chez la mayonnaise produite pour 25% de l'huile de colza et encore plus fluide pour la mayonnaise formulée pour 2.5% de l'huile de chanvre.

Par ailleurs, il est aussi intéressant de dire que, globalement, la mayonnaise contenant 5% de l'huile de chanvre ou de pépins de courge ou bien de l'huile d'olive sont ceux dont la texture est la plus dissemblable aux autres : elles sont en effet plus fluide mais aussi moins adhérente et nappante à la cuillère, et a été jugée par la majorité des panelistes comme « élastique » et « gluante » à la cuillère comme en bouche. De surcroît, une odeur d'œuf semblable à celle des mayonnaises en contenant a été perçue par les panelistes alors que la formule de cette sauce n'en possède pas.

D'un point de vue hédonique, parmi les panelistes, 80% environ ont préféré la sauce contenant 25% de l'huile de colza pour sa typicité de saveur (Saveur fruité) et d'aspect (couleur jaune et brillante). Néanmoins ils ont considéré cette sauce comme la plus appétissante en raison d'une texture très homogène et d'une couleur jaune intermédiaire entre la couleur jaune claire et jaune intense, semblant « naturelle ». La totalité du panel l'a de ce fait jugée comme « la plus bonne sauce parmi les 7 ».

V. Mise en place de panels

L'élaboration des prototypes alimentaires implique généralement la mise en place de panels. Ceux-ci peuvent servir divers objectifs comme aider à établir le profil sensoriel d'un produit, ou encore mettre en lumière un prototype par rapport à un autre (1) (2). Compte tenu des moyens et du contexte, certains panels mis en place ne furent effectués que sur un nombre relativement restreint de participants, en partie membres de l'équipe d'Algama et du centre d'Agoranov.

L'un de ces tests, réalisé afin de déterminer quel(s) type ou mélange d'huile étai(en)t intéressant(s) à retenir pour la formulation de la mayonnaise « Yogi », fut mené la fin du mois de mai.

1. Protocole

a. Informations générales

Objectif du test : Classement des produits testés selon l'ordre de préférence comme indiquer sur la grille d'évaluation du test (Annexe 2).

Date : 28 mai 2015

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Projet : Sauce froide de type mayonnaise

Lieu : Laboratoire d'Algama (76bis boulevard Raspail, 75006 PARIS)

b. Description du panel

Type de panel (interne/externe/mixte) : Panel interne

Qualité des panélistes (naïf/expert) : Naïfs

Nombre de panélistes : 7

c. Description du test

N° du test	Type de test	Norme associée	Critères mesurés
1	Epreuve de classement	ISO 8587 (3)	Hédonique

2. Déroulement de séance

Le test se déroule dans une salle, la plus isolée possible de l'environnement extérieur (Sons, personnes, odeurs, couleurs, etc.).Après explication des consignes, le sujet se voit présenter simultanément quatre échantillons que celui-ci va devoir classer (après dégustation) dans l'ordre de ses préférences. Il a la possibilité de déguster les échantillons dans l'ordre qu'il souhaite et autant de fois qu'il juge nécessaire pour établir un classement.

Chaque échantillon est ordonné de la même façon, en quantité et à température égale. Ils sont présentés par un code à 3 chiffres.

Les panélistes ne sont pas entraînés à l'analyse sensorielle.

3. Résultats obtenus/ interprétations

« Nombre de panelistes » $b=7$

« Nombre de produits testés » $t=7$

« Nombre de produits testés par chaque paneliste » $K=4$

Tableau 10 : Classements obtenues pour chaque prototype

	A=772	B=115	C=260	D=212	E=788	F=967	G=823
Panéliste1	2	1	4	3			
Panéliste2				2	1	3	4
Panéliste3		3	1	2	4		
Panéliste4	1				3	2	4
Panéliste5	1	2	3		4		
Panéliste6		2		1		3	4
Panéliste7	2		1			4	3

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Pour les différents tests, on considérera que le risque α (probabilité de conclure qu'il existe une différence pour le panéliste alors qu'il n'en existe pas) est égal à 5%.

a. *Test de Durbin*

$$T_2 = \frac{T_1 / (t - 1)}{(bk - b - T_1) / (bk - b - t + 1)}$$

Avec :

t : Nombre total de produits testés.

K : Nombre de produits testés par chaque panéliste.

b : Nombre de panélistes participants et

$$T_1 = \frac{t - 1}{A - C} \sum_{j=1}^t (R_j^2 - rC)$$

Avec :

r : Nombre de fois que chaque produit apparaît.

R_j : Somme des rangs de chaque produit i dont j correspond à un des panélistes (pour A, i=1 et R_j=2+1+1+2 donc R_j=6) et

$$A = \sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^j R(X_{ij})^2 \quad \text{et} \quad C = \frac{1}{4}bk(k+1)^2$$

$$\text{et} \quad R_j = \sum_{i=1}^b R(X_{ij})$$

▪ *Résultats :*

	A	B	C	D	E	F	G
R _j	6	8	9	8	12	12	15
R _j ²	36	64	81	64	144	144	225

On a t=7, k=4, b=7 et r=4 , en remplaçant ces indices dans les formules A,C, et T1 on aura les valeurs suivantes : C=175, A=210 et T1=-710,057143

On remplaçant T1, t, b et k par leurs valeurs dans T2 on aura le résultat suivant :

$$T_2 = -2,42818619$$

Pour $\alpha=0.05$, la région critique est donnée par

$$T_2 > F_{\alpha, k-1, bk-b-t+1}$$

Dont $F_{\alpha, k-1, bk-b-t+1}$ est donnée par la loi de Fisher-Snedecor, avec :

$k-1=3$: degré de liberté du numérateur.

$Bk-b-t+1=15$: degré de liberté du dénominateur

- *Interprétation du test :*

H_0 : Les produits sont également préférés.

H_1 : Les produits sont inégalement préférés.

Selon la table de loi de Fisher $F_{0.05, 3, 15} = 3.29$, donc :

$T_2 < F_{0.05, 3, 15}$

Avec $T_2 < F_{0.05, 3, 15}$ on peut conclure que les sept mayonnaises sont également préférés. Pour cette raison, il n'est pas possible en termes de préférence de choisir un produit parmi les sept et de le juger idéal.

- *Analyse critique de la démarche*

Il y a beaucoup à dire sur les conditions dans lesquelles s'est déroulé le test. Tout d'abord, il faut noter que les résultats du test sont jugés non significatifs à cause de nombre de panélistes qui est de l'ordre de 7. Dans les conditions normales il aurait été plus intéressant de faire passer 60 panélistes au minimum.

Les panelistes se voyaient présenter des quantités de la mayonnaise (environ 5g) ; cependant, il arrivait qu'elles ne soient pas toutes également proportionnées, ce qui pouvait influencer dans une moindre mesure le paneliste. En ce qui concerne les conditions environnementales dans lesquelles s'est déroulé le test, elles sont plus que discutables.

Tableau 11: Evaluation des conditions expérimentales du test

Critère	Laboratoire Algama
SONORE	Moyennement satisfaisant : Pollution sonore de Paris
OLFACTIF	
PIECE	Moyennement satisfaisant : Pièce chargée (matériel de laboratoire, bureaux, affiches). Eclairage correct, murs blanc.
PLAN DE TRAVAIL	Moyennement satisfaisant : Paillasse de laboratoire. Dispositif et support plastique différents (4 plans de travail). Certains étaient face à un mur (sensation d'isolement) d'autres face à un bureau. Les supports plastiques étaient de blancs, rouge, verts et rose (influence sur la perception visuelle du produit).
ACCESOIRES	Satisfaisant : Un verre d'eau, des cuillères, des frites pour la dégustation et une fiche à remplir (voir en Annexe 2).
CONTEXTE	Pré-test : Explication succincte de l'activité d'Algama (Objectifs, volonté de démocratiser les micro-algues dans l'alimentation). Explication orale des consignes Test : Le responsable du test reste à proximité du paneliste, silencieux (si besoin apporte son aide si cela est jugé utile) Post-test : Présentation des différents échantillons qu'il a testé. Discussion succincte sur son appréciation générale des échantillons « Mayonnaise » Rappel consigne « ne pas divulgué d'informations sur le contenu du test à d'éventuels futurs paneliste durant la durée des tests ».

Dans ces conditions, plusieurs facteurs jouent sur l'expérience gustative, tel que le parfum porté par le paneliste, sa consommation de tabac, café et autre aliments plus ou moins récente.

VI. Sélection en termes du coût de revient de chaque mayonnaise formulée

D'après les résultats obtenus après chaque analyse effectuée sur le produit fini formulé avec des mix d'huiles différents, on constate dans un premier temps qu'il est difficile de choisir une formule d'huiles parmi les sept formules proposées et de la considérer comme la plus idéale pour l'incorporer dans la recette Algama. Malgré cette difficulté, et même si toutes les mélanges d'huiles influent approximativement de la même manière le produit fini, on peut conclure selon les données du profil sensoriel de chaque sauce que le produit formulé avec 25% huile de colza biologique est le plus proche à la recette Algama en termes de cibles organoleptiques recherchées, et pour s'assurer de ce résultat pertinent et que l'on peut pas considérer comme résultat final à cause des données physicochimiques et allégations nutritionnelles qui sont presque les mêmes, on a pensé à faire une sélection selon le coût de revient de chaque sauce, et le tableau ci-dessous montre quelques informations économiques associées à chaque sauce substituée en matières grasses.

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

Tableau 12 : Informations économiques sur la mayonnaise en substituant la matières grasses utilisées

	Formule théorique	Nom commercial	Marque de référence	Proportions	Prix au kg ou au L	Prix au kg rapporté à la formule
Mayonnaise A	Huile de colza	Huile de colza	Biopress	25,00%	7,75 €	1,94 €
	Coût de 100g de la mayonnaise A					
Mayonnaise B	Huile de colza	Huile de colza	Biopress	20,00%	7,75 €	1,55 €
	Huile de pépins de courge	Huile de pépins de courge	Vigean	5,00%	31,60 €	1,58 €
	Coût de 100g de la mayonnaise B					
Mayonnaise C	Huile de colza	Huile de colza	Biopress	20,00%	7,75 €	1,55 €
	Huile d'olive	Huile d'olive extra vierge	Vigean	5,00%	13,50 €	0,68 €
	Coût de 100g de la mayonnaise C					
Mayonnaise D	Huile de colza	Huile de colza	Biopress	20,00%	7,75 €	1,55 €
	Huile de chanvre	Huile vierge de chanvre	Vigean	5,00%	39,96 €	2,00 €
	Coût de 100g de la mayonnaise D					
Mayonnaise E	Huile de colza	Huile de colza	Biopress	22,50%	7,75 €	1,74 €
	Huile de chanvre	Huile vierge de chanvre	Vigean	2,50%	39,96 €	1,00 €
	Coût de 100g de la mayonnaise E					
Mayonnaise F	Huile de colza	Huile de colza	Biopress	22,50%	7,75 €	1,74 €
	Huile d'olive	Huile d'olive extra vierge	Vigean	2,50%	13,50 €	0,34 €
	Coût de 100g de la mayonnaise F					
Mayonnaise G	Huile de colza	Huile de colza	Biopress	22,50%	7,75 €	1,74 €
	Huile de pépins de courge	Huile de pépins de courge	Vigean	2,50%	39,96 €	1,00 €
	Coût de 100g de la mayonnaise G					

Selon ce tableau, on constate que l'huile de colza est l'huile la plus économe sur le marché, et que la formule préparée avec 25% de l'huile de colza est la sauce la moins cher, suivie par celle formulée avec 22.5% de l'huile de colza et 2.5% de l'huile d'olive, ainsi la sauce contenant 20% du colza et 5% huile de chanvre est considérée comme la plus cher sauce parmi les sauces proposées.

Pour la recette Algama, et en se basant à la fois sur les résultats des analyses sensoriels et physicochimiques, ainsi que sur l'étude économique faite sur le produit fini pour les différentes formules en huiles, on conclue que la sauce formulée avec 25% de l'huile de colza biologique c'est elle qui réponds aux allégations nutritionnelles et de santé attendus, elle présente aussi les cibles organoleptiques fixées à partir de l'étude qu'on a fait sur les

Rapport du Projet de Fin d'Etudes

différentes mayonnaises du commerce, et pour des raisons économiques cette sauce est la moins cher pour la société.

▪ **Résultat de cette étude :**

Recette Algama : Mayonnaise formulée avec 25% de l'huile de colza biologique

F. Taches annexes

I. Gestion de laboratoire

Durant les 4 mois que j'ai passé au sein d'Algama, j'ai pu participer, de mon initiative et en collaboration avec Thomas FELICE, à son développement et sa gestion par :

- L'établissement des devis d'analyses à effectuer en contactant les laboratoires d'analyses concernés (Voir en Annexe 6).
- La mise en place de fiches de suivi des denrées alimentaires.
- La rédaction de protocoles expérimentaux.
- La participation à l'élaboration du Plan de Maîtrise Sanitaire.
- La réorganisation du stockage du matériel de laboratoire et des denrées alimentaires.

II. Springwave, la boisson

Algama c'est avant tout Springwave pour le moment, un nom mais également une boisson qui est va être lancée sur le marché d'ici quelques mois. Malgré le fait que le produit soit formulé, j'ai pu me charger d'étudier les propriétés nutritionnelles de la spiruline à partir de trois fiches techniques différentes en termes de compositions en micro et en macronutriments à fin de déterminer les allégations de santé autorisées selon le règlement (UE) N°432/2012 la commission du 16 Mai 2012

III. Autres

La participation à des journées d'informations organisées par le groupe Vitagora⁵, ou encore au recrutement de stagiaires ont ponctué mon séjour chez Algama. Cela m'a permis de me sentir intégré au sein de l'équipe et non pas d'être simplement un stagiaire qui serait là pour réaliser une mission sur 4 mois.

⁵ Vitagora est un pôle de compétitivité qui a pour but d'aider ces membres, acteurs de la filière agroalimentaire en île de France, bourgogne et Franche-Comté, à monter des projets innovant

Conclusion

L'objectif de mon stage était de participer au développement d'un nouveau produit alimentaire et de me charger d'optimiser le profil nutritionnel du produit en termes de matières grasses, jusqu'à la validation de la formule proposée à l'échelle laboratoire. Cet objectif a été atteint, mais on n'est pas pu y arriver à la validation de la formule à l'échelle laboratoire. Cependant, si l'on considère le fait qu'il s'agit d'un des premiers développements de produit mené par la société Algama, il est légitime de dire qu'atteindre un transfert industriel en 4 mois était très compliqué ; d'autant que le premier produit d'Algama, Springwave, était encore au centre de toutes les attentions. Découvrir les détails et contraintes liées au développement d'un produit alimentaire en même temps que l'unité R&D fut une expérience très enrichissante. La mayonnaise en elle-même, malgré sa composition relativement simple, représente un certain challenge, la stabilisation du produit au cours du temps étant une problématique complexe à maîtriser. L'utilisation de la farine des micro algues ne facilite pas la tâche en rendant l'aspect de la mayonnaise un peu farineux, ce qui fait appel à une étape d'optimisation ultérieure pour assurer l'élaboration d'une mayonnaise dont l'aspect et la texture en bouche soient homogène, lisse et sans aucun déphasage visible.

Toutes ces conditions m'ont permis de prendre pleinement conscience des multiples points clés pour la maîtrise du développement d'un produit alimentaire (benchmarking, réglementation, sourcing, tests microbiologiques etc...). J'ai également conscience qu'il existe des étapes importantes qui n'ont pas été abordées durant mon stage, faute de moyens et/ou de temps, qu'elles soient en lien directe avec l'unité de R&D (analyses de profil lipidique du produit, suivie de l'état d'oxydation du produit au cours du temps, réalisations des panels sensoriels à grand échelle, Analyse de la stabilité physique de l'émulsion au cours du temps etc.) ou en collaboration avec d'autres services de l'entreprise (Etiquetage etc.).

Ce stage au sein de l'équipe d'Algama m'a donné envie de continuer à travailler dans la formulation de produit alimentaire. Travailler pour une jeune entreprise comme celle-ci a également été un plaisir que je serai prête à renouveler, la recherche de l'innovation ainsi que le sentiment de participer activement au développement d'une entreprise étant des éléments moteurs pour ma part.

Bibliographie

1. **Félix, DEPLEDT.** Evaluation sensorielle. *Manuel méthodologique*. s.l. : Lavoisier, 2009.
2. **Anne-Marie, PENSÉ-LHÉRITIER.** Evaluation sensorielle et formulation - Méthodes. <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/principes-de-formulation-42489210/evaluation-sensorielle-et-formulation-j2243/methodes-j2243niv10002.html>. [En ligne] 10 12 2014.
3. Analyse sensorielle - Méthodologie - Classement par rangs. <http://www.boutique.afnor.org/norme/nf-iso-8587/analyse-sensorielle-methodologie-classement-par-rangs/article/635200/fa101855>. [En ligne]
4. **JJ.** lipides. *le figaro.fr*. [En ligne] [Citation : 7 mai 2015.] <http://sante.lefigaro.fr/mieux-etre/nutrition-nutriments/lipides/quest-ce-que-cest>.
5. **fskjlqm.** *fjdskl*. 2014.
6. **Centre d'Allergologie Bordeaux Nord.** Allergie Alimentaire. *Centre d'Allergologie Bordeaux Nord*. [Online] [Cited: 2015 йил 09-03.] <http://www.bordeaux-allergie.com/article11.html>.
7. **DUBUISSON C., LA VIEILLE S. et MARTIN A.** *Allergies alimentaires : état des lieux et propositions d'orientations*. s.l. : AFSSA, 2002.
8. *Epidémiologie de l'allergie alimentaire alimentaire et prévalence relative des trophallergènes en France - 41ème Journée annuelle de nutrition et de diététique*. **D., MONERET-VAUTRIN.** Paris : s.n., 2001.
9. **Cercle d'Investigations Cliniques et Biologiques en Allergologie Alimentaire (CICBAA).** Fréquence des allergènes responsables d'allergie chez les adultes. *Cercle d'Investigations Cliniques et Biologiques en Allergologie Alimentaire*. [Online] 2005 йил 02. [Cited: 2015 йил 09-03.] http://www.cicbaa.com/pages_fr/donnees/allergenes_adultes.html.
10. **ROSTROM A., MURRAY J.A. et KAGNOFF M.F.** American Gastroenterological Associate (AGA) Institute technical review on the diagnosis and management of celiac disease. *Gastroenterology*. 2006 йил, Vol. 131.
11. **Y., PLANCQUEEL.** *Etude sociologique des végétariens en France*. 2008.
12. **C., STAHLER.** How many adults are vegetarian? *Vegetarian Journal*. 2006 йил, Vol. 4.
13. **CODEX ALIMENTARIUS.** Norme Codex STAN 168-1969 pour la mayonnaise.
14. **Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt.** Sous-classe 10.84Z. Fabrication de condiments et assaisonnements. *Panorama des industries agroalimentaires*. 2014 йил.

15. **CIMSCEE (Comité des Industries des Mayonnaises et des Sauces Condimentaires de la Communauté Européenne)**. Code européen de bonnes pratiques relatif à la mayonnaise. 1991 йил.
16. **Fédération des Industries des Sauces Condimentaires, de la Moutarde et des Fruits et légumes préparés à l'huile et au vinaigre de l'Union Européenne**. Code de bonnes pratiques. 2006 йил.
17. Consommation : bataille autour de la mayonnaise aux Etats-Unis. *Orange*. [Online] 2014 йил 12-11. [Cited: 2015 йил 09-03.] http://finances.orange.fr/actualites/infos-economiques/consommation-bataille-autour-de-la-mayonnaise-aux-etats-unis-newsweb-finances_CNT0000005Khuv.html.
18. **FACQUET, C.** Les sauces font toujours autant recette. *LSA Commerce & Consommation*. [Online] 2012 йил 24-05. [Cited: 2015 йил 16-02.] <http://www.lsa-conso.fr/les-sauces-font-toujours-autant-recette,130504>.
19. **Tribune, La.** Gaëtan Gohin, Mathieu Gonçalves, Alwyn Severien. *La Tribune - Le Prix Jeune Entrepreneur*. [Online] [Cited: 2015 йил 18-02.] <http://pltje.latribune.fr/candidat/gohin-gaetan-springwave/>.
20. **Viande.info.** L'impact de la viande. *Viande.info - L'impact de la viande sur les humains, les animaux et l'environnement*. [Online] [Cited: 2015 йил 05-03.] <http://www.viande.info/>.
21. **DOUMEIX, O.** *Opérations unitaires en Gébie Biologique - Les émulsions*. s.l. : Biologie technique, 2011.
22. **SELL H.M., OLSEN A.G. et KREMERS H.E.** Lecitho-protein, the emulsifying ingredient in egg yolk. *Industrial and Engineering Chemistry*. 1935 йил, Vol. 27, 10.
23. **BROCHETTE, P.** Émulsification Élaboration et étude des émulsions. *Techniques de l'Ingénieur*. [Online] 2013 йил 10-12. [Cited: 2015 йил 09-03.] <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/biomedical-pharma-th15/mise-en-forme-des-medicaments-42611210/emulsification-j2150/>.
24. **SCHER, J.** Rhéologie, texture et texturation des produits alimentaires. *Techniques de l'ingénieur*. [Online] 2006 йил 10-12. [Cited: 2015 йил 06-03.] <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/operations-unitaires-du-genie-industriel-alimentaire-42430210/rheologie-texture-et-texturation-des-produits-alimentaires-f3300/>.
25. **Algama France** . Elaboration profil sensoriel_ISO 11035 (1995-07-01). *Sensoriel*. 2015.
26. **Algama France**. Méthode d'évaluation sensoriel. *Sensoriel*.
27. **Rana**. Thèse-rana.pdf. [En ligne] [Citation : 07 03 2015.]
28. **BAUDET, Cécile**. *En forme grâce aux huiles végétales!*
29. **Labouret, Pascal**. Les huiles alimentaires. <http://patismania.pagesperso-orange.fr/techno/huilesaliment.pdf>. [En ligne] 2005. [Citation : 016 03 2015.]

Annexes

Annexe 1 : Grille d'évaluation des 7 sauces dégustées par analyse sensorielle

Annexe 2 : Grille d'évaluation de 4 sauces par un test de préférence

Annexe 3 : Cahier des charges des huiles alimentaires

Annexe 4: moyenne et écart-type des 7 sauces substituées en matières grasses pour les 22 descripteurs étudiés

Annexe 5 : la composition en ingrédients et en nutriments, les allégations, les conditions de conservation et les informations économiques relatives à chaque produit

Annexe 6 : Devis d'analyses du produit Algama

Annexe 1 : Grille d'évaluation des 7 sauces dégustées par analyse sensorielle

Avant la dégustation

Agréable / Sans avis / Désagréable

1. Aspect

a) Intensité de la couleur

(0) Blanc	(1) Starlight	(2) Banana cream	(3) Sunburst	(4) Gaiety	(5) Texas Yellow	=			

b) Brillant

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	=			
-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	--	--	--

(0): Non brillant (aspect mat, pas de réflexion de la lumière) (5): Très brillant (forte réflexion de la lumière)

2. Texture au visuel

a) Homogénéité de la texture

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	=			
-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	--	--	--

(0)Texture très hétérogène, peu lisse, déphasage visible..... (5) Texture très homogène et lisse, pas de déphasage

3. Odeur

a) Odeur d'œuf

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	=			
-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	--	--	--

(0) Odeur d'œuf non perceptible (5) Odeur d'œuf très fortement perceptible

b) Odeur acide

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	=			
-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	--	--	--

0) Odeur acide non perceptible..... (5) Odeur acide très fortement perceptible

c) Odeur herbacée

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	=			
-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	--	--	--

(0) Odeur herbacée non perceptible (5) Odeur herbacée très fortement perceptible

d) Odeur céréalière

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	=			
-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	--	--	--

(0) Odeur céréalière non perceptible.....(5) Odeur céréalière très fortement perceptible

e) Odeur fruitée

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	=			
-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	--	--	--

(0) Odeur fruitée non perceptible(5) Odeur fruitée très fortement perceptible

Texture à la cuillère

a) Fluidité de la texture

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	=			
-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	--	--	--

(0) Texture très épaisse, aspect consistant et dense.....(5) Texture très fluide, peu visqueuse

b) Adhérence à la cuillère

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	=			
-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	--	--	--

(0) Texture non adhérente à la cuillère.....(5) Texture adhérente à la cuillère

c) Texture élastique

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
-----	-----	-----	-----	-----	-----

 = 😊 😐 😞

(0) Texture non élastique, à rupture franche.....(5) Texture très élastique

▪ **Pendant la dégustation**

1. Saveur en bouche

a) Saveur d'œuf

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
-----	-----	-----	-----	-----	-----

 = 😊 😐 😞

(0) Saveur d'œuf non perceptible.....(5) Saveur d'œuf très fortement perceptible

b) Saveur acide

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
-----	-----	-----	-----	-----	-----

 = 😊 😐 😞

(0) Saveur acide non perceptible.....(5) Saveur acide très fortement perceptible

c) Saveur herbacée

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
-----	-----	-----	-----	-----	-----

 = 😊 😐 😞

(0) Saveur herbacée non perceptible..... (5) Saveur herbacée très fortement perceptible

d) Saveur céréalière

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
-----	-----	-----	-----	-----	-----

 = 😊 😐 😞

(0) Saveur céréalière non perceptible.....(5) Saveur céréalière très fortement perceptible

e) Saveur fruitée

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
-----	-----	-----	-----	-----	-----

 = 😊 😐 😞

(0) Saveur fruitée non perceptible.....(5) Saveur fruitée très fortement perceptible

f) Saveur épicée

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
-----	-----	-----	-----	-----	-----

 = 😊 😐 😞

(0) Saveur épicée non perceptible.....(5) Saveur épicée très fortement perceptible

g) Saveur salée

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
-----	-----	-----	-----	-----	-----

 = 😊 😐 😞

(0) Saveur salée non perceptible.....(5) Saveur salée très fortement perceptible

2. Texture en bouche

a) Onctueux

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
-----	-----	-----	-----	-----	-----

 = 😊 😐 😞

(0) Texture en bouche non onctueuse.....(5) Texture en bouche très onctueuse, fine, douce et souple (impression de gras)

b) Collant

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
-----	-----	-----	-----	-----	-----

 = 😊 😐 😞

(0) Texture en bouche non collante..... (5) Texture très collante en bouche, adhérente au palais

Après la dégustation

1. Persistance de la saveur en bouche

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
-----	-----	-----	-----	-----	-----

 = 😊 😐 😞

(0) Saveur fuyante, peu persistante en bouche.....(5) Saveur persistante, même après une minute

Annexe 2 : Grille d'évaluation de 4 sauces par un test de préférence

	R&D	Version : 1.0
	C&D : Test de préférence des sauces de type « mayonnaise »	26/05/2015

Nom :
Prénom :
Age :

Votre classement :

	N° de la sauce	Commentaires sur l'aspect, la texture, le goût ?
Sauce préférée		
Sauce la moins appréciée		

Annexe 3 : Cahier des charges des huiles alimentaires

1. Le projet

Projet sauce condimentaire froide de type « mayonnaise » obtenue en émulsionnant une ou plusieurs huiles végétales comestibles dans une phase aqueuse constituée par de l'eau et du vinaigre.

L'huile mise en œuvre constitue la phase organique de la sauce, et elle est de l'ordre de 25%.

2. Les huiles concernées

Nous sommes intéressés par les huiles suivantes :

- Huile d'olive
- Huile de colza
- Huile de cameline
- Huile de chanvre
- Huile de pépins de courge
- Huile de germes de maïs

3. Nos besoins

- **Huiles conformes au label AB : « Agriculture Biologique » français :**
- **Riche en acide gras Oméga 3 :**
 - L'huile doit contenir au moins 0.6g d'acide alpha-linolénique pour 100g et 100kcal, ou au moins 80mg d'acide eicosapentaénoïque et d'acide docosahexénoïque combinés pour 100g et 100kcal.
- **Riche en vitamine E :**
 - L'huile doit contenir au moins 3.6 mg par 100g du produit.
- **Résistance à la température :**
 - L'huile doit avoir un point de fumé élevé qui leur permettra d'être résistante aux traitements thermiques (pasteurisation et/ou stérilisation) que l'on pourra appliquer à notre produit pour réduire la teneur microbienne de l'aliment, et pour allonger la date limite de consommation du produit fini.
- ✓ Pasteurisation : Traitement thermique dont les températures varient entre 62°C et 88°C.
- ✓ Stérilisation : Traitement thermique pouvant atteindre des températures de 150 °C,

4. Nos coordonnées :

- **Adresse de facturation :** 76 boulevard Saint-Michel, Paris
Numéro du téléphone : +33 (0)7 88 35 39 02
- **Adresse de livraison :** 96 bis boulevard Raspail 75006, Paris
Numéro du téléphone : +33 (0) 1 72 60 51 26

Annexe 4: moyenne et écart-type des 7 sauces substituées en matières grasses pour les 22 descripteurs étudiés

		20150303 FB	Produits substitués en huiles végétales alimentaires												
			Mayonnaise: 25% huile de colza	Ecart-type	Ecart-type/2	Mayonnaise: 22,5%huile de colza et 2,5% huile d'olive	Ecart-type	Ecart-type/2	Mayonnaise: 20% huile de colza et 5% huile d'olive	Ecart-type	Ecart-type/2	Mayonnaise : 22,5%huile de colza et 2,5% huile de chanvre	Ecart-type	Ecart-type/2	
ANALYSE SENSORIELLE	Avant la dégustation	Aspect	Intensité de la couleur	3,56	0,73	0,4	3,56	0,7	0,4	3,4	0,7	0,4	3,9	0,3	0,2
			Brillance	3,3	0,9	0,4	3,11	1,2	0,6	3,2	0,8	0,4	2,9	0,9	0,5
			Homogénéité de la	4,6	0,5	0,3	3,67	1,2	0,6	4,1	0,6	0,3	4,1	0,8	0,4
			Odeur d'œuf	0,44	1,0	0,5	0,78	1,0	0,5	1,0	1,6	0,8	0,9	1,3	0,6
			Odeur acide	2,89	1,1	0,5	1,78	1,5	0,7	1,4	0,7	0,4	2,3	1,6	0,8
			Odeur	0,9	1,2	0,6	0,89	1,1	0,5	0,7	0,9	0,4	1,1	1,5	0,7
			Odeur céréalière	0,1	0,3	0,2	0,11	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,2
			Odeur	0,3	0,5	0,3	0,22	1,5	0,8	0,1	0,3	0,2	0,2	0,7	0,3
			Odeur	0,8	1,1	0,5	1,00	1,2	0,6	0,8	1,2	0,6	1,0	1,0	0,5
	Texture à la cuillère	Fluidité d la texture	2,3	1,0	0,5	2,44	1,0	0,5	2,1	1,2	0,6	3,1	1,2	0,6	
		Adhérence à la cuillère	3,1	1,2	0,6	2,89	1,3	0,6	3,2	1,6	0,8	2,9	1,3	0,6	
		Elasticité de la texture	3,0	1,1	0,6	2,67	0,7	0,4	2,2	1,0	0,5	2,8	1,2	0,6	
	Pendant la dégustation	Saveur en bouche	Saveur d'œuf	0,7	1,1	0,6	1,00	1,5	0,8	0,6	0,9	0,4	0,9	1,2	0,6
			Saveur Acide	2,9	1,4	0,7	2,78	0,7	0,3	2,3	1,4	0,7	2,1	1,5	0,7
			Saveur	1,6	1,5	0,8	2,22	1,8	0,9	1,9	0,9	0,5	1,4	1,4	0,7
			Saveur céréalière	1,1	1,7	0,8	1,11	1,7	0,8	1,2	1,6	0,8	1,6	1,7	0,8
			Saveur fruité	2,8	6,6	3,3	0,67	1,3	0,7	0,7	1,3	0,7	0,1	0,3	0,2
			Saveur	1,6	0,9	0,4	1,44	1,4	0,7	1,4	1,2	0,6	0,8	1,6	0,8
			Saveur	2,4	1,1	0,6	2,22	1,3	0,7	2,4	1,1	0,6	2,1	1,2	0,6
		Texture en bouche	Onctuosité	3,1	1,1	0,5	3,33	0,9	0,4	3,1	1,2	0,6	3,2	0,8	0,4
	Aspect collant en		2,1	1,7	0,8	1,78	1,1	0,5	2,1	0,9	0,5	2,4	1,1	0,6	
	Après la dégustation	Persistance de la saveur en bouche	2,8	1,9	0,9	3,11	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	2,7	1,3	0,7	

Annexe 5 : la composition en ingrédients et en nutriments, les allégations, les conditions de conservation et les informations économiques relatives à chaque produit

Objectif

L'objectif de cette séance d'analyse sensorielle est d'établir les **profils sensoriels** de 7 sauces de type « mayonnaise » développées par Algama tout en jugeant de leur **potentiel d'attraction** pour un panel de consommateurs.

Les produits à analyser

- 7 sauces de type « mayonnaise » dont les caractéristiques sont les suivantes :

<p>ALGAMA 25% huile de colza</p> <p>Prix : >6,73 €/kg</p>	<p>Ingrédients : Eau, huile de colza (25%), arrow-root, vinaigre de cidre, inuline d'agave, jus de citron, sirop d'agave, sel, farine de microalgues, gomme xanthane, épices.</p>	<p>Valeurs nutritionnelles pour 100 g</p> <table border="0"> <tr> <td>Valeur énergétique</td> <td>1141 kJ/ 276 kcal</td> </tr> <tr> <td>Matières grasses</td> <td>25,8 g</td> </tr> <tr> <td> dont acides gras saturés</td> <td>2,0 g</td> </tr> <tr> <td> dont acides gras mono-insaturés</td> <td>16,5 g</td> </tr> <tr> <td> dont acides gras poly-insaturés</td> <td>8,1 g</td> </tr> <tr> <td>Oméga-6</td> <td>5,6 g</td> </tr> <tr> <td>Oméga-3</td> <td>2,4 g</td> </tr> <tr> <td>Glucides</td> <td>12,6 g</td> </tr> <tr> <td> dont sucres</td> <td>1,5 g</td> </tr> <tr> <td>Fibres alimentaires</td> <td>3,9 g</td> </tr> <tr> <td>Protéines</td> <td>0,2 g</td> </tr> <tr> <td>Sel</td> <td>1,6 g</td> </tr> </table>	Valeur énergétique	1141 kJ/ 276 kcal	Matières grasses	25,8 g	dont acides gras saturés	2,0 g	dont acides gras mono-insaturés	16,5 g	dont acides gras poly-insaturés	8,1 g	Oméga-6	5,6 g	Oméga-3	2,4 g	Glucides	12,6 g	dont sucres	1,5 g	Fibres alimentaires	3,9 g	Protéines	0,2 g	Sel	1,6 g
Valeur énergétique	1141 kJ/ 276 kcal																									
Matières grasses	25,8 g																									
dont acides gras saturés	2,0 g																									
dont acides gras mono-insaturés	16,5 g																									
dont acides gras poly-insaturés	8,1 g																									
Oméga-6	5,6 g																									
Oméga-3	2,4 g																									
Glucides	12,6 g																									
dont sucres	1,5 g																									
Fibres alimentaires	3,9 g																									
Protéines	0,2 g																									
Sel	1,6 g																									
<p>ALGAMA 22,5% huile de colza 2,5% huile d'olive</p> <p>Prix : >6,88 €/kg</p>	<p>Ingrédients : Eau, huile de colza, arrow-root, vinaigre de cidre, inuline d'agave, jus de citron, huile d'olive, sirop d'agave, sel, farine de microalgues, gomme xanthane, épices.</p>	<p>Valeurs nutritionnelles pour 100 g</p> <table border="0"> <tr> <td>Valeur énergétique</td> <td>1141 kJ/ 276 kcal</td> </tr> <tr> <td>Matières grasses</td> <td>25,8 g</td> </tr> <tr> <td> dont acides gras saturés</td> <td>2,2 g</td> </tr> <tr> <td> dont acides gras mono-insaturés</td> <td>16,8 g</td> </tr> <tr> <td> dont acides gras poly-insaturés</td> <td>7,5 g</td> </tr> <tr> <td>Oméga-6</td> <td>5,3 g</td> </tr> <tr> <td>Oméga-3</td> <td>2,2 g</td> </tr> <tr> <td>Glucides</td> <td>12,6 g</td> </tr> <tr> <td> dont sucres</td> <td>1,5 g</td> </tr> <tr> <td>Fibres alimentaires</td> <td>3,9 g</td> </tr> <tr> <td>Protéines</td> <td>0,2 g</td> </tr> <tr> <td>Sel</td> <td>1,6 g</td> </tr> </table>	Valeur énergétique	1141 kJ/ 276 kcal	Matières grasses	25,8 g	dont acides gras saturés	2,2 g	dont acides gras mono-insaturés	16,8 g	dont acides gras poly-insaturés	7,5 g	Oméga-6	5,3 g	Oméga-3	2,2 g	Glucides	12,6 g	dont sucres	1,5 g	Fibres alimentaires	3,9 g	Protéines	0,2 g	Sel	1,6 g
Valeur énergétique	1141 kJ/ 276 kcal																									
Matières grasses	25,8 g																									
dont acides gras saturés	2,2 g																									
dont acides gras mono-insaturés	16,8 g																									
dont acides gras poly-insaturés	7,5 g																									
Oméga-6	5,3 g																									
Oméga-3	2,2 g																									
Glucides	12,6 g																									
dont sucres	1,5 g																									
Fibres alimentaires	3,9 g																									
Protéines	0,2 g																									
Sel	1,6 g																									
<p>ALGAMA 20% huile de colza 5% huile d'olive</p> <p>Prix : >7,02 €/kg</p>	<p>Ingrédients : Eau, huile de colza, arrow-root, vinaigre de cidre, huile d'olive, inuline d'agave, jus de citron, sirop d'agave, sel, farine de microalgues, gomme xanthane, épices.</p>	<p>Valeurs nutritionnelles pour 100 g</p> <table border="0"> <tr> <td>Valeur énergétique</td> <td>1141 kJ/ 276 kcal</td> </tr> <tr> <td>Matières grasses</td> <td>25,8 g</td> </tr> <tr> <td> dont acides gras saturés</td> <td>2,3 g</td> </tr> <tr> <td> dont acides gras mono-insaturés</td> <td>17,2 g</td> </tr> <tr> <td> dont acides gras poly-insaturés</td> <td>7,0 g</td> </tr> <tr> <td>Oméga-6</td> <td>4,9 g</td> </tr> <tr> <td>Oméga-3</td> <td>1,9 g</td> </tr> <tr> <td>Glucides</td> <td>12,6 g</td> </tr> <tr> <td> dont sucres</td> <td>1,5 g</td> </tr> <tr> <td>Fibres alimentaires</td> <td>3,9 g</td> </tr> <tr> <td>Protéines</td> <td>0,2 g</td> </tr> <tr> <td>Sel</td> <td>1,6 g</td> </tr> </table>	Valeur énergétique	1141 kJ/ 276 kcal	Matières grasses	25,8 g	dont acides gras saturés	2,3 g	dont acides gras mono-insaturés	17,2 g	dont acides gras poly-insaturés	7,0 g	Oméga-6	4,9 g	Oméga-3	1,9 g	Glucides	12,6 g	dont sucres	1,5 g	Fibres alimentaires	3,9 g	Protéines	0,2 g	Sel	1,6 g
Valeur énergétique	1141 kJ/ 276 kcal																									
Matières grasses	25,8 g																									
dont acides gras saturés	2,3 g																									
dont acides gras mono-insaturés	17,2 g																									
dont acides gras poly-insaturés	7,0 g																									
Oméga-6	4,9 g																									
Oméga-3	1,9 g																									
Glucides	12,6 g																									
dont sucres	1,5 g																									
Fibres alimentaires	3,9 g																									
Protéines	0,2 g																									
Sel	1,6 g																									

ALGAMA 22,5% huile de colza 2,5% huile de chanvre	Ingrédients : Eau, huile de colza, arrow-root, vinaigre de cidre, inuline d'agave, jus de citron, huile de chanvre, sirop d'agave, sel, farine de microalgues, gomme xanthane, épices.	Valeurs nutritionnelles pour 100 g	
		Valeur énergétique	1141 kJ/ 276 kcal
<i>Prix : >7,54 €/kg</i>		Matières grasses	25,8 g
		dont acides gras saturés	2,1 g
		dont acides gras mono-insaturés	15,2 g
		dont acides gras poly-insaturés	9,2 g
		Oméga-6	6,5 g
		Oméga-3	2,6 g
		Glucides	12,6 g
		dont sucres	1,5 g
		Fibres alimentaires	3,9 g
		Protéines	0,2 g
		Sel	1,6 g

ALGAMA 20% huile de colza 5% huile de chanvre	Ingrédients : Eau, huile de colza, arrow-root, vinaigre de cidre, huile de chanvre, inuline d'agave, jus de citron, sirop d'agave, sel, farine de microalgues, gomme xanthane, épices.	Valeurs nutritionnelles pour 100 g	
		Valeur énergétique	1141 kJ/ 276 kcal
<i>Prix : >8,34 €/kg</i>		Matières grasses	25,8 g
		dont acides gras saturés	2,1 g
		dont acides gras mono-insaturés	14,0 g
		dont acides gras poly-insaturés	10,4 g
		Oméga-6	7,3 g
		Oméga-3	2,7 g
		Glucides	12,6 g
		dont sucres	1,5 g
		Fibres alimentaires	3,9 g
		Protéines	0,2 g
		Sel	1,6 g
		Vitamine E	(>1,00)

ALGAMA 22,5% huile de colza 2,5% huile de pépins de courge	Ingrédients : Eau, huile de colza, arrow-root, vinaigre de cidre, inuline d'agave, jus de citron, huile de pépins de courge, sirop d'agave, sel, farine de microalgues, gomme xanthane, épices.	Valeurs nutritionnelles pour 100 g	
		Valeur énergétique	1141 kJ/ 276 kcal
<i>Prix : >7,33 €/kg</i>		Matières grasses	25,8 g
		dont acides gras saturés	2,4 g
		dont acides gras mono-insaturés	15,6 g
		dont acides gras poly-insaturés	8,6 g
		Glucides	12,6 g
		dont sucres	1,5 g
		Fibres alimentaires	3,9 g
		Protéines	0,2 g
		Sel	1,6 g
		Vitamine E	(>0,13)

ALGAMA 20% huile de colza 5% huile de pépins de courge	Ingrédients : Eau, huile de colza, arrow-root, vinaigre de cidre, huile de pépins de courge, inuline d'agave, jus de citron, sirop d'agave, sel, farine de microalgues, gomme xanthane, épices.	Valeurs nutritionnelles pour 100 g	
		Valeur énergétique	1141 kJ/ 276 kcal
<i>Prix : >7,93 €/kg</i>		Matières grasses	25,8 g
		dont acides gras saturés	2,7 g
		dont acides gras mono-insaturés	14,6 g
		dont acides gras poly-insaturés	9,1 g
		Glucides	12,6 g
		dont sucres	1,5 g
		Fibres alimentaires	3,9 g
		Protéines	0,2 g
		Sel	1,6 g
		Vitamine E	(>0,22)

Mode opératoire

A) Le panel

- **Type de panel** : interne
- **Expertise des panelistes** : naïfs
- **Nombre de membres du panel** : 9

B) La séance – Conditions opératoires

- **Date** : 04/06/2015
- **Lieu** : Laboratoire Agoranov
 - Température ambiante : 22°C
 - Couleur de la pièce : Blanche
 - Environnement extérieur : Calme

C) Méthode de préparation des échantillons

- **Stockage préalable des échantillons avant la séance** : Entre 1 et 2 jours au réfrigérateur à une température comprise entre 0°C et 4°C, dans des pots en verre bien fermés.
- **Préparation** :
 - Après homogénéisation de la sauce par mélange succinct (environ 30 secondes dans un récipient cul-de-poule de plus de 20 cm de diamètre), introduire pour chaque paneliste 2 cuillères à café (soit 20 g) de chaque produit dans un pot rond en plastique jetable transparent comportant un couvercle.
 - Après avoir refermé le couvercle et numéroté chaque référence de sauce à l'aide d'un numéro aléatoire à 3 chiffres, stocker chaque échantillon à température ambiante (20°C±3°C) jusqu'à ce que chaque produit atteigne une température de 10°C±1°C à cœur¹.

D) Méthode d'analyse sensorielle des échantillons

- **Méthode** : Profil sensoriel, avec dégustation des produits en aveugle et monadique séquentiel
- **Norme associée** : Norme ISO 13299 :2003 (Analyse sensorielle – Méthodologie – Directives générales pour l'établissement d'un profil sensoriel)
- **Descripteurs** : Notés sur une échelle croissante de 0 à 5.
- **Analyse des résultats** : Profils sensoriels classiques.

¹ MIHOV R., NIKOVSKA Kr., NENOV N. et SLAVCHEV A., 2012. Evaluation of mayonnaise-like food emulsions with extracts of herbs and spices, *Food Agric.*, 24(3), p. 191-9

Annexe 6 : Devis d'analyses du produit Algama

DEVIS Enregistrement REN/ENR/015 Rév 21 1/8

Cette proposition contient des informations confidentielles à l'usage exclusif du destinataire mentionné ci-dessous.

Référence de devis : **D0568-15**
Date du devis : 28 avril 2015
Proposition valable jusqu'au : 29 juillet 2015

Société

Société

**Algama-Sprigwave96 bis, boulevard
Raspail75006 PARIS – France**

Contact

Fonction / Service

Téléphone:

E-mail:

Fadwa BEQQALI

Product developer

01 72 60 51 25

algamalabo02@gmail.com

Objet de l'offre

PROPOSITION COMMERCIALE

Contenu de l'étude

Analyse Sauce condimentaire froide de type «Mayonnaise »



Rapport de Projet de Fin d'Etudes pour l'obtention du Diplôme d'ingénieur d'Etat

- **Nom et prénom : Fadwa BEQQALI.**
- **Année Universitaire : 2014-2015.**
- **Titre : Développement d'un nouveau produit alimentaire à base des micro-algues et optimisation de son profil nutritionnel en termes de matières grasses.**

Résumé

Dans un contexte de forte concurrence, la flexibilité et l'amélioration continue de l'entreprise constituent une réponse primordiale pour assurer sa pérennité.

C'est dans cette optique que le groupe ALGAMA France cherche à concevoir et développer en 2015 une sauce de type « mayonnaise ». Cela lui permettra de pénétrer ce marché avec deux plus-values notables. La première est l'incorporation de microalgues dans ses recettes pour les valoriser et démocratiser leur consommation grand public. La seconde, quant à elle, consiste en l'élargissement de la cible de marché habituelle des sauces froides à des spécificités de régime.

Après la présentation du groupe ALGAMA France, de ses acteurs, objectifs et projets stratégiques, le projet « Yogi » est abordé à travers différents angles. Sa définition et son positionnement marketing sont premièrement exposés, puis suivis par une veille relative à son environnement réglementaire, commercial et sensoriel. Sous la direction du Responsable R&D d'Algama notre travail s'est articulé sur les deux axes suivants:

- Le premier correspond à une participation au développement et à la formulation d'une sauce froide de type mayonnaise en coordonnant le partenariat avec le groupe Roquette Frères.
- Le deuxième est consacré pour l'optimisation du profil nutritionnel lipidique du produit en termes d'allégations nutritionnelles et de santé selon la réglementation européenne.

Afin de mener à bien cette mission, nous étions amenés dans un premier temps à effectuer une veille bibliographique sur 27 huiles végétales biologiques (non raffinées) compatibles avec l'alimentation humaine, formulation théorique et pratique de la mayonnaise en substituant la phase lipidique afin de pouvoir sélectionner celles présentant des propriétés nutritionnelles et fonctionnelles intéressantes pour la sauce en mettant en place des panels sensoriels.

A la lumière de cette étude, la formule choisie et qui satisfait en termes de matières grasses les besoins nutritionnels, fonctionnels, et gustatifs recherchés pour le développement de ce nouveau produit alimentaire à base des microalgues, est celle produite avec 25% de l'huile de colza biologique.

La mise en œuvre de ce résultat peut mener à une économie du prix de revient de la mayonnaise puisque l'huile de colza représente le coût le moins élevé sur le marché des huiles, tout en répondant aux exigences du Règlement n°1924/2006 du Parlement Européen, ainsi qu'aux recommandations de l'EFSA, pour obtenir la mention allégée et puisse présenter les allégations nutritionnelles « riche en acide gras oméga-3 » et « riche en vitamine E » et une allégation de santé « les acides gras oméga-3 participent/contribuent au bon fonctionnement (du système) cardiovasculaire ».

Mots clés : R&D, microalgues, Yogi, Règlement n°1924/2006, EFSA, allégé, colza, biologique.