

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



Réf :/UAMOB/F.SNV.ST/DEP.AGR/2022

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Technologie Agro-Alimentaire et Contrôle de la Qualité

Présenté par :

DJELLAOUI Theleli & BELHOCINE Aimen

Thème

**Emulsification de la crème glacée à base de Spiruline :
conception d'une crème glacée au sein de l'entreprise GINI**

Devant le jury composé de :

| <i>Nom et Prénom</i> | <i>Grade</i> | | |
|---------------------------------|--------------|------------------------|------------------|
| <i>Dr REMINI H</i> | <i>MCB</i> | <i>Univ. de Bouira</i> | <i>Président</i> |
| <i>Dr DOUMANDJI W</i> | <i>MAA</i> | <i>Univ. de Bouira</i> | <i>Examineur</i> |
| <i>P^r DAHMOUNE F</i> | <i>MCB</i> | <i>Univ. de Bouira</i> | <i>Promoteur</i> |

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciements

A Dieu, Le Très-Savant, Le donneur de force, de volonté

A notre promoteur, **Mr. DAHMOUN**, pour le fait d'avoir accepté de diriger ce mémoire tout en ayant consacré de son temps précieux, pour avoir donné des conseils très utiles qui nous ont permis d'enrichir et de mener à bien ce travail.

Nous remercions également les membres du jury, **Mr.REMINI** et **M.DOUMANDJI** en raison d'avoir acceptés de juger notre travail.

On tient à exprimer toute notre gratitude à **Madame IKEN Farida** la responsable du laboratoire a l'entreprise **GINI Glace**, pour son aide réconfortant, pour nous avoir accepté au sein du laboratoire tout en ayant l'obligeance de consacrer de son temps précieux pour donner des conseils très utiles qui nous ont permis d'enrichir et de mener à bien notre travail.

On est redevable a **Katia, Thassaadith, et** surtout **Mlle ZILLUL Chahinez** les chargés du contrôle de qualité au laboratoire de l'entreprise **GINI Glace**, pour leur aimable accueil au sein du laboratoire, leurs aides, leurs conseils avisés et éclairés au long de la rédaction de notre modeste mémoire.

Notre gratitude va aussi vers un ami un collègue d'études qui nous a apporté son soutien pendant notre démarche. Ici un petit clin d'œil à Mr **MOHAMMEDI**

Hocine

Finalement, nous remercions toutes personnes qui nous ont aidés d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

Aux obstacles que j'ai rencontrés, à la vie, à moi et mes efforts à contre-courant

A mes parents

A mes merveilleuses sœurs, « kiz » et « ninette » : on ne sait vraiment pas où va notre chemin mais je sais qu'on marche mieux quand on se serre les mains.

A ma tante Amel, son mari et ses filles « Maya », « Dacine » et « Amélia » et pour leurs chaleureux accueille

A mes grands-parents maternels : ceci est ma profonde gratitude pour votre amour éternel, votre douce attention et aussi pour le fait que malgré le grand nombre de vos petits-fils vous n'oubliez personne !

A mon oncle Imad, mes tantes Lynda, Nabila, Salima, Kenza, Dyhia, et Karima : merci pour tous vos conseils précieux

A mes très chers cousins et cousines tous fabuleux les uns que les autres qui ont partagé avec moi le bonheur et le malheur

A mon binôme Aimen : merci énormément, sans toi ce travail n'aurait pas vu le jour

A mes collègues et mes amis : ma meilleure que j'aime tant Manel, Sarah, Yasmine Louiza, karima, Hichem, Miou, Seif, Abderezzak et Hocine

A Sanji, sans toi ce travail n'aurait pas pu voir le jour. Merci d'exister, merci d'être la lumière du meilleur dans les ténèbres de mes chaos. Merci d'être tout ce dont j'ai besoin « l'espoir » et « motivation »

A la mémoire de Tante Fatima :

J'aurais aimé te voir assisté à ce moment-là, toi qui étais la première invitée, c'était le jour où tu allais demander ma main.

Tu m'avais toujours fait preuve d'amour et d'affection, tu seras toujours présente dans mon esprit et dans mon cœur, que dieu t'accueille dans son vaste Paradies

Dédicaces

A mon très cher père :

Pour m'avoir soutenu jusqu'à ce jour, pour son amour inconditionnel et son encouragement.

À ma chère maman :

Puisse le tout puissant te donner santé et bonheur.

Que Dieu te garde pour nous, pour que je puisse te combler à mon tour.

A mes douces sœurs et mes très chers frères :

Sabrina, Boutheina et Salsabil, mes frères, Mohammed et Ismail, que ce travail soit pour vous un faible témoignage de ma profonde affection et tendresse.

A ma grand-mère et à toute ma famille

Pour tout l'amour dont ils m'ont entouré et pour leurs aides précieux

Et enfin A ma binôme Thilleli :

Qui m'a soutenu et aidé pour faire ce modeste travail, merci

Aimen

Liste des abréviations

% : Pour cent (pourcentage)

°C : Degré Celsius

AC : acidité

ADN : Acide désoxyribonucléique

AFNOR : Association Française de la normalisation.

AGPI : acides gras poly-insaturés

AINS : anti-inflammatoires non stéroïdiens

AJR : Apport Journalier Recommandé

ARN : Acide ribonucléique

ASF : animal-source foods

CAT : catalase

CIN : Code international de nomenclature

cm : centimètre

D° : Degré Dornic.

Da : Dinar algérien

DPD : N, N-diethyl-p-phenylène diamine

EDTA : acide éthylènediaminetétraacétique

EPO : Érythropoïétine

ESCR : échangeur de chaleur à surface raclée

EST : Extrait sec total.

F° : degré français

FAO : L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (Food and Agriculture Organization of The United Nations)

FDA : Food and Drug Administration

FTAM : Flore Totale Aérobie Mésophile.

g : gramme

GLA : Acide gamma-linolénique

GPx : Glutathion peroxydase

H : Humidité.

h : heure

HACCP: Hazard Analysis Critical Control point.

HDL: Lipoprotéine de haute densité

HSV-1: virus Herpes simple de type 1

ICNB: International Code of Nomenclature of Bacteria

IFP : institut Français du pétrole

ISO: International Organisation for Standardisation.

ITIS : Système d'information taxonomique intégré

JORA : Journal officiel de la République Algérienne

JORF : Journal officiel de la République française

Kcal : kilocalorie

Kj : kilojoule

L : litre

LDL : lipoprotéine de basse densité

m : mètre

m² : mètre au carré

MG : Matière grasse

Mg : Milligramme

ml : millilitre

Mpa : méga Pascal

NADPH : Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate

NaOH : Hydroxyde de Sodium

NB : Nota bene

NPU : utilisation protéique nette

°B : Degré Brix.

OMS : Organisation mondiale de la santé

ONG: Organisation non gouvernementale

PCA: Plate Court Agar.

pH : Potentiel Hydrogène.

PSF : plant-source foods

PVC : Polychlorure de vinyle

Rn : route national

ROS : Reactive Oxygen Species

SARL : société à responsabilité limitée

SOD : superoxyde dismutase

SSN : Société Suisse de Nutrition

T : tonne

T° : Température.

TA : Titre Alcalimétrique.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

TF : Taux de foisonnement.

TG : Triglycéride.

TH : Titre Hydrométrique.

UFC : unité formatrice de colonie

UNESCO : L'Organisation des Nations unies pour l'éducation

V : volume

VIH : virus de l'immunodéficience humaine

VRBG : Violet Red Bile Glucose agar.

WoRMS : World Register of Marine Species

µm : Micromètre

Liste des tableaux

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tableau 1: Tableau de la distribution naturelle de la Spirulina platensis géographiquement dans le monde [5].....</i> | <i>6</i> |
| <i>Tableau 2: Caractéristiques communes des cyanobactéries aux algues et aux bactéries [5] ..</i> | <i>9</i> |
| <i>Tableau 3: Différences entre les cellules d'algue bleue spiruline, procaryote et celles d'algues vertes, eucaryote [5]</i> | <i>10</i> |
| <i>Tableau 4: Classification suivant le CIN [3].....</i> | <i>11</i> |
| <i>Tableau 5: Classification suivant l'ICNB [3].....</i> | <i>12</i> |
| <i>Tableau 6: Tableau de comparaisons morpho-anatomiques des genres Spirulina et Arthrospira [5].....</i> | <i>13</i> |
| <i>Tableau 7: Composition des crèmes glacées [14].....</i> | <i>28</i> |
| <i>Tableau 8: Ingrédients habituellement utilisés dans la formulation des crèmes glacées [14].</i> | <i>28</i> |
| <i>Tableau 9: Les principaux pays producteurs et consommateurs des crèmes glacées en 2011. [13].....</i> | <i>34</i> |
| <i>Tableau 10: Les dénominations réservées pour glace alimentaires [18]</i> | <i>37</i> |
| <i>Tableau 11: la composition de la crème glacée en minéraux [18]</i> | <i>39</i> |
| <i>Tableau 12: Les Poids de crème glacée consommé par personne en fonction du foisonnement [18].....</i> | <i>40</i> |
| <i>Tableau 13: Les 4 différents échantillons et leurs ingrédients réalisés au laboratoire</i> | <i>44</i> |
| <i>Tableau 14: Analyses physico-chimique des échantillons réalisés au laboratoire</i> | <i>44</i> |
| <i>Tableau 15: La recette idéale convertie pour la production de crème glacée</i> | <i>45</i> |
| <i>Tableau 16: Les différentes analyses physico-chimiques</i> | <i>47</i> |
| <i>Tableau 17: résultats des analyses physico-chimiques du produit fini (boite de famille).....</i> | <i>57</i> |
| <i>Tableau 18: Les résultats d'analyses microbiologiques effectuées sur les produits finis.....</i> | <i>58</i> |

Liste des figures

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1: Frise représentant la chronologie de la spiruline [3] | 3 |
| Figure 2: Les PSF, fruits de mer et ASF conventionnels, « les aliments future » inclus dans cette étude [6]..... | 8 |
| Figure 3: Mini-colloque entamant la spiruline à Tamanrasset 18 - 24 avril 2004 organisée par Mr.Hiri [8]..... | 16 |
| Figure 4: Schéma expliquant le Procédé de création d'une crème glacée. [14] | 33 |
| Figure 5: Structure d'une crème glacée [18] | 38 |
| Figure 6: les sachets conditionnés (poudre) de 500g et 100g | 42 |
| Figure 7: Station pilote de l'unité GINI Glaces | 45 |
| Figure 8: Photo originale de dessiccateur | 50 |
| Figure 9: Photo de l'appareil « pH mètre » | 51 |
| Figure 10: Photo originale de détermination d'Acidité titrable | 52 |
| Figure 11: résultats d'analyses physico-chimiques réalisées sur l'eau de processus. | 56 |
| Figure 12: Diagramme en bâtons représentant les analyses sensorielles pour le produit témoin de GINI Glace. | 59 |
| Figure 13: Diagramme en bâtons représentant les analyses sensorielles de notre produit a base de "spiruline". | 60 |
| Figure 14: graphe en toile d'araignée représentant les deux produits | 61 |

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction 1

Partie pratique..... Erreur ! Signet non défini.

Chapitre I : La spiruline 2

I.1.Généralité sur la spiruline 2

I.2.Découverte 2

I.3.Historique..... 4

I.4.Répartition géographique naturelle 6

I.5.La spiruline, « aliment future » 7

I.6.Caractéristiques de la spiruline 8

I.6.A.Le terme de « spiruline » 8

I.6.B.La spiruline « une cyanobactérie » 9

I.6.C.Systématique de la spiruline 10

I.6.D.La reproduction 14

I.6.G.La culture de la spiruline 16

I.6.H.Les constituants de la spiruline 17

I.7.Activités thérapeutiques de la spiruline 21

I.7.A.L'activité antioxydantes 21

I.7.B.Activité anticancéreuse 22

I.7.C.Le système immunitaire et la puissance de la spiruline 23

I.7.D.Activité de la spiruline « antivirale » 23

I.7.E.Autres activités 24

I.8.Toxicité et surdosage de la spiruline 25

Chapitre II : La crème glacée..... 26

II.1.Généralité sur la crème glacée 26

II.1.A.Définition 26

II.1.B.Historique..... 27

II.1.C.Constituants de la crème glacée 28

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| II.1.D.Fonctionnalité des ingrédients | 29 |
| II.2.Procédé de confection de la crème glacée | 30 |
| II.2.A.Pasteurisation | 30 |
| II.2.B.Homogénéisation | 30 |
| II.2.C.Maturation | 31 |
| II.2.D.Foisonnement et congélation | 31 |
| II.2.E.Durcissement | 31 |
| II.2.F.Stockage | 32 |
| II.3.La crème glacée et son marché | 33 |
| II.4.Terminologie des glaces alimentaires | 35 |
| II.5.Structure de la crème glacée | 38 |
| II.6.Intérêts nutritionnels des crèmes glacées | 38 |
| II.7.Les valeurs nutritives variantes en fonction du foisonnement | 40 |
| II.8.Recommandation | 40 |
| Partie pratique | 41 |
| Matériel et Méthodes | 41 |
| 1.Présentation de l'entreprise GINI GLACES (Groupe Industriel Nait Kaci Issiakhem) | 41 |
| 2.L'origine de la matière végétale | 42 |
| 3. La confection de notre crème glacée | 43 |
| 3.1.Préparation de la matière première | 46 |
| 3.2.Pasteurisation, homogénéisation et maturation | 46 |
| 3.3.Analyse physico-chimique | 46 |
| 3.4.Contrôle d'eau traité (eau de processus) | 47 |
| 3.4.1.Détermination de la dureté totale (TH) | 47 |
| 3.4.2.Détermination de TA | 48 |
| 3.4.3.Détermination de TAC | 49 |
| 3.4.4.Extrait sec total (annexes) | 50 |
| 3.4.5.Détermination du pH par la méthode potentiométrique | 50 |
| 3.5.Analyses microbiologiques | 52 |
| 3.5.1.Échantillonnage | 52 |

| | |
|--------------------------------------------------|-----------|
| 3.5.2.Germes dénombrés | 52 |
| 3.6.Analyse sensorielle..... | 54 |
| 3.7.Analyse statistique..... | 55 |
| 6.Résultats et discussion..... | 56 |
| 1.Résultats des analyses physico-chimiques | 56 |
| 2.Résultats des analyses microbiologiques | 58 |
| Conclusion..... | 63 |
| Références bibliographiques | 65 |
| Annexes | 66 |

Introduction

Le père de la médecine, Hippocrate le grand a dit « que ton alimentation soit ta première médecine », c'est dans ce contexte que la science de la nutrition évolue, en reprenant la nouvelle configuration qu'est le retour à la « nature ». Ceci se traduit par une modification de nos anciens comportements alimentaires en quête non plus de bien-être, mais de mieux-être. Une nouvelle tendance qui fait le développement de la demande d'aliment fonctionnel étant donné qu'ils représentent les « caractéristiques » et la « capacité » à améliorer la santé des individus à travers des nutriments et des substances bioactives. [3]

La spiruline est connue dans le domaine pharmaceutique vu qu'elle est produite autant que complément alimentaire beaucoup plus à l'échelle industrielle, existe aussi dans le domaine alimentaire et cosmétique. Plusieurs scientifiques ont créé des aliments fonctionnels à base de spiruline qui attire de plus en plus l'intérêt des chercheurs, mais de la population également en vue de ses propriétés nutritionnelles et thérapeutiques qu'elle apporte. [3]

Cette cyanobactérie, unicellulaire, à l'origine du monde animal et végétal, anciennement interpellée « algues bleues », compte parmi l'une des formes anciennes qui ont existé depuis des longtemps sur Terre et constitue l'essentiel des bactéries capables de Photosynthèse avec production d'oxygène. Elle a été consommée depuis des siècles par des peuples d'Afrique et d'Amérique centrale, les genres de cette « algue bleue » *Spirulina* ou *Arthrospira*, des cyanobactéries filamenteuses font partie d'une bactérie particulièrement intéressante dénommée *Spirulina platensis* (ou *Arthrospira platensis*) plus connue sous le nom d'algue « Spiruline ». Connue aussi sous le nom de « super aliment », elle est présentée comme le meilleur aliment pour l'avenir « *best food for the future* » lors d'une conférence des Nations Unies sur l'Alimentation en 1974. Pour l'UNESCO c'est : « l'aliment idéal et le plus complet de demain » et pour la FDA « l'une des meilleures sources de protéines » [2].

Notre objectif de créer un aliment fonctionnel nous a poussé à élaborer un dessert plus ou moins recommander en réduisant le taux d'additif présent par l'usage d'un émulsifiant naturel et riche en « spiruline ». Ceci, au bénéfice de la présence des protéines (une teneur élevée en protéines 63,2%) qui possèdent des propriétés technologiques comme émulsifiant naturel, contribuant à la fermeté des émulsions, augmentant la stabilité et conférant aux produits une plus grande valeur nutritionnelle. Notre crème glacée « fonctionnel » s'élance à répondre mieux aux attentes des consommateurs surtout aux craintifs des douceurs. [7]

Partie

Bibliographique

Chapitre I :

La Spiruline

Chapitre I : La spiruline

I.1. Généralité sur la spiruline

La spiruline, une cyanobactérie appelé « algue bleu-vert ». C'est l'une des types de vie les plus anciennes du monde (elle a vécu sur terre depuis environ 3,5 milliards d'années), elle est aussi la productrice de l'oxygène sans elle l'atmosphère ne serait tolérable. On la repère dans les lacs volcaniques d'eau chaude et alcaline. Les espèces comestibles de spiruline les plus utilisées sont *Spirulina platensis* (*S. platensis*) et *Spirulina maxima*. C'est une algue qui a été utilisée depuis longtemps autant qu'aliment par l'être l'humain comme le peuple Tchadien et pour l'alimentation du bétail en Europe. Elle peut être cultivée et produite dans de nombreux endroits du monde artisanalement, industriellement ou bien naturellement (Océan près du Japon et d'Hawaï, Le lac Tchad en Afrique). C'est un aliment a biodisponibilité de divers nutriments essentiels pour la santé (qualitativement), elle contribue à la préservation de la flore microbienne intestinale ce qui signifie que c'est un aliment probiotique. [1]

Le « super aliment » détient aussi des propriétés thérapeutiques ; antivirales, antibactériennes, activités antifongiques, antiparasitaires, Activité sur le système immunitaire et bien plus encore car elle est toujours l'objet de recherche scientifiques et de curieux. [2]

Aujourd'hui, elle est utilisée dans plusieurs domaines, produite à grande échelle autant que complément alimentaire mais surtout exploiter dans l'industrie agroalimentaire qui au fur et à mesure tente d'incorporer cet aliment dans des denrées alimentaires. [2]

I.2. Découverte

La spiruline, représente un ancien être vivant de la planète terre. Cette cyanobactérie s'avoue avoir existé il y a bien longtemps, environ 3.6 milliards d'année durant une période surnommée le précambrien. Les traces minuscules algue bleue ont été repérées dans des stromatolithes datant de plus de 3 milliards d'années en Afrique du sud et en Australie. La spiruline, étant le micro-organisme qui a existé il y a longtemps, elle a été présente lors de la création de l'univers assurant la production d'oxygène à partir du dioxyde de carbone pour les formes vivantes à cette époque, ce qui a rendu avec le temps l'atmosphère respirable contribuant ainsi à la création d'une vie aérobie. Cependant, la spiruline a été employé aussi comme nourriture aux formes vivantes ; les mammifères marins tel que les poissons, et les espèces humaines. [2]

La cyanobactérie spiralée de couleur bleu-vert photoautotrophe, est un organisme procaryote qui partage avec les plantes la capacité d'effectuer de la photosynthèse. Elle détient aussi la capacité de survivre aux périodes glaciaires grâce à sa capacité dite de cryptobiose, c'est-à-dire qu'elle est capable de se rétracter sous forme d'agrégat de filaments si les conditions de température et d'humidité lui sont défavorables, conservant au centre de cet agrégat un minimum d'humidité pour sa survie, en attendant que les conditions redeviennent favorables.

[3]

Frise chronologique

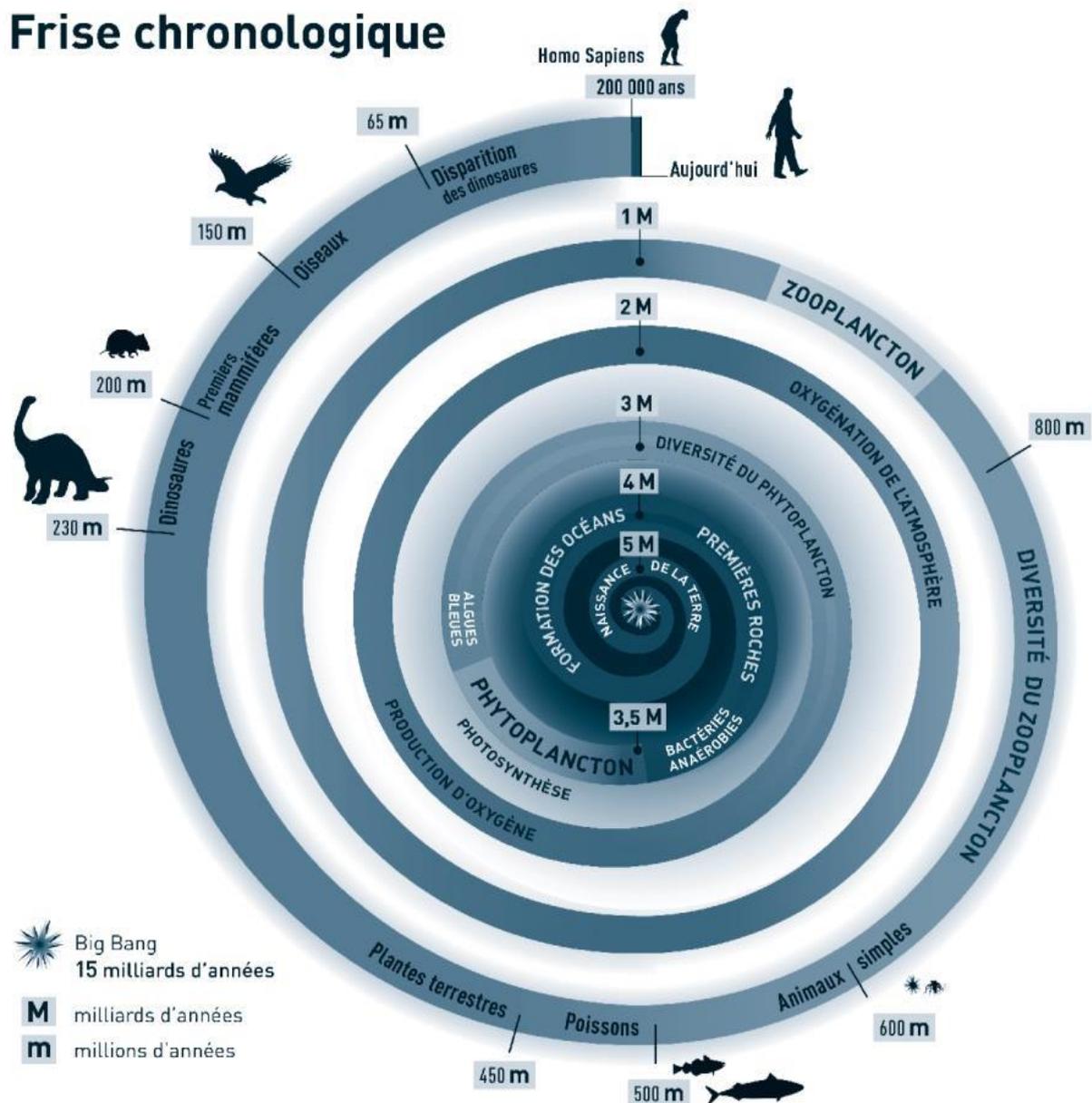


Figure 1: Frise représentant la chronologie de la spiruline [3]

I.3. Historique

Les algues bleues sont constituées de près de 1500 espèces dont 36 sont comestibles (parmi elles la spiruline). Depuis la nuit des temps, elles ont fait partie de l'alimentation humaine comme en Chine et au Japon, où elle a servi dès la préhistoire comme denrée de base. Pendant qu'à l'antiquité, la spiruline, et les autres espèces d'algues ont été exploitées en Europe comme aliment pour bétail, colorant, ou encore comme médicament pour les vers parasites. Quant à la spiruline, elle a été employée comme aliment et a été consommée des deux côtés d'Atlantique par les Kanembous du Tchad et par les Aztèques dans des périodes très reculées, et qui va être découverte par la suite par les conquistadors espagnols à leurs arrivées dans une vallée qui se trouve au Mexique [3]

Au XV^{ème} siècle, les Kanembous qui vivaient sur les rives du lac Tchad, récoltaient la spiruline qui se formait en un épais tapis de verdure, du au vent qui poussait les algues vers le rivage. Une fois récoltée, la spiruline est mise à égoutter dans des sacs de tissu puis séchée au soleil pour enfin l'utiliser en forme de poudre dans la préparation d'une galette nommée « dihé ». Cette galette accompagne à table le mil pilé cuit à l'eau et une sauce de tomate composée de tomate, piments, d'épices ou elle est mélangée. Le « dihé » est aussi consommé en abondance par les femmes enceintes car selon la légende leurs fœtus sera protégé du mauvais œil par la couleur sombre du « dihé » [4]

Au XVI^{ème} siècle, les Aztèques, de l'autre côté de l'Atlantique appelaient la spiruline « tecuitlat » qui signifie « excrément de pierre » car ces derniers croyaient que la spiruline est conçue par des minéraux. Du lac Texcoco, la spiruline était récoltée par les Aztèques à l'aide de filets très fins pour en faire des gâteaux d'une couleur bleu vert. L'histoire rapporte que l'empereur Moctezuma qui vivait dans un palais situé à 200 m d'altitude et à 300 km de la mer raffolait de poisson frais, seulement à cette époque il n'y avait ni chevaux ni glaces pour transporter l'aliment en toute salubrité dans un climat tropical. C'est d'où est venue l'idée de confier le transport de cet aliment périssable à d'athlétiques coursiers qui se relayaient et qui bien réussissaient à ramener du poisson frais à l'empereur en consommant de « tecuitlat ». Cependant ce dernier tombera dans l'oubli vers la fin du XVI^{ème} siècle probablement après l'assèchement des lacs au profit des développements urbains et agricoles, le lac Texcoco de nos jours est le seul vestige qui reste de cette époque [4]

En 1844, fut le signalement d'une certaine « microalgue » de couleur bleu-vert hélicoïdale baptisée *Spirulina jeneri f. platensis* par deux chercheurs Wittrock et Nordstedt près de Montevideo. Mais ce n'est qu'en 1844 que fut la publication du premier rapport taxonomique

rédigé par Stizenberger qui lui a attribué le nom de « *Arthrospira* » du fait de sa forme hélice et de sa structure multicellulaire [2]

Une autre recherche a été effectuée dans la seconde guerre mondiale en 1940 par Y. Creach, une pharmacienne des troupes coloniales françaises stationnée à fort Lamy (aujourd'hui Ndjamena). En effet la pharmacienne a découvert les galettes d'algues séchées (dihé), curieuse, elle en rapporte des échantillons pour les analyser et les identifier. Plus tard cette expérience est rapportée et présentée à la société Linnéenne de Bordeaux par la botaniste Dangeard en France en 1940. Ceci fut la première fois où l'usage de la spiruline en alimentation humaine soit mentionné. Seulement son compte rendu passera inaperçu, étant donné qu'il a été publié pendant la guerre. En 1959, l'article « depuis des lustres une tribu primitive du Tchad exploite la nourriture de l'an 2000 » est publié dans science et avenir par un anthropologue Max-Yves Brandily parlant du « dihé » [4]

En 1964 la recherche de Dangeard est confirmée par les travaux de la botaniste Belge Jean Leonard ; elle remonte la filière de la galette verte jusque sur les rives du lac Tchad, elle analyse le dihé et détermine la spiruline avec son confrère P. Compère [3]

De la sorte, des études sur cette fameuse « algue » ont été lancées par l'institut Français du pétrole (IFP) et par l'intermédiaire de l'un de ses membres G. Clément. Et c'est ainsi que l'institut rend la France pionnière au sujet des études sur la spiruline. [2]

Par la suite, la re-révélation de la spiruline fut accidentellement par un ingénieur Français Hubert Durand Chastel qui en arrivant au Mexique afin de prendre la direction de Sosa Texcoco, une unité de production de carbonate de soude, dans l'intention d'extraire la matière première « la saumure » à partir des sédiments du lac Texcoco. Cependant, l'unité de production se trouve face à l'un des problèmes de l'exploitation qui est une certaine matière organique qui perturbe la cristallisation des carbonates. La solution dénichée était de brûler avec les ordures cette matière considérée comme une nuisance. C'est seulement en assistant à une conférence donnée au cours d'un congrès sur le pétrole à Mexico, en 1967 parlant sur la spiruline et suite aux publications de Max Yves Brandily, qu'il fait le rapprochement avec cette substance qui le gênait dans sa production. Ainsi, la culture d'*Arthrospira* débutera *maxima* en 1968 et sa commercialisation se fera en 1976 [3]

I.4. Répartition géographique naturelle

Le genre d'*Arthrospira* et d'autres cyanobactéries se développent dans le milieu naturel. Effectivement, la spiruline s'accroît dans des eaux douces et chaudes alcalines (ph entre 8 à 11.5) et minéralisées (nitrate, phosphates, fer) riche en sodium (Na_2CO_3) ou bicarbonate de sodium (NaHCO_3) excluant ainsi la plupart des autres microorganismes. En gros, fréquemment on l'identifie dans les eaux saumâtres, ainsi que dans les lacs salins de régions tropicales et semi-tropicales. [2]

La spiruline possède un caractère thermophile et admet un besoin envers la lumière qui limite son aire de répartition est dans les régions intertropicale qui se situe entre 35° de latitude Nord et 35° de latitude Sud. C'est pourquoi les lacs alcalins en Afrique, en Amérique latine et en Asie du sud sont là où se localise la spiruline. C'est un organisme dit cosmopolite et pourtant qui est encore plus abondant en Amérique du Nord et en Europe qu'ailleurs [2]

Le tableau représente les quelques sites où la spiruline est retrouvée naturellement :

Tableau 1: Tableau de la distribution géographique de la *Spirulina platensis* dans le monde [5]

| | |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Afrique | |
| Algérie | Tamanrasset |
| Tchad | Région du Kanem : lac Latir, Ouna, Borkou, Katam, Yoan, Leyla, Bodou, Rombou, Moro, Mombolo, Liwa, Iseirom, Ounianga Kebir |
| Soudan | Cratière de Djebel Marra |
| Djibouti | Lac Abber |
| Ethiopie | Lacs Aranguadi, Lesougouta, Nakourou, Chiltu, Navasha, Rodolphe |
| Congo | Mougounga |
| Kenya | Lacs Nakuru, Elmenteita, Cratère, Natron |
| Tanzanie | Lac Natron |
| Tunisie | Lac Tunis ; Chott el Jerid |
| Zambie | Lac Bangweoulou |
| Madagascar | Beaucoup de petits lacs près de toliara |
| Asie | |
| Inde | Lacs Lonar et Nagpur |
| Myanmar | Lacs Tawyn Taung, Tawyn Ma et Taung Pyank |
| Sri lanka | Lac Beira |
| Pakistan | Mares pres de Lahore |
| Thaïlande | Lacs d'effluents d'une usine de tapioca, provinc de Radburi, 80 km au S.O de Bangkok |
| Azerbaïdjan | Non précisé |
| Amérique du Sud | |
| Pérou | Réservoir d'eau près de pracas |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| | Près de l'île d'Amantani dans le lac titicaca |
| Mexique | Lac texcoco ; lac cratère |
| Uruguay | Montevideo |
| Equateur | Lac Quiliotoa : cratère de 1km de diamètre |
| Amérique du Nord | |
| Californie | Oakland ; Del Mar Beach |
| Haïti | Lac Gonave |
| Républiques dominicaine | Lac Enriquilo |
| Europe | |
| Hongrie | Non précisé |
| France | Compagne |
| Autres sites possibles | |
| Partout où vivent le flamant nain, <i>Phoenicoparus minor</i> (Afrique et Asie) et le flamant de James, <i>Phoenicoparus Jamesi</i> (Amérique du Sud) | |
| Ethiopie | Lac Abiata |
| Kenya | Lac rodolphe ; lac Hannington |
| Tanzanie | Lac Manyara ; lac Rukua |
| Zambie | Lac Mweru |
| Botswana | Makgadigka Salt Pan |
| Nambie | Etosha Salt Pan |
| Afrique du Sud | Etat libre D'Orange, près de Vaaldam |
| Bolivie | Lacs colorado, Poopo, Chalviri, Salar de Uyuni |
| Chili | Aguas Calientes, Laguanas Brava, lac Vilama, Salar de Surie |
| Mauritanie | Côte sud |
| Inde | Ranm of Kutch ; Gujarat |
| Madagascar | Cote Ouest |

I.5. La spiruline, « aliment futur »

Selon un article scientifique « The potential of future foods for sustainable and healthy diets », la spiruline est classée parmi les neuf aliments du futur, en s'appuyant sur la base des données de recherche ou il y a eu lieu des comparaisons entre les profils nutritionnels et l'influences environnementaux de chaque aliment à ceux d'importants producteurs de protéines végétales. Ces neuf aliments sont constitués d'aliments terrestres (viande de culture, mycoprotéine (*Fusarium venenatum*), larves de mouche soldat noire (*Hermetia illucens*), larves de mouche domestique (*Musca domestica*), larves de vers de farine (*Tenebrio molitor*)) et des aliments aquatiques (chlorelle (*Chlorella vulgaris*), spiruline (*Arthrospira platensis*), varech (*Saccharina latissima*) et moules (*Mytilus* spp.) [6]

La cyanobactérie a été choisie pour les mêmes paramètres que les autres aliments ; leur capacité à produire en quantité considérable rapidement, selon les adaptations aux développements technologiques qui offrent le potentiel d'augmenter les niveaux de production et/ou d'atténuer les coûts de production par souci de l'environnement. La disponibilité de

vitamine et surtout la B12 et une autre raison pour la sélection de la cyanobactérie qui est aussi considéré comme une source des oligoéléments (comme le zinc), des acides gras comme l'Oméga 3 et des protéines [6]

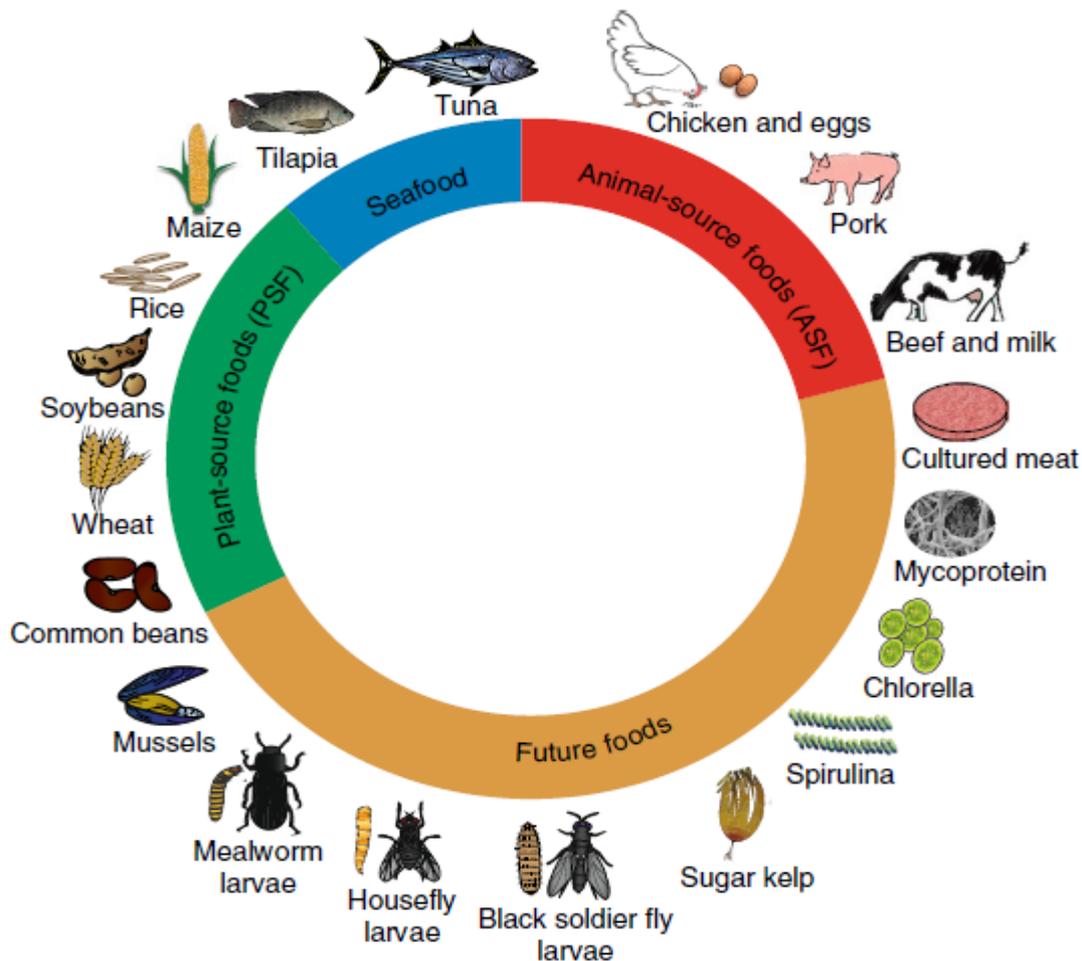


Figure 2: Les PSF (Plant-Source Foods), fruits de mer et ASF (Animal-Source Foods) conventionnels, « les aliments future » inclus dans cette étude [6]

I.6. Caractéristiques de la spiruline

I.6.A. Le terme de « spiruline »

La spiruline détient 3 différentes confusions faites par rapport à l'emploi du terme spiruline :

- **Spiruline :** C'est un nom commercial « francophone » de la cyanobactérie qui fait partie du genre *Arthrospira*, terme dit vernaculaire générique il regroupe toute spirulines présente sur le marché (*spirulina* est l'espèce non comestible et *Arthrospira* est l'espèce comestible) [10]

- **Spirulina** : C'est un nom commercial « **anglophone** » de la cyanobactérie appartenant au genre *Arthrospira*, nom scientifique et taxonomique d'une autre cyanobactérie très éloignée du genre *Arthrospira* qui n'est pas utilisé dans le cadre de l'alimentation [10]
- **Arthrospira** : Nom scientifique et taxonomique d'un groupe de cyanobactéries auxquelles appartient la spiruline utilisée dans le cadre de l'alimentation [10]

I.6.B. La spiruline « une cyanobactérie »

La spiruline une cyanobactérie, qui a la contradictoirement aux algues vertes, est une un procaryote gram négatif et même si elle possède des caractéristiques propres aux algues, il s'agit en réalité d'une bactérie. *Spirulina jenniferi plantensis*, est le nom procuré à la spiruline une fois décrite pour la première fois par Wittrock et Nordsted en 1844 [5]

La spiruline et après la distinction entre les procaryotes et les eucaryotes est établie en 1960, se base sur la différenciation d'organisation cellulaire. Une recherche menée par Stanier et ses collaborateurs en 1962 a démontré que cette « algue bleue verte » était dépourvue de compartiments cellulaires, ce qui signifie donc qu'elle fait partie des procaryotes. « Cyanobactérie » fut le nom proposé afin de désigner ce microorganisme par Stanier et ses collaborateurs, le préfixe est d'origine grec « cyano, cyan » dérivant du nom du pigment phycocyanine qui compose la spiruline. En 1974, cette désignation fut acceptée et figura pour la première vue au « Bergey's Manual of Determinative Bacteriology » [5]

Tableau 2: Caractéristiques communes des cyanobactéries aux algues et aux bactéries [5]

| Algues | Bactéries |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Chlorophylle a | Absence de membrane nucléaire |
| Deux photosystèmes I et II | Absence de membrane plastidiale |
| Photosynthèse : production d'O ₂ | Absence de mitochondries |
| Pigments photosynthétiques : phycobiliprotéines | Absence de réticulum endoplasmique et dictyosome |
| Eau : donneur d'électrons | Paroi cellulaire Gram - : muréine |

Tableau 3: Différences entre les deux cellules d'algue bleue spiruline, procaryote et celles d'algues vertes, eucaryote [5]

| | ALGUE VERTE, eucaryote | ALGUE BLEUE, procaryote |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Noyau | Partie entourée de membrane contenant le nucleolus, l'ADN et des protéines | Absence ; ADN et ARN sont distribués plus ou moins au hasard dans la cellule et non entourés d'une membrane |
| Nucleolus | Structure à l'intérieur du noyau qui contient ARN et des protéines | Absence |
| Ribosomes | Le mécanisme de réglage utilisé dans la synthèse des protéines à partir des acides aminés ; travaille en conjonction avec l'ARN messenger, l'ARN de transport et le triphosphate de guanosine, la source de transfert d'énergie | Comme pour les cellules eucaryotes |
| Fibrilles d'ADN | Absence | Présence |
| Ribosomes | Le mécanisme de réglage utilisé dans la Synthèse des protéines à partir des acides aminés ; travaille en conjonction avec l'ARN messenger, l'ARN de transport et le triphosphate de guanosine, la source de transfert d'énergie | Comme pour les cellules eucaryotes |
| Mitochondrie | Site de la respiration et du métabolisme des acides gras | Absence |
| Paroi cellulaire | Épaisse, formée de couches cellulosiques | Quatre couches minces de mucopolymères et polysaccharides ; sans cellulose mince, servant de barrière osmotique ; transport actif de substrat sélectionné et site de réactions enzymatiques clés |

I.6.C. Systématique de la spiruline

Les codes botanique et bactériologique sont tous deux les gouvernants de la classification taxonomique des cyanobactéries. [3]

Le CIN « Code international de nomenclature pour les algues, les champignons et les plantes »

Selon le CIN, la classification est basée sur des caractéristiques morphologiques permettant l'identification des genres. Et dans le cas des cyanobactéries, elles portent pour nom : algue bleue, cyanophyte ou cyanophycée. [3]

C'est d'ailleurs la même classification botanique proposée sur les sites en ligne :

« **Catalogue of life** » : (Catalogue of life est une base de données de taxinomie des espèces).

Il collecte les informations issues d'une centaine de bases de données spécialisées.

« **ITIS** » : (est un organisme international issu de la collaboration des États-Unis, du Canada et du Mexique). Ce dernier fournit des informations sur la taxinomie des espèces biologique. Il se base essentiellement sur des critères morphologiques, anatomiques et chimiques. Cependant, Il ne prend pas en compte les critères de la classification phylogénétique. [3]

Les données extraites de ses deux sites internet (Catalogue of life, ITIS) ont été résumées dans le tableau :

Tableau 4: Classification selon le CIN [3]

| Règne | Monera |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sous règne | Negibacteria |
| Division | Cyanobacteria |
| Classe | Cyanophyceae |
| Ordre | Nostocales |
| Famille | <i>Oscillatoriaceae</i> |
| Genre | Arthrospira (Stizenberger) ex Gomont 1893 |
| Espèces | Arthrospira gomontiana Setchell 1895 - Arthrospira jenniferi Stizenberger ex Gomont 1893 -Arthrospira neopolitana |

- **L'ICNB (NCBI) « International Code of Nomenclature of Bacteria»**

Selon ce code, suivant les critères de la classification botanique, en prenant compte des caractéristiques physiologiques, biochimiques et génétiques déterminées sur des souches pures en culture. [3]

Plusieurs sites internet proposent cette classification bactériologique. [3]

La première classification tient source des sites internet ou on y retrouve les mêmes classifications :

WoRMS « World Register of Marine Species » : c'est une base de données qui réunit une des noms de taxons des constituants marins découlant du registre européen des espèces marines basée à Ostende en Belgique. [3]

Cyano DB : est une base de données en ligne des cyanobactéries, s'appuyant sur le travail de Komarek et de plusieurs autres chercheurs.

-La deuxième classification est issue des sites internet ou On y retrouve les mêmes classifications. [3]

AlgaeBase : c'est une base de données d'informations sur les algues qui comprend des organismes marins, terrestres, et d'eau douce. [3]

NCBI (ICNB) : C'est un outil de recherche en ligne des manuels biomédicaux, adhérant à la bibliothèque nationale de médecine des États-Unis. [3]

Uniprotn : est une base qui s'appuie sur les données de séquences de protéines, venant de la consolidation des données produites par la communauté scientifique. [3]

Le tableau suivant résume la classification bactériologique de la spiruline en s'appuyant sur les données extraites de l'ensemble de ses cinq sites internet :

Tableau 5:Classification suivant l'ICNB [3]

| Empire | WoRMS/CyanoDB | Algaebase/NCBI/Uniprot |
|---------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|
| | / | |
| Règne | Bactérie | Prokaryota |
| Sous règne | Gracilicutes | Negibacteria |
| Division | Cyanobacteria | Cyanobacteria |
| Classe | Cyanophyceae | Cyanophyceae |
| Sousclasse | Oscillatoriothycidae | Oscillatoriothycidae |
| Ordre | Oscillatoriales | Oscillatoriales |
| Sous famille | Phormidioideae | |
| Genre | Arthrospira Stizenberger ex Gomont, 1892 | Arthrospira Stizenberger ex Gomont |

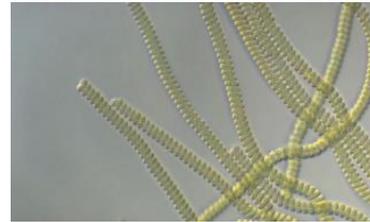
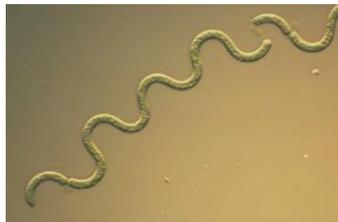
Selon ce tableau, la systématique des cyanobactéries peut s'attendre à d'autres changements dans les prochaines années avec l'avancement des techniques de génomique et de bio-informatique puisque la classification de l'algue bleue est encore soumise à consensus. [3]

Les genres *Arthrospira* (spirulina) qui sont proposés afin de désigner la spiruline selon les auteurs : *Spirulina* : elle représente la forme aseptée (de Tupin), et *Arthrospira* : elle représente une forme (de Stizenberger) avec un septum visible avec de différents critères morpho-anatomique selon le tableau suivant :

Tableau 6: Tableau de comparaisons morpho-anatomiques entre les deux genres « *Spirulina* » et « *Arthrospira* » [5]

| | <i>Arthrospira</i> | <i>Spirulina</i> |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Trichomes | Hélice ouverte | Hélice presque fermée |
| Paroi cellulaire | Visible si les vacuoles à gaz ne sont pas trop nombreuses | Difficilement visible (gaine non prononcée) |
| Taille et spécificité des cellules | 6 à 12µm de large Possible constriction entre cellules adjacentes | 2 à 4µm de large Peu ou pas de constriction entre cellules adjacentes Forme non fixe |
| Reproduction | Scission simple : fragmentation du trichome en hormogonies à partir des cellules nécrétiques Toutes les cellules se divisent sauf les cellules apicales | Scission simple : Fragmentation du trichome en hormogonies (sans les cellules nécrétiques) Toutes les cellules se divisent |
| Génome | ADN : 43% de G+C | ADN : 44 à 53% de G+C |

Représentation



Selon le tableau ci-dessus, la désignation actuelle des espèces « *Arthrospira* » par le terme spiruline et très spécialement pour l'espèce *A.platensis* et *A.maxima* tient plus d'un sens traditionnel que taxonomique. Cependant, l'*Arthrospira* est phylogénétiquement éloigné du type *Spirulina* même s'ils partagent la même forme hélicoïdale des trichomes et la répartition de certaines espèces dans les mêmes habitats sélectifs [5]

Geitler réalise une révision en 1932 qui aboutit à la fusion des deux types sous le terme de spiruline. Le projet d'unir les deux genres se base sur une technique qui permet l'enroulement en hélice des trichomes retrouvés chez ces derniers. Cette classification est encore jusqu'à aujourd'hui l'origine de la confusion entre les deux noms de genre [5]

Dans le « *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology* » la distinction entre les deux genres fut officiellement retenue, seulement ces derniers restent encore jusqu'à présent des désignant des espèces du type *Arthrospira* [5]

I.6.D. La reproduction

La cyanobactérie (la spiruline), effectue une reproduction asexuée (une reproduction végétative) par scission simple ou multiple, par une fragmentation au hasard ou bien par bourgeonnement. Il se trouve que des cellules appelées akinètes spéciales qu'on aperçoit chez certaines espèces qui peuvent résister à la dessiccation et germer une fois que les conditions sont favorables. La reproduction détient un nombre de population variant selon l'espèce et les conditions environnementales qui durent quelques heures à plusieurs jours [5]

I.6.E. Développement et activité

La spiruline est une cyanobactéries dite « photo-litho-autotrophes », « photo » qui renvoi à sa pratique de la photosynthèse, « litho » signifie qu'elle s'alimente de minéraux et pour ce qui concerne « autotrophe » c'est pour le fait qu'elle est autotrophe au carbone et a l'azote, c'est-à-dire qu'elles peuvent réduire l'azote atmosphérique en ammonium ou en nitrates ce qui leur permet de produire des acides aminés et des protéines [2]

Au surplus, au cours de la création de la planète, les algues qui ont existé sont la source de près de 90% d'oxygène de la planète, l'équivalent de 330 milliards de tonnes durant une année tandis que le 10% restant est produit par les arbres et les plantes. De plus, la spiruline étant capable d'absorber le dioxyde de carbone et l'une des meilleures répliques contre le réchauffement climatique [5]

I.6.F. Culture de la spiruline et sa production

En 2013, plus de 5.000 tonnes de la cyanobactérie ont été procuré par 22 différents pays même si 50% est assurée par la Chine, cependant la production a pu doubler en 8 ans. Le montant de vente sur le marché est entre 90 à 150 euros, en Algérie 100 g est de 1440 Da (le produit) [2]. La culture de cette algue est subdivisée en deux types :

- **Production industrialisée à grande échelle**

Depuis les années 70, les pays à production abondante produisaient pour le marché pharmaceutique comme pour le cas des Etats-Unis (grand fournisseur des compléments alimentaires) qui possède les plus grandes fermes de production contenant des bassins qui font la taille d'un terrain de football. Ils se situent en Californie et a Hawaï ou y a un taux d'ensoleillement élevé (la ferme d'Earthrise en Californie de 43 hectares et produit à elle seule 450 tonnes en 2002 de spiruline l'équivalent de 15% de la production mondiale). La culture utilise pour son milieu de l'eau venante du Colorado qui est riche en minéraux, quant à la récolte

elle s'effectue par un procédé dit « Spray-drying » la spiruline aspirée est atomisée à de hautes températures, puis elle est pulvérisée successivement afin d'être séchée réduite en poudre [2]

Le produit fini est a posteriori mis en gélules néanmoins le produit initial a perdu plusieurs propriétés physico-chimiques notamment les plus sensibles (oligo-éléments, vitamines, SOD, phycocyanine...) [2]

- **Production artisanale à petite échelle**

La spiruline est cultivée dans des fermes comme « mine » de protéines dans le but de refréner la malnutrition, ils utilisent dans leurs cultures du « natron » autant qu'intrant qui se situe dans les lacs voisins et l'eau et récupérée des puits [7]

En Algérie plusieurs se sont mis à la cultiver et à la commercialisé que ce soit des espaces importées ou bien d'origine algérienne, plusieurs projet culture se sont lancé comme celle de Oran de monsieur REDOUANE Anouar qui s'est mis à la cultiver depuis 2013 [7]

A l'égard de cette culture une autre culture qui date d'années précédentes qui se situe actuellement Près de Tamanghasset dans le Sahara algérien, à la Guelta Taguemart tout justement, une production est née après une découverte d'une souche de spiruline type Paracas dans les années 80. AbdelKader Hiri, docteur en géophysique-géomagnétisme est celui qui découvre cette souche accompagnée de Boileau Etienne, qui aujourd'hui porte les initiaux de leurs noms accompagnés du nom de la région « Behatam » (Be pour monsieur Boileau, Ha pour monsieur Hiri et Tam pour Tamanghasset) [8]

Après plusieurs recherche monsieur Hiri cultive jusqu'à ce jour et continue à organiser des meeting, à former de nouveau cultivant et à organiser des colloque (comme le mini-colloque 18 - 24 avril 2004 qui réunissaient des scientifiques, chercheurs et responsables d'ONG ayant une expérience de la culture et des utilisations de la spiruline) [8]



Figure 3: Mini-colloque entamant la spiruline à Tamanrasset 18 - 24 avril 2004 organisée par Mr.Hiri [8]

I.6.G. La culture de la spiruline

- **A une production basse**

La culture artisanale de la spiruline est réalisée dans des pots de 35 à 40 litres, c'est une agriculture surnommée « culture des pots de boues ». Les souches de la cyanobactérie sont mis dans un mélange de bouillie de bio-gaz, sels marins, du dihydrogène, potassium, phosphate, chlorure de sodium et de l'eau bien conservé au soleil avec une agitation au moins 4 fois par jours. Après 3 à 4 jours de maturation, le mélange est filtré à l'aide d'un chiffon ou un tissu propre, puis la spiruline est lavée à l'eau douce, séchée pour enfin être consommé sous forme de poudre [2]

- **A une production élevée**

Des recherches ont permis l'élaboration de protocoles visant à optimiser la culture des spirulines de l'échelle familiale à l'échelle industrielle. Les installations industrielles produisent les compléments alimentaires suivant plusieurs normes sanitaires et des conditions environnementales : la qualité de l'eau, de l'air et de la nourriture. Les conditions favorables sont étudiées avec précision afin de maximiser le rendement durant toute l'année (même dans des climats trop froids) afin d'envisager des cultures en pleins air. Plusieurs recherches durant ces 20 dernières années travaillent sur la capacité de cultiver dans d'autres systèmes principalement le photobioréacteur. L'exploitation industrielle nécessite une surface pour les bassins de culture spécifiquement plus importants par rapport aux exploitations artisanales. Dans le monde 1 kilo (de spiruline) est conçu environ chaque 3 secondes principalement venant de la chine et des États-Unis. Ceci exprime 5.000 tonnes de production annuelle d'après le site

(www.planetoscope.com). La production de la spiruline n'endommage pas l'environnement, elle n'est ni traitée ni cuite c'est pourquoi il est difficile d'obtenir des renseignements sur la production mondiale actuelle et sur son coût. La production mondiale a constamment évolué surtout depuis 1995 de 1400T à 3500T en 2000 selon une étude réalisée par le bureau d'étude Tractebel Consult en association avec le centre Universitaire de biotechnologie Algale (CUBIA). Il y a d'ailleurs quelque organisme international qui désormais sont impressionnés par cette cyanobactérie ; un rapport de la FAO : « A review on culture, production and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish » assurant de cette manière la grande importance de la potentialité de la spiruline en 2008. [2]

- **Conditions optimales**

Le bassin de culture idéal est en béton ou en PVC, accompagné d'un sou serre pour protéger des intempéries, fientes d'oiseaux, pollens, feuilles, soleil, mais aussi pour éviter la mousson dont les pluies diluviennes dilueraient le milieu de culture, tout en laissant passer la lumière. La taille du bassin est dans l'intervalle de 15 à 18 centimètres de profondeur et de plusieurs centaines de mètres de longueur soit 250 à 350 m² afin permettre un contrôle des constantes physico-chimiques plusieurs fois par jour. Le pH favorable est autour de 11, quant à ce qui concerne la température de l'eau entre 30 - 35°C. En ce qui concerne les intrants chimiques utilisés, ils sont tracés et de qualité, ils répondent à un cahier des charges rigoureux ; un contrôle de la qualité et de la pureté de l'eau par des organismes certifiés et indépendants est nécessaire pour assurer une spiruline de bonne qualité. Un brassage constant est essentiel, il est conçu à l'aide d'une grande roue à aube, de 2 m de diamètre avec une vitesse de rotation est de 10 tours par minute sinon l'usage d'une pompe fait l'affaire étant donné que tous les filaments de spiruline soit exposés au soleil. Cependant, la culture doit utiliser une souche de la cyanobactérie bien choisie de qualité. Ainsi un bassin de 4 m² de 20 cm de profondeur peut produire environ 40 g de spiruline sèche par jour. [2]

I.6.H. Les constituants de la spiruline

- **Les protéines**

Les protéines, des molécules organiques indispensables pour le corps humain, elles sont responsables de la structure et de la constitution chimique des individus (les enzymes, hormones, anticorps, réparant les tissus, et l'équilibre acido-basique). Les acides aminés (qui sont un enchaînement représentant la base des protéines), dont le corps fabrique 12 et 8 sont assurés par l'apport alimentaire, par exemple la spiruline qui assure les 8 autres acides aminés

en proportion considérable et directement assimilables. Pendant la culture plus la luminosité est élevée plus le pourcentage en protéine est élevé, ce qui fait la variation de la proportion de cette dernière d'une culture à une autre. Les protéines de la spiruline sont facilement accessibles sans aucun traitement car la paroi cellulaire de la cyanobactérie est fragile (pas comme pour d'autre aliment qui peuvent avoir par exemple de la cellulose), d'ailleurs une fois la spiruline est avalée 18h après 85% des protéines sont bien digérées et assimilées. La notion « NPU » signifiant l'utilisation protéique nette, la NPU de la spiruline détient (83-90%), comparant à (30%) des lentilles, (15%) de la viande de bœuf et à celle du lait de vache qui compte (12%), la NPU la plus remarquable est bel et bien celle de la spiruline [3]

Il faut savoir que l'absorption de 10g de spiruline apporte que 7 g de protéine sur les 42g nécessaires (42g de protéine pour un adulte de 75kg, selon la FAO et OMS). Cependant, l'apport qualitatif est plus présent que quantitatif chez la spiruline car la constitution en acides aminés essentiels est énormément enlevée (selon le tableau qui représente les % par rapport aux AJR) [2]

En revanche, il se peut que la spiruline doit être utilisée avec précaution dans le cas des patients ayant fait une crise de goutte car la spiruline possède des acides nucléiques qui couvrent 4.2 à 6 % du poids sec avec 30% ADN et 70% ARN. Ces derniers en se dégradant produisent l'acide urique qui entraîne des calculs rénaux et aussi des crises de goutte. Même si la dose maximale tolérable à long terme qui est de 4g d'acide nucléiques ne peut être atteinte qu'après l'absorption de 80g de spiruline [5]

- **Les lipides**

Le taux de lipide selon les modes d'extractions, et la souche utilisée il peut y avoir 5.6 à 11% du poids sec, et la teneur en cholestérol est faible d'environ 3.25mg/10g, la teneur en cholestérol dans une cuillère à soupe de ma cyanobactérie est à 1.3mg de cholestérol et 36kcal. La cyanobactérie contient peut d'acide gras saturés (comme palmitique, stéarique, arachidique) et nombreux « AGPI » qui signifie les acides gras polyinsaturés (environ 25 à 60% des lipides totaux). De plus, on retrouve chez cette cyanobactérie l'acide linoléique et le « GLA » qui est l'acide γ -linoléique qui n'est pas disponible dans tous les aliments à des alentours de 30-35% des AGPI, en revanche il peut monter de +1.2 à +1.6% si la culture est faite avec une alternance de lumière/obscurité. Le GLA est un oméga 6 indispensable à la synthèse des leucotriènes et des prostaglandines, il est présent chez la spiruline, l'huile d'onagre, de pépin, de cassis, de chanvre et de bourrache. Néanmoins, les échantillons de spiruline vérifiés par chromatographie

ne détectent aucun oméga 3, c'est-à-dire que la spiruline est une source d'oméga 6 et non pas d'oméga 3 [5]

- **Les glucides**

La proportion existante est de 15 à 25% de la matière sèche, ils constituent la membrane de la spiruline. La spiruline contient une faible proportion ce qui fait de lui un aliment peu calorique, elle est formée de sucre simple comme le glycérol, mannitol et sorbitol. Il existe deux importantes substances glucidiques :

- Le méso-insitol phosphate qui est l'excellente « source » de phosphore
- Le calcium-spirulan qui est un polysaccharide constitué de rhamnose, fructose mais a une petite quantité comparant à celle du ribose, mannose, glucose, xylose, soufre et calcium. [2]

- **Les vitamines**

Les vitamines détiennent un rôle très important dans le développement, le fonctionnement et l'entretien de l'organisme seulement elles agissent en petites quantités. A l'exception de la vitamine D qui est synthétique par le corps, les autres vitamines sont apportées à l'aide de l'alimentation en quantité minimes (quelques microgrammes par jour).[2]

Les carences en vitamines prennent du temps pour être remarqué mais elle se traduit majoritairement par la fatigue, par des troubles de mémoire, mais des maladies tels que le scorbut (carence en vitamine C), le béribéri (carence en vitamine B1) et d'autres encore peuvent apparaître. Les vitamines décrites comptent 13, elles ont plusieurs fonctions comme la prévention des maladies (le cancer, la cataracte, les pathologies osseuses, maladies cardiovasculaire, malformation fœtales et déficit de l'immunité). La spiruline à elle seule a les vitamines A, D, E, K, B1, B2, B3, B5, B6, B8, B9 et B12 à part la vitamine C [3]

- **Les vitamines liposolubles**

Les vitamines A, D, E et K sont liposolubles, elles sont retrouvées es dans les aliments gras et sont stockés dans le foie ou bien dans le tissu adipeux d'où le risque de surdosage. la vitamine D peut être de différentes sources endogène produite par la peau suite à l'exposition au soleil, et exogène présente dans les corps gras [5]

Le β -carotène présent dans la spiruline constitue 80% des caroténoïdes, les 20% qui restent sont partagé entre la physoxanthine et la cryptoxanthine. Ces deux dernières sont la productrice

de la vitamine A qui est uniquement retrouvée dans les aliments d'origine animale (foie, huile de foie de morue, poissons, œufs, et laitage), sous la forme du rétinol. Dans les 4 g de spiruline l'apport de β -carotène est supérieur à celui de 100g de légumes aux couleurs vives [5]

- **Les vitamines hydrosolubles**

La spiruline est source des vitamines hydrosolubles aussi, ce sont des vitamines qui ne se stockent pas par le corps puisqu'elles sont éliminées par le rein et dans la sueur c'est pourquoi les besoins journaliers doivent être satisfaits. Chez la spiruline la vitamine C peut exister mais a des quantités négligeables selon la provenance [5]

- **Les pigments**

La cyanobactérie comporte deux pigments essentiels, la chlorophylle et la phycocyanine. La chlorophylle qui désigne le pigment utilisé par les plantes pour la photosynthèse représente 1% de la matière sèche chez la spiruline, elle est la provenance de sa coloration verte. Sa consommation permet au corps de l'être humain de capter le magnésium organique qui est nécessaire au maintien de l'équilibre acido-basique. Elle détient une structure peu similaire à celle de l'hémoglobine sauf que la molécule centrale est le magnésium et non pas le fer. Elle est bonne pour la digestion gastrique du fait du soulagement de la constipation que son ingestion cause, comme aussi elle est responsable de l'augmentation du péristaltisme. Aussi la chlorophylle normalise la sécrétion digestive acide et la pepsine responsable de l'ulcère digestif. En outre, la chlorophylle s'associe à la porphyrine qui est un autre composant de la spiruline afin de chélater les métaux lourds, mercure, plomb, arsenic, ou nickel et les éliminer de l'organisme. Seulement, avec tout cela, la chlorophylle est détruite à haute température c'est pour cela qu'un séchage à basse température est recommandé [5]

Quant à la phycocyanine, c'est une protéine qui représente 12.6% à 20% du poids sec, elle est responsable de la coloration bleue et elle n'existe que chez la spiruline. Elle est formée d'un noyau qui renferme un ion fer et un autre magnésium, ce qui fait qu'il est considéré comme un précurseur de l'hémoglobine qui a un noyau avec ion de fer additionnée de la chlorophylle qui a son tour détient un noyau avec un ion magnésium [2]

- **Les enzymes**

La spiruline détient une puissante enzyme « SOD » qui est l'abréviation de « superoxyde dismutase ». Un apport très important de 1.000 à 4.000 UI/g, c'est une anti-oxydante très puissant qui fait partie de la base du système endogène de la lutte contre le stress oxydatif. La

biodisponibilité de la SOD est produite en quantité très importante étant donné que la membrane de la cyanobactérie est dépourvue de cellulose [2]

- **Les minéraux et oligo-éléments**

Le besoin de notre corps est de l'ordre du gramme alors que les besoins en oligo-éléments sont de l'ordre de milligramme ou microgramme. Les minéraux essentiels sont contenus dans la spiruline à 7% du poids sec. La teneur en minéraux varie selon le pH et la composition du milieu de culture, elle absorbe plus ou moins les minéraux. Seulement, pour ce qui concerne le fer, il est 2 à 3 fois mieux assimilé que celui des légumes ou de la viande, il existe en cette cyanobactérie sous une forme chélaté à des acides aminés qui favorise son absorption [5]

- **Métaux lourds**

Les métaux lourds peuvent être nocifs, c'est pour cela qu'ils doivent être bien contrôlés et leurs taux doivent être retenus le plus bas possible [2]

Remarque : La valeur énergétique de la spiruline est de 150 Kj soit 375 Kcal pour 100g ou 11,25 KCal pour 3g. [2]

I.7. Activités thérapeutiques de la spiruline

I.7.A. L'activité antioxydantes

Il existe plusieurs processus dégénératifs avec lesquelles le corps humain fait face comme l'influence du soleil, le tabac, le stress, la pollution, l'alimentation déséquilibrée. Ce stress oxydatif abime nos cellules et cause leurs morts, il est aussi considéré comme la raison principale du vieillissement, ajoutant à cela son implication dans l'apparition de plus de deux cents pathologie (l'artériosclérose, le diabète, les maladies inflammatoires et le cancer). Le remède trouvé est les antioxydants ou scavenger étant donné qu'ils ont cette activité pharmacologique d'interférer avec ces processus. Des recherches sont en évolution sur l'activité antioxydante de la phycocyanine sous divers aspects [3]

- **Rappel sur les radicaux libre et le stress oxydant**

Les radicaux libres sont physiologiquement issus d'un métabolisme de l'oxygène produit en très faible quantité mais qui risque d'accumuler et de provoquer des processus dégénératifs. Ils sont des espèces chimiques qu'on retrouve dans le corps humain qui possède un électron unique sur leur couche périphérique. Lors du stress oxydant, la quantité des radicaux libres produits est

importante, l'électron libre de ces derniers est porté par un atome d'oxygène afin de donner naissance aux espèces réactives de l'oxygène (ROS ou ERO) ou bien espèces radicalaires dérivés de l'oxygène [2]

- **La prévention nutritionnelle**

Le moyen qui peut prévenir le stress oxydatif est d'optimiser l'apport en antioxydants par une alimentation saine, équilibré et riche. En général, l'alimentation de nos jours est en appauvrissement dans la teneur en antioxydants qui sont issue de la transformation technologique. Les mécanismes industriels qui réalisent les cuissons a longues durée (stérilisations par exemple) diminue et élimine généralement les propriétés antioxydants de l'aliment [5]

- Les antioxydants exogènes :

- des micronutriments : vitamines (A, C, E), zinc, sélénium
- des cofacteurs aux micronutriments : vitamines B2, B3 et B9
- des microconstituants oxydants comme les polyphénols

- Les antioxydants endogènes :

- le NO (Nitric Oxide) qui a un double statut d'antioxydant et d'oxydant suivant les pathologies et les processus physiologiques en cause.
- les enzymes antioxydantes tel que le super oxyde dismutase (SOD), la catalase (CAT), le glutathion peroxydase (GPx), la NADPH oxydase et la xanthine oxydase.
- les systèmes antioxydants qui sont « non enzymatiques » comme le glutathion, la bilirubine, les oestrogènes, l'acide urique, le coenzyme Q, la mélanine, la mélatonine et l'acide lipoïque [4]

I.7.B. Activité anticancéreuse

Le cancer existe sous différentes formes d'ont l'une est source d'un ADN cellulaire endommagé qui provoque une croissance cellulaire anarchique. Ce phénomène en général est évité grâce à un ensemble de progrès enzymatiques par lequel la cellule endommagée repérée est corrigée. Malheureusement, les différentes toxines arrivent a influencé sur les enzymes et les désactiver ce qui fait que les brins d'ADN ne sont plus réparés, ce qui induit en conséquence l'apparition d'un cancer [1]

La recherche continue à se développer et après les médicaments à visée curative « les antinucléoplasiques », les études aujourd'hui visent à mettre en œuvre des molécules capable de prévenir le cancer. Subséquemment la chimio-prévention est apparu qui est une pratique qui permet l'utilisation de molécules synthétiques ou substances naturelles qui visent à inhiber la carcinogénèse [1]

Dans les années précédentes, il y avait un regain d'intérêt pour l'utilisation d'anti-inflammatoires non stéroïdiens « AINS » en chimioprévention puisque les études épidémiologiques ont démontré que l'usage d'aspirine et d'autres AINS susceptible de minimiser le risque de cancer de 40 à 50%. Il existe dans les tissus malins des cancers colorectaux, gastriques ou pulmonaires, des taux de cyclo-oxygénase 2 et de prostaglandines qui augmentes, l'usage d'inhibiteurs sélectifs de la cyclo-oxygénase 2 peut permettre d'induire l'apoptose. C'est-à-dire qu'elle peut provoquer la mort cellulaire programmée des cellules cancéreuses. Dans le cas de cette cyanobactérie, la phycocyanine est souligné dans beaucoup de recherches ou les études ont constaté qu'elle est capable d'activer l'apoptose dans divers types de lignée cellulaire. Ceci a été prouvé par une analyse microscopique de cellules après traitement à la phycocyanine, elle a notamment démontré un accroissement du nombre de cellule apoptotique, des modifications structurales tel que des rétrécissements cellulaires, des formations de bulles sous les membranes, mais aussi des micronucléus caractéristiques d'une apoptose et des lésions de l'ADN cellulaire par fragmentation des brins [5]

I.7.C. Le système immunitaire et la puissance de la spiruline

L'immun-modulateur est la capacité qu'a la spiruline, elle a été découverte en 1994 après une expérience sur des souris, puis d'autres études se sont succédait sur des souris, hamsters, poulets, dindes, chats et poissons. La résolution du de ces recherche est que la spiruline est assurément un puissant tonifiant du système immunitaire. Ceci est justifié par la présence de vitamines (du groupe B et la vitamine E), d'oligoéléments (comme le fer, le zinc, le sélénium), d'antioxydants puissant (avec des doses importante le bêta-carotène comme par exemple), d'acide gamma-linolénique or, c'est des composés qui n'ont rien de révolté. De plus, la spiruline a une autre fonction très important un agent « dopant » du système immunitaire en compagnie de molécules complexes (polysaccharidiques et polypeptidique), leurs effets immuno-stimulants a été étudié dans le milieu des années 90 [3]

I.7.D. Activité de la spiruline « antivirale »

En 1996, les deux chercheurs Hayashi T. et Hayashi K. ont découvert que le Ca-SP est capable d'inhiber la réplication d'un grand nombre virus a enveloppe tell que le virus d'herpès

simplex type 1, le cytomégalovirus humain, le virus de la rougeole et des oreillons, le virus de la grippe A et le VIH-1. La recherche a démontré qu'un prétraitement de 3h avant l'infection est encore plus puissant que le traitement juste après l'infection, ceci par le polysaccharide qui agit sur la réplication virale à un stade précoce pendant la phase d'adsorption ou de la pénétration. La capacité du Ca₂SP à inhiber sélectivement la pénétration du virus dans les cellules hôte est représentée dans le tableau suivant. Il détient la capacité de bloquer la quasi-totalité de la pénétration du virus HSV-1 [1]

I.7.E. Autres activités

La cyanobactérie possède un potentiel thérapeutique très riche qui a été déniché par plusieurs recherches dans divers domaines, et même si elles ne sont pas toutes aussi rigoureuses que les recherches précédemment citées, elles restent des constatations bien plus claires de la puissance de cette algue bleue [5]

- **Effets contre le diabète, l'obésité et la circulation sanguine**

L'effet que la spiruline possède contre le diabète a été remarqué pour la première fois par Takaï et al quand la fraction soluble dans l'eau de la spiruline a diminué le taux du glucose dans un sérum. De plus, en 1986 Becker et al ont constaté qu'une dose supplémentaire de spiruline (de 2.8 à 3 g) par jour et ceci pendant 4 semaines provoque une réduction du poids corporel chez les obèses. Pareillement d'autres études concernant l'activité de la spiruline, Iwata et al ont trouvé que l'apport de spiruline provoque une suppression de l'hypertension chez les rats. Pendant que Cheng-Wu Z et al ont démontré que la phycocyanine présente dans la cyanobactérie et ses polysaccharides détenaient une activité érythropoïétine « EPO » (une hormone qui provoque un accroissement du taux de globules rouges dans le sang).[2]

- **Effets protecteurs contre les radiations**

La spiruline a fait objet de la recherche de Schwartz et al, selon lui la cyanobactérie contient des molécules protectrices présentes dans son extrait qui agissent comme facteurs stabilisants de l'ADN, une diminution des micronucléus est observée induit par les rayons γ . Par ailleurs, d'autres recherches menées sur des enfants victimes de Tchernobyl, lors de leurs apports en spiruline durant 45 jours, une augmentation des cellules-T suppressores et d'hormones a été identifiée, et la radioactivité de leurs urines a marqué une diminution de 83%. [5]

- **Effets contre l'hyperlipidémie**

Dans une étude faite par Devi et Venkataraman une réduction du cholestérol sanguin à l'aide de la cyanobactérie a été prouvée chez des rats en 1983. Puis, d'autres études sont venues

affirmer cela par des tests sur le corps humain en 1984, quand un contrôle d'une alimentation complétée de 16% par de la spiruline réalisée par Kato et al, le résultat a donné une réduction du taux du cholestérol. Une autre alimentation enrichie a 5.10 et 15% de spiruline a été réalisé en 1987 sur des rats ou Iwata et al ont détenu une diminution significative du cholestérol total HDL cholestérol, des triglycérides et des phospholipides. Les recherches qui se succèdent sur les expérimentations sur le corps humain ont conclu qu'un régime régulier à la spiruline (4.2g/jour pendant 4 semaines) procure une diminution du LDL-cholestérol et un abaissement significatif de dépôts graisseux localisés dans les artères. Cependant, ces expériences à continuer d'être observé dans les 4 semaines qui suivent la fin de l'ingestion de la spiruline, si l'apport en spiruline est discontinu le taux du cholestérol reprend sa valeur initiale.[5]

Ce processus est dû à la croissance de l'activité d'une certaine enzyme appelé « la lipoprotéine lipase » qui est une enzyme « clé » faisant partie du métabolisme des triglycérides et des lipoprotéines.[2]

La spiruline et ces constituants détiennent un splendide potentiel pour faire face à plusieurs problématiques sanitaires. Mais son usage dans le domaine alimentaire ou pharmaceutique, exige un savoir sur les risques toxicologiques ou bactériologique que peut engendrer une consommation courante chez l'homme. [2]

1.8. Toxicité et surdosage de la spiruline

La cyanobactérie dispose d'une dose létale a respecté la « DL503 », après l'évaluation de la phycocyanine administré par voie orale à des rongeurs (rats et souris), elle est estimée supérieure à 3g par kg. Après 14 jours d'administration orale de phycocyanine, aucune mort détectée, aucun changement physique et même comportementale n'a été détecté entre le groupe « test » et le groupe « témoin ». [5]

La spiruline peut naturellement être infecté, selon la nature géologique des régions ou elle est cultivé ; la spiruline cultivé dans des bassins industriels ou artisanales sont strictement contrôlés et à l'abri de contamination chimique. Pour ce qui concerne la contamination microbiologique c'est un fait impossible étant donné que les conditions de culture de la cyanobactérie ne sont favorables pour aucune bactérie (le ph est très basique). Ajoutant à cela que l'algue bleue n'a jamais représenté une complication de surdose pour les peuples qui s'en servaient dans les siècles précédents, elle était l'aliment traditionnelle des Tchadiens, des Kanembous, et aux Aztèques et nul n'a laissé de prescription sur la dose a respecté [5]

Chapitre II :

La crème glacée

Chapitre II : La crème glacée

II.1. Généralités sur la crème glacée

II.1.A. Définition

La crème glacée n'a pas qu'une seule définition à cause des variations qui sont admises par les législations de différents Etats d'Amérique, et spécialement au sujet de la teneur en matière grasse. La définition adoptée par le ministère de l'Agriculture des Etats- Uni: « la crème glacée est le produit glacé fait avec de la crème et du sucre, avec ou sans essence naturelle et contenant au moins 14% de matière grasse de beurre ». [11]

Différents Etats garde une définition du terme crème glacée dans leur législation sur les produits alimentaires, avec des compositions dans lesquelles le pourcentage de matière grasse varie de 6 à 18%. [11]

D'autre part, La définition donnée par le JORF ; Abrogé par Décret n°2003-136 du 18 février 2003 - art. 1 (V) JORF 20 février 2003, Création Décret 49-438 1949-03-29 JORF 30 mars 1949 rectificatif JORF 30 avril 1949 en vigueur le 30 mai 1949 « Les dénominations "glace à la crème", "crème glacée", "ice cream", sont exclusivement réservées aux produits obtenus par la congélation d'un mélange pasteurisé de lait, de crème et de sucre (saccharose) parfumé » dans les conditions fixées à l'article 5 ci-dessous et grâce au fruits ou de jus de fruits, ou de l'un des arômes naturels prévus par ledit article. Ces dénominations devront obligatoirement être suivies de l'indication des fruits ou des arômes mis en œuvre [12]

Les produits auxquels elles s'appliquent devront renfermer au minimum, pour 100 grammes de produit fini :

a) Lorsque le parfum utilisé est un des arômes naturels visés au paragraphe b de l'article 5 ci-dessous :

15 g de saccharose et 8 g de matières grasses. Leur extrait sec à 100 degrés devra dans ce cas être au moins égal à 33 g ;

b) Lorsqu'il s'agit de glaces aux fruits ou jus de fruits :

15 g de saccharose et 6 g de matières grasses. Leur extrait sec à 100 degrés devra dans ce cas être égal à 31 g.

Toutefois, la conception et le marché des produits visés au présent article ne seront autorisées qu'à compter d'une date fixée par arrêté du ministre de l'agriculture pris après avis des services du ravitaillement ». [12]

II.1.B. Historique

Remontant à l'historique de la crème glacée, plusieurs remettent en doute l'origine de l'invention. Certains soutiennent le fait que c'est l'invention d'Alexandre-le-grand, d'autres donnent le mérite aux Italiens, tandis que d'autres pensent que les Napolitains auraient acquis une certaine perfection dans l'art de confectionner des mets glacés introduit par la suite en France à la Renaissance. En 1660, un monsieur nommé PROCOPE CULTELLI, ouvrit une boutique non loin de la Comédie Française et devint célèbre en débitant ce qui s'appelait « glace ». Après l'apparition en France la crème glacée ne fait son introduction en Angleterre qu'à la première moitié du XVIII^e siècle, l'appellation « Ice cream » qui signifie crème glacée ou crème à la glace. Le thème de « Ice cream » est trouvé faisant apparition initialement dans le livre d'Elizabeth RAFFALD : *The experienced English. Housekeeper* en 1769 à Londres. En 1789, la notion « ice cream » est apparue dans une annonce d'un certain HALL qui en fabrique à New-York USA. [11]

Les recettes utilisées dans les siècles passés, ceux d'aujourd'hui travaillent sur le perfectionnement de la production, la conservation du froid et sur l'appareil qui permet le mixage à bien du produit. Il y a une différence de constitution entre la « bombe glacée » ou « fromage » des Européens et la « ice cream » américaine, les glaces européennes contiennent le plus souvent des œufs, qui ont subi cuisson puis confectionnées dans une « Sorbetière » qui comporte le mélange réfrigérant qui est à la périphérie du récipient contenant la crème. La vente de la crème glacée était entretenue par les glaciers ou des confiseurs faisant des pièces de luxe ou une marchandise en petite quantité, tandis qu'en Amérique la fabrication de la crème glacée est industrielle. Le « ice cream » n'est pas cuisiné, renferme rarement des œufs et sont obtenus par fouettage dans des machines à congélation rapide à l'aide d'une circulation de saumure ; le durcissement est très poussé et s'élabore dans des chambres à température basse. Le laitier de Baltimore fut le premier à établir une exploitation de crème glacée : Jacob FUSSELL, 1851. En 1924, on peut estimer que les qui entre dans les fabriques de crème glacée d'Amérique du Nord (Etats-Unis et Canada) atteint 290.000.000 millions de dollars. [11]

En ce qui concerne la qualité, l'« ice cream » d'Amérique ne peut être comparable à celle fournie par les bons glaciers européens, car les producteurs présentent au consommateur un

produit de belle apparence, de bon goût, agréable et sain, à un prix qui trouve bon d'être consommé dans toutes les classes de la société. [13]

La crème glacée devient très vite un aliment national, le régal de tous les âges est un produit de l'industrie laitière. Sa confection est enseignée dans toutes les écoles de laiterie d'Amérique au même titre que la confection du beurre et du fromage. [13]

II.1.C. Constituants de la crème glacée

La crème glacée détient une constitution très variable selon les législations locales et selon le type commercial de produit. Dans le cas des glaces avec la dénomination "premium" par exemple, qui sont de meilleure qualité, ont un taux en matière grasse plus élevé et contiennent plus de solides totaux. [13]

Tableau 7: Composition des crèmes glacées [14]

| | %en masse %typique | %en masse %typique |
|------------------------------|--------------------|--------------------|
| Solides de lait | 9-11,5 | 10 |
| Matière grasse | 7-12 | 10 |
| Sucre | 12-16 | 14 |
| Sirop de glucose ou fructose | 4-6 | 4 |
| Emulsifiant + stabilisant | 0,45-0,65 | 0,5 (0,2+0,3) |
| Solides totaux | 34-38 | 38 |
| Eau | 60-62 | 62 |
| Air (% en volume) | 45-55 | 50 |

Dans le commerce industrielle une gamme abondante d'ingrédients entrant dans la formulation des crèmes glacées. Les plus classiques ou fréquents sont listés dans le Tableau suivant. Le mix (le produit final) on incorpore arômes, colorants et éventuellement des inclusions (morceaux de fruits, noix, etc.). [14]

Tableau 8: Ingrédients habituel entrant dans la fabrication des crèmes glacées [14].

| | |
|-----------------|---------------------------------------------------------|
| Solides de lait | Poudre de lait écrémé. Extrait solide dégraissé de lait |
| Matière grasse | (ESDL, MSNF en anglais). Poudre de lactosérum. |
| Edulcorants | Crème laitière. Beurre. Huile de beurre (matière grasse |
| Stabilisants | laitière anhydre, MGLA). Huile végétale (palme, coco). |
| Emulsifiants | Saccharose. Sirops de maïs (de glucose ou fructose). |

II.1.D. Fonctionnalité des ingrédients

- **Matière grasse**

La matière grasse utilisée est soit d'origine laitière ou bien végétale, elle est ajoutée pour le développement de la structure et à l'apparence sèche du produit mais aussi car elle contribue au goût du produit. Dans le produit elle est localisée répartie sous forme de globule gras partiellement solidifiés et coalescés par le procédé de congélation qui assure le refroidissement et le cisaillement du produit. Ses globules gras sont la raison pour laquelle les bulles d'air sont stabilisées en se concentrant autour de ses dernières [14].

Dans le but d'avoir une crème glacée avec une bonne texture il y a des paramètres qui doivent être contrôlés ; les conditions de température et d'agitation pendant la congélation, les propriétés de congélation des matières grasses et les interactions avec d'autres constituants comme l'émulsifiant, les protéines, l'air. [13]

- **Edulcorants**

Le rôle des édulcorants est de fournir un goût sucré, modérant le goût de la matière grasse et rehaussant les arômes de fruit. Ce qui collabore à la viscosité et contrôle le point de congélation commençante du mix est le combiné de sucre et de sirop de maïs, ce qui sera essentiel pour la qualité du produit durant le stockage et sa texture finale. [13]

Solide de lait ou bien la poudre de lait c'est une source qui regroupant les protéines laitières (38%) -caséines et de lactosérum notamment-le lactose (50%) et des sels (7%). elle participe à la viscosité, diminuent le point de congélation du mix et améliorent la résistance thermique du produit. Les protéines contribuent à la stabilité de l'émulsion et de la mousse et notamment ils sont actifs aux interfaces. Le lactose, possède le rôle de contribution au goût sucré mais il limite l'usage de la poudre de lait, dont il représente la plus grande partie, car en excès il cristallise et produit une texture sableuse désagréable, un grave défaut de qualité. Quant aux sels (en moindre quantité) ils dans les interactions protéiques et l'arrondissent du goût. [14]

- **Emulsifiants**

Il existe deux différents d'émulsifiant fréquemment utilisés ; le mono et/ou di-glycérides et l'ester de sorbitan éthoxylés (nommés Tween ® ou polysorbates) ou non (nommés Span ®). Ces deux types sont souvent combinés, mais aussi ne sont pas ajoutés que pour stabiliser l'émulsion du mix, car dans le milieu se trouvent en effet suffisamment de protéines pour assurer la stabilité. Ils sont aussi responsables de sa déstabilisation ceci par déplacement des protéines de l'interface huile/eau. Donc, les émulsifiants favorisent le phénomène dit de "coalescence

partielle" des globules autour des bulles d'air. C'est un phénomène qui est à l'origine de l'aspect sec désirable de la glace, de l'amélioration de la capacité de foisonnement, du corps, de la texture et de la résistance au choc thermique. [15]

- **Stabilisants**

Les stabilisants sont en réalité des épaississants, pour la plupart des polysaccharides. C'est ainsi qu'on les appelle dans le milieu industriel des glaces car leur recours a pour objectif principal celui de contrôler la taille finale des cristaux de glace dans le produit fini, c'est à dire le stabiliser. Afin de profiter de leur synergie, deux ou plusieurs hydrocolloïdes stabilisants sont constamment employés dans la confection de la crème glacée. On trouve que les stabilisant jouent plusieurs rôles, ils sont responsables de la viscosité du mix, contribuent au foisonnement, et améliorent consistance et résistance aux fluctuations de température. Cependant, l'essentiel raison de leurs usage est leurs capacité de contrôler la taille de cristaux de glace pendant la congélation et le stockage -par des mécanismes méconnus- ce qui est très important pour la texture finale du produit. [14]

II.2.Procédé de confection de la crème glacée

L'ensemble étapes de confection de crème glacée est schématisé dans la Figure qui suit, et la présentation des étapes une par une sont ci-dessous. [14]

II.2.A. Pasteurisation

Après la préparation du mélange des ingrédients qui devient « un mix », celui-ci est pasteurisé. La pasteurisation assure le contrôle biologique, destiné à éliminer les bactéries pathogènes et à diminuer la quantité de micro-organismes qui peuvent détériorer le produit. D'habitude, elle est réalisée à 69°C/30 min, elle se fait le plus souvent en continu à plus haute température et temps plus court, toute particule du produit devant être maintenue à une température minimale durant un temps minimum. Cependant un traitement excessif peut donner de mauvais goûts de cuit ou du caramel. [16]

II.2.B. Homogénéisation

C'est une étape qui se réalise fréquemment en deux étapes afin d'éviter la recalescence de la matière grasse et tout de suite après la pasteurisation (pour profiter du mix chaud est moins visqueux), l'homogénéisation consiste à appliquer au mix un sévère traitement mécanique, en l'obligeant à passer à travers un orifice avec une différence de pression amont/aval de 8 à 18

MPa (80 à 180 bars). Afin de créer une émulsion stable de matière grasse, dispersée en globules de moins de 1 μ m. Le but est de « disperser » au maximum les globules gras et faciliter la création, entre les protéines et les stabilisants, d'un réseau qui retiendra l'air injecté et permettra d'obtenir la spongiosité recherchée ». Par ailleurs, l'homogénéisation sert aussi à incorporer les stabilisants peu solubles. Mais, l'efficacité de l'homogénéisation varie selon la température, la pression, le type d'homogénéisateur et la composition du mix. [15]

II.2.C. Maturation

La maturation est une étape après refroidissement jusqu'à 4 °C, le produit est maintenu à cette température au moins 2 heures, souvent une nuit. C'est une étape qui permet la cristallisation partielle de la matière grasse, les biopolymères sont mieux hydratés, les protéines interagissent avec les émulsifiants et la viscosité augmente. Ce sont des conditions qui seront favorables au développement structurel du produit. À cette étape on ajoute le colorant et certains arômes.[16]

II.2.D. Foisonnement et congélation

Le foisonnement signifie l'injection d'air et le refroidissement s'effectuent simultanément dans un échangeur de chaleur à surface raclée (ESCR) pour obtenir en quelques dizaines de secondes une crème glacée molle, fluide et plus ou moins visqueuse, typiquement à -4°C et 100% de taux de foisonnement (le double de volume par rapport au volume initial du mix). Une fois l'air est dispersé ça produira une texture légère et spongieuse, la sensation crémeuse en bouche, la résistance à la fonte et la stabilité durant le stockage. Près de 50% de l'eau est congelée, et si le refroidissement est rapide, plus nombreux et petits seront les cristaux de glace, et plus le produit sera stable au stockage et de texture moelleuse. De même, l'émulsion de matière grasse est déstabilisée, ce qui est en fait bénéfique puisque cela apporte stabilité à la mousse d'air, l'aspect sec recherché, et une texture crémeuse à la sortie du foisonneur-congélateur peuvent être ajoutées des inclusions, l'enrobage ou tout autre accompagnant (gâteau, biscuits, etc.). [14]

II.2.E. Durcissement

Le durcissement est une étape qui est faite dans des chambres ou tunnels où passe à une vitesse de 5 à 10 m/s un courant d'air très froid (- 45 à -25°C) ou sur des plaques réfrigérantes (*plate freezer*) plus performantes, jusqu'à 80% de l'eau finit par congeler, et la température au cœur du produit atteint -15°C. C'est là où le produit retrouve ainsi la consistance quasi solide que l'on connaît. [14]

II.2.F. Stockage

Le stockage se fait selon les produits et selon les besoins, il s'effectue à -18°C pour un stockage court ou -30°C pour une conservation plus longue. Après le durcissement, la qualité de la crème glacée ne peut être améliorée, et sa conservation dépendra exclusivement des conditions post-process, du strict respect de la chaîne du froid lors du transport et la commercialisation. Une fois la température réglée en dessous de -25°C , la crème glacée est stable à long terme sans danger de croissance de cristaux de glace, mais au-dessus de cette limite, la croissance de cristaux de glace est possible et dépend de la température de stockage, ce qui restreint la durée de vie du produit. [17]

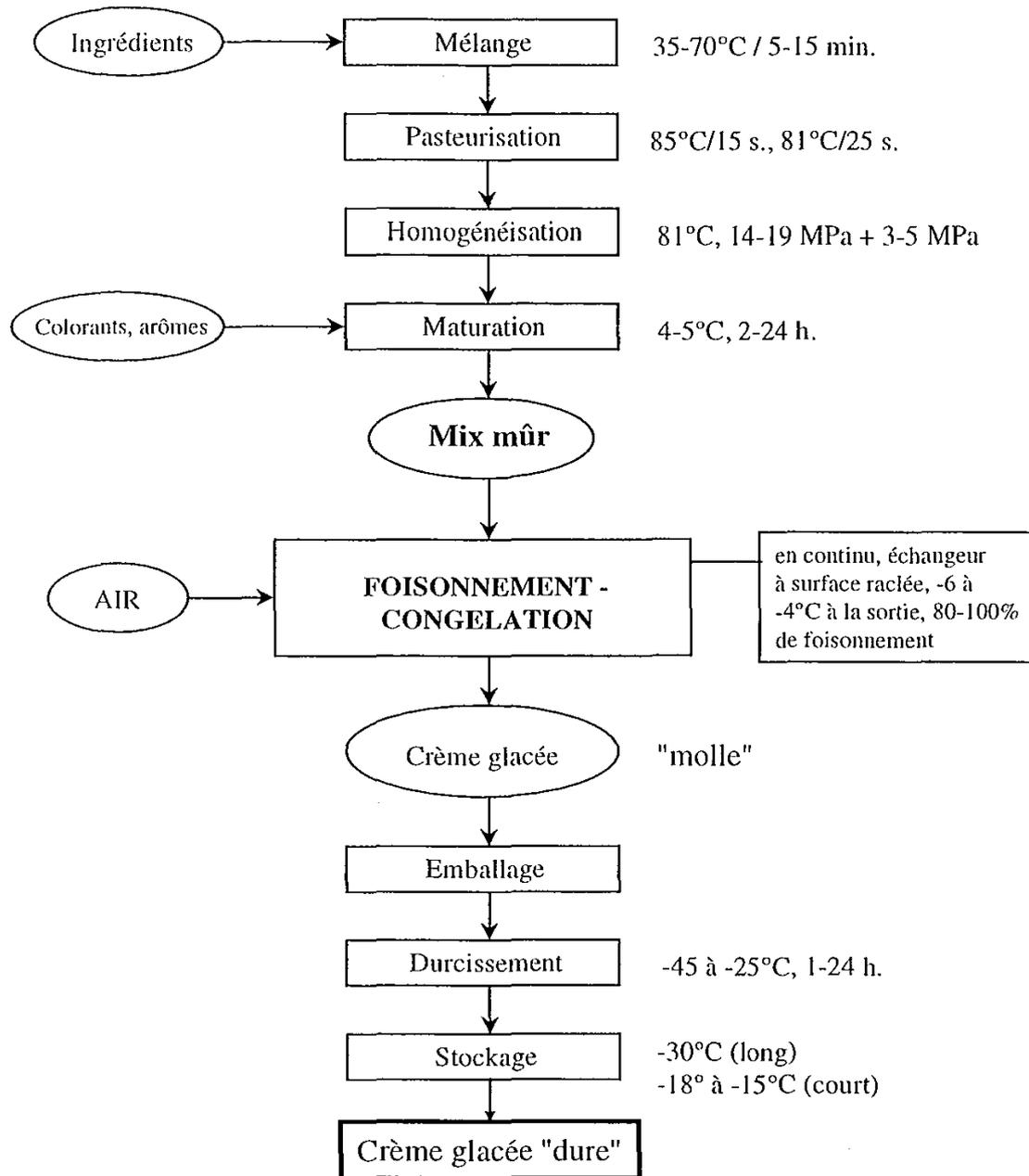


Figure 4: Schéma expliquant le Procédé de création d'une crème glacée. [14]

II.3.La crème glacée et son marché

- Dans le monde

La vente des glaces est très hétérogène et la concurrence est très active dans les quatre coins du monde. Les grands producteurs de ce produit cohabitent plus ou moins bien avec des petits artisans sans oublier la présence d'entreprises moyennes de plus en plus filialisées par les deux géants Nestlé et Unilever. L'atout principal de la réussite dans les pays riches est « l'innovation », pendant que de nombreux marchés restent ouverts dans les pays en voie de

développement où les freins principaux restent le pouvoir d'achat des populations et les contraintes technologiques liées à la maîtrise sanitaire de la filière. La manière dont le produit est consommé est très contrasté, les chaînes de restauration rapide spécialisées dans ce type de produits sont très courantes dans certaines régions du monde alors qu'ailleurs la pratique de la consommation à domicile domine le marché. Selon les pays, le marché mondial des crèmes glacées est très diversifié selon, la diversité des situations provient de deux facteurs importants : les habitudes alimentaires et le niveau de vie des populations. [15]

Tableau 9: Les pays dominant la production et la consommation des crèmes glacées en 2011. [13]

| | Production Mondiale par hecto litre | Rang selon la production | Consommation par habitant en litre | Rang selon la consommation |
|---------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------|
| USA | 61,3 | 1 | 22,5 | 2 |
| Chine | 23,6 | 2 | 1,8 | 12 |
| Canada | 5,4 | 3 | 17,8 | 3 |
| Italie | 4,6 | 4 | 8,2 | 9 |
| Australie | 3,3 | 5 | 17,8 | 4 |
| France | 3,2 | 6 | 5,4 | 10 |
| Allemagne | 3,1 | 7 | 3,8 | 11 |
| Suède | 1,3 | 8 | 14,2 | 6 |
| Suisse | 1 | 9 | 14,4 | 5 |
| Nouvelle Zélande | 0,9 | 10 | 26,3 | 1 |
| Finlande | 0,7 | 11 | 13,9 | 7 |
| Danemark | 0,5 | 12 | 9,2 | 8 |

- **En Algérie**

Les glaces en Algérie détiennent une consommation qui reste relativement faible comparativement avec les autres pays, ce marché représente une moyenne considérable de 30 millions de litres de glace par an. Le taux de consommation de glaces est plus élevé dans la région Ouest, où 24% de la population est installée. Il se trouve que en Algérie de géants fondateurs, on peut citer Prima Glaces, Ital Crem (Eurl Mazafroid), Glaces Mosta, Casa Glaces, Gini Glaces... [13]

En 2013, 5,6 millions de dinars est la somme importé par l'Algérie de l'Espagne et de l'Italie, couvrant les besoins qui sont destinés aux grands hôtels implantés en Algérie. Ceci, et dû au fait que «la qualité des glaces artisanales et industrielles nationales ne répondent pas à leurs

exigences », selon un importateur des glaces, en informant que la grande majorité des glaces importées «ne sont pas destinés à la grande consommation du fait de leur prix élevé ».

II.4.Terminologie des glaces alimentaires

La crème glacée se divise en plusieurs classifications dont les principales sont les sorbets, les crèmes glacées et les glaces.[13]

- **Sorbets**

C'est un dessert à base de sucre, d'eau, d'acide de fruit, de colorants, d'arômes de fruits ou de fruits et des stabilisants, congelés et contenant une petite quantité de la matière sèche du lait, obtenue soit à partir de lait écrémé, de lait entier, de lait condensé ou de mélange de crème glacée [13]

- **Crème glacée**

C'est un produit du a une préparation sucrée et parfumée à base de produits laitiers solidifiés sous l'effet de la congélation. La crème glacée possède deux catégories :

La « traditionnelle » : contenant du lait, de la crème, du sucre, des arômes naturels et des œufs (pas quotidiennement). L'étape commençante de la préparation est une congélation puis battue pour arrêter la formation de cristaux de glace ce qui permet d'obtenir un produit léger et onctueux. [13]

L' « industrielle » : Il est fréquemment concocter à partir d'un mélange de crème, de lait ou de poudre de lait (ou des deux) additionnée des solides du lait sans gras. On incorpore du sucre, des émulsifiants, des stabilisants, des essences et des colorants parfois naturels dans la préparation, mais plus souvent artificiels. La source des solides du lait provient le plus souvent du lait écrémé, concentré ou en poudre ou même de concentré protéique de même origine.[18]

- **Glace à eau**

C'est une préparation à base de jus dilué et de sucre, les colorants et les arômes peuvent également être ajoutés. Elle peut être congelée avec l'ajout ou pas d'air et peut être aussi durcis ou vendus comme une bouillie semi-congelée. [18]

- **Glace au lait**

La glace au lait est congelée obtenu à partir d'une combinaison de produits laitiers, de sucre et d'un ou plusieurs autres ingrédients similaires à ceux couramment utilisés dans la fabrication

des glaces. C'est une spécialité dont la teneur en matières grasses laitières supérieure à celle qui est spécifiée par la loi pour les sorbets et que celle nécessaire pour la crème glacée.[15]

- **Glace aux œufs**

Les glace aux œufs est une préparation obtenue par congélation d'un mélange pasteurisé de lait, jaune d'œuf, sucre (saccharose), avec adjonction possible de crème fraîche et de blanc d'œufs, le mélange est parfumé à l'aide d'arôme naturels autorisés. [13]

- **Glace**

Pour ce qui concerne les glace, a par les conditions d'hygiène aucune recommandation n'est destinée à elle, et sa dénomination « glace » s'applique aux produits contenant d'autres graisses que celle du lait, par exemple du lait d'amande ou de la graisse de coco, ou lorsque les prescriptions minimales des deux glaces (crème glacée et glace au lait) ne sont pas respectées. [18]

Tableau 10: Les dénominations réservées pour glace alimentaires [18]

| Dénomination | Critères de composition | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------------|-----------------|------------------|-----------|----------|------------|------------|-----------------|-------------|------------|-----------------|
| | EST | ESL | Protéine | | Matière grasses | | Jaune | Poids | Fruits | | | | Légumes | |
| | | | Laitières | Non laitières | Laitières | Non laitières | d'œufs | minimale | Usuels | Acids | Saveur forte | A coques | Usuels | Saveur forte |
| Glace à l'eau | 12 % min | | | | | | | 450 g | | | | | | |
| Glaces | | | Oui | | Présence | | | 450 g | | | | | | |
| Glace au lait | | 6% min | Oui | Exclues | 2.5% Min | Exclues | | 450 g | | | | | | |
| Glace aux œufs | | | Oui | Exclues | | Exclues | 7% min | 550 g | | | | | | |
| Crème glacée | | | Oui | Exclues | 5% min | Exclues | | 450 g | | | | | | |
| Glace au(x)fruit (x) Glace au (x) fruit (s) Glace à l'eau au (x) fruit (x) | 12% min | | | | | | | 450 g | 15% min | 10% min | 10% min | 5% min | | |
| Sorbet | 12% min | | | | | | | 450 g | 25% min | 15% min | 15% min | 5% min | 25% min | 10% min |

EST : Extrait sec total ESL : Extrait sec laitier

II.5. Structure de la crème glacée

La crème glacée a pour structure physique un système physico-chimique complexe, car c'est une émulsion (huile dans eau) foisonnée. Une phase continue liquide contient Des bulles d'air sont dispersées, incrustée de cristaux de glace. Elle possède aussi des globules gras partiellement cristallisés, des protéines de lait, des stabilisants, des émulsifiants, ainsi que des sucres et des sels. la crème glacée au stade final est un produit constitué donc d'un système polyphasique : air, liquide et solide. [18]

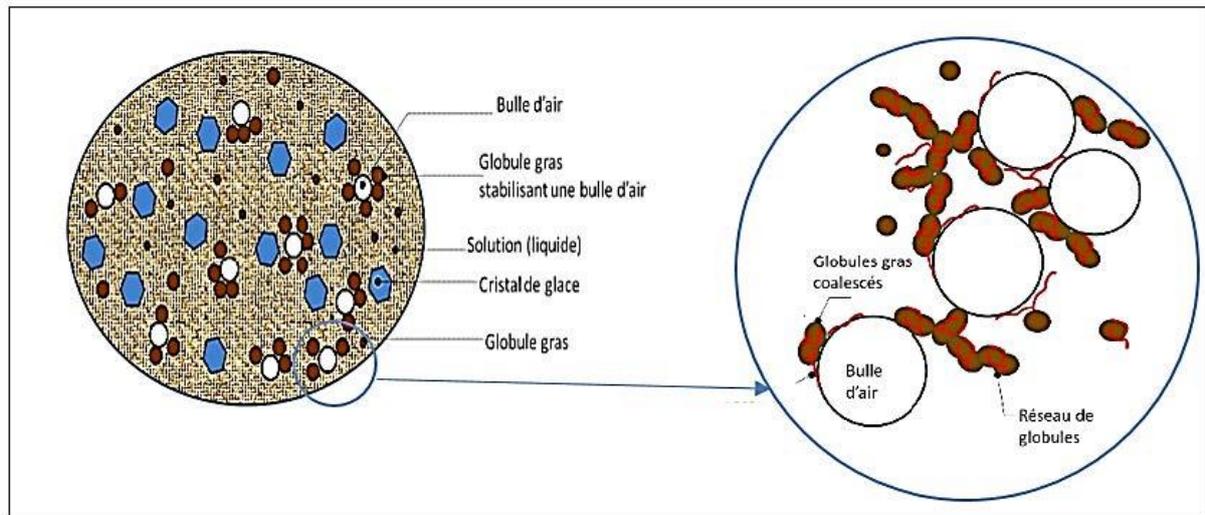


Figure 5: Structure d'une crème glacée [18]

II.6. Intérêts nutritionnels des crèmes glacées

II.10.A. Caractéristiques nutritionnelles

La crème glacée est une denrée bien équilibrée pour un dessert : elle fournit les protéines, les lipides et les glucides dans les bonnes proportions. Les produits de crème glacée qui ont le lait est une base, ont les qualités diététiques des produits laitiers, 100 grammes de crème glacée au lait fournissent environ 200 calories, 4 grammes de protéines, 26 glucides et 9 lipides. Par ailleurs, pour que le taux d'un bon apport calcique, protéique et lipidique augmente on y ajoute des œufs et de la crème [15]

- Apport protéique

Les crèmes glacées est une denrée qui est riche en protéines (une haute valeur biologique) du au lait et œufs, à haute teneur en acides aminés essentiels. Les protéines sont une source d'acides aminés nécessaires à la croissance des nourrissons et des enfants et au maintien des tissus chez les adultes [14]

- Apport lipidique

L'apport lipidique vient d'une graisse de bonne qualité à partir du lait principalement utilisé ou ajouté à partir d'une source végétale. Ces dernières détiennent des acides gras « à courte chaîne », facilement assimilés par l'organisme. Aussi, la crème glacée a également un taux considérable d'acide oléique, principalement utilisé au niveau musculaire. Cependant, si toute fois la teneur en matières grasses est élevée elle limite la consommation, augmente le pouvoir calorifique. L'apport lipidique joue un autre rôle dans le corps humain, Elles servent aussi à véhiculer des vitamines liposolubles [18]

- Apport glucidique

Les deux sucres que contient la crème glacée sont Le lactose et le saccharose, Ils sont facilement et rapidement absorbés et constituent une source d'énergie immédiate, en particulier pour les tissus nerveux et les globules rouges. D'autres types de glaces comme les glaces à la gaufrette ou aux biscuits contiennent également de l'amidon : la synergie nutritionnelle du lait et des céréales contribue à faire de la crème glacée un produit bien équilibré en ce qui concerne ses nombreux nutriments, ainsi que son utilisation métabolique rapide [17]

- Apport en minéraux

L'apport en minéraux est aussi assuré par la crème glacée, une le calcium et le phosphore, ainsi que de très faibles quantités de sodium. Les deux minéraux, (le calcium et le phosphore) sont d'une importance vitale, puisqu'ils sont très étroitement liés Cependant, le corps ne peut pas bien absorber le calcium sans la présence de phosphore. [18]

Tableau 11: la crème glacée et sa constitution en minéraux [18]

| Minéraux | Concentration (mg/kg) |
|-----------------|------------------------------|
| Ca | 1844,36 ±12,72 |
| K | 1669,56±21,20 |
| Na | 537,68±6,37 |
| P | 1100,86±0,01 |
| S | 875,24±1,41 |
| Mg | 159,31±1,39 |
| Fe | 10,82±0,24 |
| Mn | 0,32±0,01 |
| Zn | 57,84±0,86 |
| Ni | 0,97 ± 0,06 |

- Apport vitaminique

L'apport vitaminique dans la crème glacée dépend des ingrédients entrant dans sa formation, et du traitement thermique subi. Le lait fournit les vitamines A et B2, les glaces au chocolat par exemple apporte un bon niveau de vitamine E. Et pour ce qui concerne les glaces à base de biscuits enrobés de café et de chocolat ils fournissent des polyphénols [18]

II.7. Les valeurs nutritives variantes en fonction du foisonnement

Une consommation de la crème glacée, fournit une certaine quantité de mix et d'air. L'intérêt nutritif d'un aliment est fonction de la quantité (en poids) consommée réellement. C'est la raison pour laquelle le foisonnement diminue la valeur nutritive des crèmes glacées. En 1979, selon Prigent en prenant l'exemple des crèmes glacées les plus riches en Calcium (130 mg / 100 g) a démontré qu'une part de crème glacée foisonnée à 40 % ou 80 % ou 100 % apporte respectivement 130 mg, 100 mg ou 86 mg de Calcium. Le poids de mix absorbé est influencé par taux de foisonnement. [18]

Tableau 12: La consommation par personne de quantité de crème glacée en fonction du foisonnement [18]

| Quantité de crème Glacés | Taux de foisonnement | 40 % | 80 % | 100 % |
|-----------------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|
| 1 litre de glace | Volume du mélange | 710 ml | 560 ml | 500 ml |
| | Poids (pour une densité 1.1) | 780 g | 616 g | 550 g |
| | Volume de mix | 90 ml | 70 ml | 60 ml |
| 1 portion de glace (125 ml) | Poids de glace consommé par personne | 98 g | 77 g | 66 g |

II.8. Recommandation

Les glaces sont un dessert sucré ce qui signifie donc qu'elles sont placées dans la pointe de la pyramide alimentaire de la Société Suisse de Nutrition (SSN). Une « consommation avec modération » est prescription vu leurs richesses énergétiques. Néanmoins, le produit fait partie de l'alimentation équilibrée, elles peuvent se manger en dessert ou en collation dans l'après-midi. [18]

Partie

Pratique

Partie pratique

Présentation de l'entreprise GINI GLACES (Groupe Industriel Nait Kaci Issiakhem)

Nous avons eu la chance de réaliser notre stage de fin d'étude au sein de l'entreprise Gini glace à Fréha. Le sujet traité pendant notre période de stage était la production d'une crème glacée en utilisant la spiruline comme émulsifiant. Nous avons également bénéficié de quelques informations concernant les normes des paramètres physico-chimiques de la crème glacée telles que : l'acidité titrable, le pH et l'EST.

L'entreprise « Gini glace » est une société privée familiale à responsabilité limitée (SARL), spécialisée dans la fabrication des crèmes glacées. Située dans la localité de FREHA à proximité de la RN 73, à 30 Km de Tizi-Ouzou. Elle s'étale sur une surface de 10000 m², Créée en 1987 avec une surface de production de 200 m², elle s'étale aujourd'hui sur 800 m².

« GINI Glace » est une entreprise qui est saisonnière c'est-à-dire qu'elle est active que a partir d'avril jusqu'à septembre, avec un effectif de 300 employés, dont 50 permanents, et 250 saisonniers.

L'unité Gini glace possède d'une douzaine de dépôts, principalement dans les grandes villes tel que : Constantine, Oran, Annaba Ces dépôts sont approvisionnés par une flotte de 80 véhicules spécialement équipés pour le transport des crèmes glacées.

Matériel et Méthodes

Le travail actuel porte sur l'élaboration d'un aliment fonctionnel enrichi par une cyanobactérie, la spiruline qui est l'aliment le plus nutritif de la planète. Composés de 65% allant jusqu'à 75% de protéine qui représente un taux élevé comparant a d'autre aliment, la spiruline contient notamment plusieurs vitamines (A, D, E, K, B1, B2, B3, B5, B6, B8, B9 et B12), minéraux (Fer, Potassium, Magnésium, Calcium...), oligoéléments et des pigments (chlorophylle et phycocyanine surtout). Ajoutant à ceci elle dispose de propriétés anti-oxydantes, antivirales, antiallergiques et aussi antalgiques. Cet aliment du futur qui est consommée par l'être humain et les animaux est utilisé dans divers domaine car il détient des bienfaits.

La spiruline est un produit pris par les diabétiques, les cancéreux, ceux qui ont la thyroïde, consommé aussi par les sportifs, les adolescents, ceux qui des problèmes de cholestérol, les anémiques, et les femmes enceintes (pour son fer).

C'est dans le cadre de cette étude que l'aliment qu'on a choisi de rendre « fonctionnel » est la crème glacée dont l'émulsifiant est remplacé par un émulsifiant végétal et très bénéfique « la spiruline ». La recette de crème glacée industrielle contient plusieurs additifs comme l'émulsifiant, le stabilisant, l'apécissant, au surplus des arômes artificiels. Nous tenons à réduire le taux d'additifs en changeant l'un d'eux et de permettre aux consommateurs de déguster la spiruline dans un dessert sucré extrêmement riche (protides, lipides, glucides, sels minéraux et vitamine), Autrement dit un aliment complet.

Les consommateurs de la spiruline (en poudre ou bien en espèce) ont témoigné le gout désagréable qu'elle détient, ils se retrouvent souvent à mélanger cette poudre dans d'autre aliment de sorte que le gout indésirable disparaisse. La spiruline incorporée dans de la crème glacée à une petite quantité ne laisse aucune trace de gout désagréable, bien au contraire, c'est un aliment à savourer à volonté.

Ce travail a été mené à bien dans le laboratoire de l'industrie agroalimentaire GINI glace ou la recherche visait à :

- Créé une recette avec un émulsifiant dans un intervalle à respecter.
- Etudier l'effet de l'ajout de la spiruline sur les caractéristiques physico-chimique et microbiologique de la crème glacée.
- Analyse sensorielle du produit fini comparant au produit témoin (produit Gini GLACE).

1. L'origine de la matière végétale



Figure 6: Photo originale des sachets conditionnés (poudre) de 500g et 100g

La spiruline utilisée dans cette recherche vient d'une ferme d'Oran, conditionnés en poudre de 100g et 500g par sachet.

1. Réactifs et milieux de cultures utilisés

➤ **Reactifs chimiques**

- solution tampon K10 (solution NH_4^+ / NH_3)
- hélianthine.
- phénolphtaléine
- L'hydroxyde de sodium (NaOH)
- solution EDTA
- N, N-diethyl-p-phenylène diamine

➤ **Milieux de culture**

- la gélose PCA (Plate Count Agar)
- milieu VRBG (Violet Red Bile Glucose Agar)
- milieu Chapman
- milieu Sabouraud

➤ **Matériel et appareils utilisé dans le laboratoire physico-chimique et microbiologique.**

- Dessiccateur
- Thermomètre
- Etuve
- hôte stérile
- Indicateur de chlore
- pH-mètre
- balance
- compteur de colonies

3. La confection de notre crème glacée

Au niveau du laboratoire de l'unité sous la supervision de la responsable Madame IKEN, nous avons élaboré 4 échantillons d'un litre de crème glacée. Les 4 mixes qu'on a obtenu sont par la suite subissent des analyses physico-chimiques afin de juger qui est « la recette » idéale pour notre produit.

Tableau 13: Les 4 différents échantillons accompagnés de leurs ingrédients réalisés au laboratoire

| | Recette 1 | Recette 2 | Recette 3 | Recette 4 |
|----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Lait en poudre | 120 g | 60g | 60g | 50g |
| Crème de lait | 200 g | 50g | 50g | 40g |
| Sucre | 90g | 140g | 130g | 110g |
| Glucose | 30g | 15g | 15g | 20g |
| Matiere grasse | 15g | 68g | 68g | 50 |
| Spiruline (émulsifiant) | 8.6g | 7.6g | 5g | 1.5g |
| Stabilisateur | 15g | 7g | 3g | 3g |
| Arome | / | / | / | / |
| Eau | 400ml | 400ml | 400ml | 400ml |

L'arôme n'est pas ajouté aux échantillons étant donné que ce ne sont que des essais à usage d'examinations des paramètres physico-chimiques recherchés, l'arôme ne change rien en ces derniers.

Tableau 14: Les analyses physico-chimiques des 4 échantillons réalisés au sein du laboratoire

| Analyse physico-chimique | Recette 1 | Recette 2 | Recette 3 | Recette 4 |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Ph | 6.86 | 6.62 | 6.71 | 6.64 |
| Acidité | 19°D | 21°D | 24°D | 23°D |
| Extrait sec | 60.72% | 34.14% | 34.76% | 30.61% |

En comparant les 4 recettes et leurs analyses physico-chimiques, nous avons jugé avec Madame IKEN que la recette 3 est convenable pour son extrait sec acceptable pour la production dans les appareils disponible et aussi pour le produit fini comparant les autres, car l'intervalle de l'extrait sec est 33% et le maximum est de 45%.



Figure 7: Photo originale de la station pilote de l'unité GINI Glaces

La recette 3 a été convertie à celle de 50 L afin de réaliser notre expérience sur une installation pilote d'un volume de 50L, elle est composée d'un homogénéisateur, un pasteurisateur, deux cuves de maturation et un freezer.

Tableau 15: La recette idéale convertie pour l'élaboration de notre crème glacée

| | Recette 3 | Recette spiruline (50L) |
|-------------------------|-----------|-------------------------|
| Lait en poudre | 60g | 3kg |
| Crème de lait | 50g | 2.5kg |
| Sucre | 130g | 6.5kg |
| Glucose | 15g | 750g |
| Matière grasse | 68g | 3.4kg |
| Spiruline (émulsifiant) | 5g | 150g |
| Stabilisateur | 3g | 150g |
| Arome | 5ml | 250ml |
| Eau | 400ml | 20L |

La technologie de fabrication de glace au sein de GINI Glace dans l'annexe

3.1. Préparation de la matière première

C'est l'étape où le dosage de la matière première est effectué, grâce à une balance ; ainsi qu'un triblinder assimilable à un mélangeur où sont déversés successivement les ingrédients à des doses variables selon le produit envisagé (sucre, poudre de lait, stabilisant...). Le produit mis dans un fondoir à une température de 62 °C est la matière grasse, elle est par la suite déversée à l'état liquide à l'aide de tuyaux en inox, dans la salle de pasteurisation. A notre produit la spiruline est ajoutée.

Après cette étape, les deux produits sont récupérés dans des boîtes.

3.2. Pasteurisation, homogénéisation et maturation

A l'aide de plusieurs cuves où le mix est homogénéisé, puis pasteurisé à 85 -90 °C pendant 30 secondes et maintenu à 4°C dans la cuve de maturation pendant 4h-8h, elle munie d'une double enveloppe ou circule de l'eau glacée et d'une agitation lente. C'est lors de la maturation qu'est ajouté le colorant et arôme pistache pour ce qui concerne le produit témoin de (GINI Glace) et pour ce qui concerne le nôtre, on ajoute l'arôme uniquement car la spiruline possède

3.3. Analyse physico-chimique

Au sein du laboratoire qui comprends des salles chaque une pour des analyses spécifiques (analyses physico-chimique, microbiologiques, contrôle d'eaux traité, préparation des milieux de cultures), on a eu accès au matériel nécessaire à la bonne maîtrise des analyses tel que pH-mètre, thermomètre, balance de précision, dessiccateurs, réfractomètre, centrifugeuse ...etc. Le travail est en équipe qui veille à suivre toutes les analyses physico-chimiques nécessaires (tableau) : l'extrait sec total (EST), l'acidité, le degré BRIX, le poids, taux de foisonnement, le pH et la température tout en respectant les conditions d'hygiène.

Tableau 16: Les analyses physico-chimiques réalisées sur le produit au sein de l'entreprise (GINI Glace)

| Produit/analyse | Matières premières | | Mix | Produits finis |
|---------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| | Lait en poudre | Contrôle d'eau traité | | |
| Analyses physico-chimique | | - Dureté totale ou titre hygrothermique (TH) | -Détermination du degré BRIX. | |
| | -Détermination de l'humidité. | - Titre alcalimétrique (TA) | - Mesure du pH | -poids |
| | -Détermination de l'acidité DORNIC. | - Titre alcalimétrique complet (TAC) | - température | -taux de foisonnement |
| | | -Dosage des chlorures | -Détermination de l'acidité DORNIC | |
| | | - Mesure du pH. | | |

3.4. Contrôle d'eau traité (eau de processus)

Les différentes analyses effectuées pour l'eau sont : TH, TA, TAC et pH.

3.4.1. Détermination de la dureté totale (TH)

La dureté d'une eau est un critère essentiel pour prévenir l'entartrage des conduites d'eau dans l'industrie. Elle a deux origines :

- La dureté due aux espèces carbonatées évaluées par le TA (titre alcalimétrique) et le TAC (titre alcalimétrique complet).
- La dureté due aux ions calcium et magnésium évaluée par le TH (titre hydrométrique).

Le titre hydrométrique d'une eau indique la teneur totale en sel de calcium [Ca²⁺] et de magnésium [Mg²⁺], la dureté totale est la concentration en cations [Ca²⁺] et [Mg²⁺].

$$\text{TH} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$$

➤ Principe

Ce test se base sur l'identification de la coloration bleue en utilisant la solution tampon ammoniacal et du noir d'Eriochrome T comme indicateur coloré. Dans le cas contraire ou cette coloration n'est pas remarquée, on poursuivra le test en titrant avec la solution EDTA jusqu'à l'obtention de la coloration bleu.

➤ **Mode opératoire**

Prélever 50 ml d'eau à analyser dans une fiole de 50 ml. Les verser dans un erlenmeyer adapté puis ajouter 20 gouttes de solution tampon K10 (solution NH_4^+ / NH_3) permettant la complexation totale des ions calcium et magnésium à $\text{pH} = 10$.

➤ **Expression des resultat**

Le TH est exprimé en degré français (°F).

$$\text{TH (°F)} = V$$

V : volume de la solution E.D.T.A versée en ml.

TH : Titre hydrométrique en degré français.

A. Alcalimétrie

L'alcalimétrie d'une eau correspond à la présence des hydrogencarbonates (HCO_3^-), des carbonates (CO_3^{2-}) et des hydroxydes (OH^-).

La détermination de TA et TAC est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré.

Le mode opératoire est détaillé dans annexes II

3.4.2. Détermination de TA

Le titre alcalimétrique TA donne la concentration en ions hydroxydes $[\text{OH}^-]$ et 1/2 des ions carbonates $[\text{CO}_3^{2-}]$.

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + \frac{1}{2}[\text{CO}_3^{2-}].$$

➤ **Mode opératoire**

Dans un erlenmeyer contenant 50 ml de l'échantillon, ajouter 2 gouttes de phénolphtaléine.

Si le $\text{pH} < 8,3$, la solution ne se colore pas en rose : le TA est = 0

Si le $\text{pH} > 8,3$, la solution est rose : le TA est déterminé par addition de liqueur alcalimétrique (solution d'acide sulfurique N/25), V (ml), nécessaire au virage de la phénolphtaléine

$$\text{D'où : TA} = V \text{ (ml)} \times 4^\circ\text{F}$$

➤ **Expression des résultats**

$$\text{TA} = V1 \text{ (°F)}$$

TA : Titre Alcalimétrique en °F.

V1 : volume d'Hcl écoulé.

NB : 1 °F correspond à 10 mg de carbonates de calcium.

3.4.3. Détermination de TAC

Le titre alcalimétrique complet (TAC) détermine la concentration des ions hydroxyde (OH⁻) et de carbonates (CO₃²⁻) et des hydrogencarbonates (HCO₃⁻), selon l'équation suivante :

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$$

➤ Mode opératoire

Elle succède à celle du TA sur le même échantillon.

Si le TA est non nul, ne pas réajuster la burette de liqueur alcalimétrique à zéro.

Dans l'échantillon précédent, ajouter 3 gouttes d'hélianthine.

Si le pH < 4,3, la solution est immédiatement rouge ou orangée : TAC = TA

Si le pH > 4,3, la solution est jaune : le TAC est déterminé de la même manière que le TA

D'où : $\text{TAC} = \text{V}(\text{ml}) \times 4^\circ\text{F}$ avec V(ml) volume total de titrant versé

➤ Expression des résultats

$$\text{TAC (F}^\circ) = [(\text{V}_1 - \text{V}_2) - 0,5]$$

TAC : Titre alcalimétrique complet en °F.

V1 : volume d'Hcl écoulé au TA (ml).

V2 : volume d'Hcl écoulé au TAC (ml).

B. Dosage du chlore libre (Cl⁻)

C'est la détermination du taux de chlore libre (Cl⁻) présent dans l'eau à analyser.

➤ Principe

Le chlore libre est dosé avec le comparateur CHECKIT Lovibond, qui est un appareil colorimétrique, pratique, adapté aux analyses mobiles et fixes. Il est muni de 2 cuves qui seront remplies d'échantillons d'eau à analyser, l'une placée directement dans le compartiment gauche servant comme blanc, l'autre à laquelle est ajouté le DPD (N, N-diethyl-p-phenylène diamine) sera insérée dans le compartiment droit. La lecture se fait sur l'appareil grâce au disque dont il est équipé.

➤ Expression des résultats

La lecture se fait directement sur l'appareil. La valeur obtenue est exprimée en mg/l.

NB : La qualité du chlore n'est pas importante, il y'a toujours l'ajout de l'eau de javel.

C. Mesure du pH

La mesure du pH se fait en plongeant l'électrode en verre dans le béccher contenant une quantité d'eau, la lecture se fait directement sur le pH mètre.

3.4.4. Extrait sec total

L'extrait sec, c'est la masse restante après élimination de l'eau présente dans l'échantillon.

➤ Le mode opératoire

Mettre une capsule préalablement séchée et tarée dans le dessiccateur et peser 5g d'échantillon, puis lancer la dessiccation à une température de $102\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$. Lire la teneur en extrait sec totale (EST) directement sur le dessiccateur et effectuer deux déterminations pour chaque échantillon.

➤ Expression des résultats

Le taux (en pourcentage) de l'EST s'affiche directement sur l'écran de dessiccateur.



Figure 8: Photo originale de dessiccateur

3.4.5. Détermination du pH par la méthode potentiométrique

Le pH est la différence de potentiel, à la température de mesure, entre deux électrodes immergées dans la crème, et exprimé en unité du pH.

➤ Le mode opératoire

Etalonner le pH mètre avec l'eau distillée à pH =7, ensuite introduire les électrodes dans l'échantillon à la température de mesure. Lorsque la lecture devient constante, lire la valeur du pH indiqué par le pH mètre à 0.01 Unités de pH près, sur l'échelle de l'instrument.



Figure 9:Photo originale de l'appareil « pH mètre »

➤ **Expression des résultats**

Après quelques secondes d'immersion, le Ph et la température s'affichent directement sur l'écran de l'appareil

3.4.6. Acidité titrable

L'acide lactique est la source de l'acidité de la crème glacée qui est titré par une base NaOH (0.1 N) en présence de la phénolphaléine comme indicateur coloré, jusqu'à l'apparition d'une coloration rose pâle persistante.

➤ **Le mode opératoire**

Introduire dans un bécher 2 ml de l'échantillon ajouter par la suite 2 à 3 gouttes de phénolphaléine (1%), titrer à l'aide d'une solution NaOH (0.1N) jusqu'à coloration légèrement rose persistant. Relever la chute de burette (volume de NaOH utilisé)

➤ **Expression de résultats**

Le degré Dornic est lu à partir des graduations

Avec :

PE: prise d'essai;

Cb: chute de burette (volume de NaOH);

N: normalité de NaOH;

Meq: Masse équivalente de l'acide lactique (Meq= 90Meq);

D : Facteur de dilution (inverse de la dilution)



Figure 10: Photo originale de détermination d'Acidité titrable

3.5. Analyses microbiologiques

Dans le cas de la crème glacée, la prolifération des microorganismes est d'autant plus variée étant donné que le produit est riche en éléments nutritifs. Quotidiennement, Les germes dénombrés dans l'entreprise sont : la flore mésophile aérobie totale (FTAM), coliformes fécaux et totaux, Staphylocoques, les levures et moisissures. C'est d'ailleurs les mêmes dénombrements qu'on a appliqué sur les deux produits (le produit de GINI Glace et le nôtre avec de la spiruline).

3.5.1. Échantillonnage

Les prélèvements ont été effectués dans des conditions aseptiques. Dans le cas de nos produits finis qui sont directement prélevé après leurs conditionnements, transporté au laboratoire et transféré par la suite dans un sachet stomacker. À l'aide d'écouvillons stériles. Ces derniers ont été ensuite transférés un par un dans 10 ml d'eau peptonée. Puis, à partir de cette suspension, nous avons effectué des ensemencements selon le protocole classique de l'analyse microbiologique. Pour le dénombrement nous avons préparé une seule dilution à savoir la dilution 10^{-1} , en ajoutant 10 ml de l'échantillon à 90 ml du diluant qui est l'eau peptonée.

3.5.2. Germes dénombrés

Les crèmes glacées sont des produits qui se mange très froid (la température de la surgélation qui est inférieure à -18°C), de ce fait c'est un produit relativement non favorable à la croissance microbienne

A. FTAM (La flore totale aérobie mésophile)

Ce sont des microorganismes capables de se multiplier en aérobie à des températures optimales comprises entre 20°C et 45°C, indice de contamination aérienne ou humaine. Cette microflore peut comprendre des microorganismes pathogènes pour l'homme et l'animal, mais aussi des microorganismes d'altération variés.

- **Mode opératoire**

A partir des dilutions décimales, porter aseptiquement à l'aide d'une pipette Pasteur 1 ml de la solution préparée dans une boîte de Pétri, ensuite verser de la gélose PCA (Plate Count Agar) maintenue en surface à 45°C, faire des mouvements circulaires pour bien homogénéiser, puis laisser se solidifier sur la paillasse pendant 15 minutes. Incuber les boîtes à 30°C pendant 24 à 48 heures.

- **Lecture**

Les colonies des germes totaux se présentent sous forme lenticulaire en masse. Il s'agit de compter toutes les colonies ayant poussé sur les boîtes en tenant compte des facteurs suivants :

- Ne dénombrer que les boîtes contenant entre 30 et 300 colonies.
- Multiplier toujours le nombre trouvé par l'inverse de la dilution qui lui correspond.

La norme est fixée pour FTAM est de 2.5×10^4 /ml.

B. Les coliformes fécaux et totaux

Les coliformes sont des entérobactéries qui peuvent fermenter le lactose avec production de gaz. En moins de 48 heures à 35°C.

- **Mode opératoire**

Porter aseptiquement 1ml de chaque dilution dans une boîte de pétri, verser ensuite environ 20ml de milieu de culture VRBG en surfusion (45°C), homogénéiser, laisser se solidifier sur la paillasse et ajouter une deuxième couche de VRBG. Une série de boîtes sera incubée à 37°C pendant 24 heures pour la recherche des coliformes totaux. La deuxième série sera incubée à 44°C pendant 24 heures pour la recherche des coliformes fécaux.

- **Lecture**

Les coliformes apparaissent sous forme de petites colonies foncées dues à la dégradation du lactose. La norme fixée pour les coliformes totaux est de 10 UFC/ml quant aux coliformes fécaux ; elle est de 1 UFC/ml.

C. Les *Staphylocoques*

Ce sont des bactéries à GRAM positifs très recherchées dans les industries agroalimentaires, leur température optimale est de 37°C.

- **Mode opératoire**

Le dénombrement des *Staphylocoques* est réalisé après dilution à l'eau peptonnée et ensemercer avec le milieu Chapman puis incubé à 37°C pendant 48 heures.

La norme fixée pour les staphylocoques est de 10 UFC/ml.

D. Levures et moisissures

Les levures et moisissures regroupés sous le monde de mycètes forment un groupe imposant de microorganismes, elles sont saprophytes, contaminent les aliments et les dégradent du point de vue qualitatif par leur sécrétion en mycotoxines, la plupart se développent entre 15 et 35°C et à des pH acides.

- **Mode opératoire**

Le dénombrement des levures et moisissures se fait après dilution appropriée de l'échantillon dans l'eau peptonnée puis ensemercer sur milieu Sabouraud et incubé pendant 3 jours à 30°C.

- **Lecture**

Lors de la lecture on remarque l'absence totale des colonies des moisissures et des levures.

3.6. Analyse sensorielle

L'analyse sensorielle est définie selon la norme française NF ISO 5492 comme ainsi « l'examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes des sens ». L'être humain est l'instrument de mesure des méthodes d'analyses sensorielles à l'aide de ces cinq sens (vue, ouïe, odorat, goût, toucher).

En portant sur les préférences des consommateurs, le but est de comparer l'appréciation hédonique globale de différents produits en se focalisant sur les ressentis individuels liés au plaisir ou déplaisir provoqué par l'aliment. Contrairement aux méthodes réservées à l'analyse sensorielle descriptive, ces méthodes font appel à des sujets naïfs n'ayant eu aucune pratique de l'analyse sensorielle. Selon les recommandations des normes JORA (décret numéro

39 du 02 Juillet 2017), le nombre de sujets pour ce type de test est de 60 consommateurs pour caractériser et évaluer des produits.

Le test de comparaisons des deux crèmes glacées a été déjà réalisée au niveau du laboratoire de GINI Glace uniquement pour l'équipe du laboratoire, puis dans une alimentation générale où les échantillons ont été proposé pour les citoyens (le produit témoins de GINI Glace pistache et notre produit spiruline avec le même parfum) laissés à une température de $-10 \pm 2C^{\circ}$ au congélateur de l'alimentation et qui ont été offerts dans des gobelets de glace en plastiques de 100ml différents énumérés et bien évidemment en leurs remettant la fiche d'évaluation hédonique

La fiche d'évaluation hédonique est présentée dans l'annexe.

3.7. Analyse statistique

Le traitement statistique des résultats des analyses sensorielle (texture, goût, flaveur, appréciation globale)

5. Résultats et discussion

1. Résultats des analyses physico-chimiques

1.1. Résultats du contrôle d'eau traité

Figure 11: résultats d'analyses physico-chimiques réalisées sur l'eau de processus.

| Paramètres | Echantillon de l'eau du processus | Normes De l'entreprise | Normes J.O.R.A |
|--------------|-----------------------------------|------------------------|----------------|
| TH (°F) | 00 | 00 | |
| Chlore libre | 00 | 00 | |
| TA (°F) | 00 | 00 | |
| TAC (°F) | 2.5 | / | |
| pH | 7.78 | 7-8.5 | |

Nous avons obtenu des résultats obtenus montrent une parfaite conformité aux normes de l'entreprise en raison du bon fonctionnement des adoucisseurs (L'ajout du résines NaCl en quantités appropriées).

1.2. Mesure de pH

Le pH renseigne précisément sur l'état de fraîcheur du lait. En effet, le lait de vache frais détient un pH de l'ordre de 6,6 à 6,8. L'activité des bactéries lactiques est soupçonnée, quand une partie du lactose du lait sera dégradée en acide lactique, ce qui entraîne une augmentation de la concentration du lait en ions hydronium (H_3O^+) et donc une diminution du pH, car : $pH = \log 1/[H_3O^+]$. C'est en effet, un paramètre d'une haute importance qui permet de prévenir le risque de contamination microbienne. On favorise une valeur basse de ce dernier pour freiner la croissance de la majorité des microorganismes.

Le résultat est présent dans le tableau qui suit

1.3. Acidité titrable

Contrairement au pH, l'acidité titrable mesure tous les ions H^+ disponibles dans le milieu, dissociés ou non (acidité naturelle + acidité développée), reflétant ainsi les composés acides de l'aliment. Le résultat est présent dans le tableau qui suit :

1.4. Extrait sec total (EST)

En ce qui concerne les critères les plus importants pour la qualité des glaces alimentaires, selon Arzac et Barriquault, (2006) c'est le pourcentage d'extrait sec total et le pourcentage de la matière grasse.

Plusieurs constituants essentiels en suspension présent dans le mix et qui se retrouvent en masse pondérable après évaporation. La crème glacée est composée d'éléments en suspension qui sont représentés par les pulpes de fruits, la matière grasse et les éléments en solution sont représentés par les sucres, les éléments du lait (glucides, sels minéraux, vitamines), alcools, jus de fruits, ... qui agissent directement sur le point de congélation du mix

L'EST (l'extrait sec total) détient le rôle important d'améliorer la texture et le corps, améliorer la capacité de fouettage et il réduit le point de congélation. Le résultat est présent dans le tableau qui suit.

Tableau 17: Résultats des analyses du produit fini de la boîte format « famille » (physico-chimique)

| Paramètre physico-chimique | Le produit de GINI Glace | Le produit « spiruline » | Norme d'entreprise |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| T (°C) | 6 | 6 | / |
| Ph | 6.90 | 6.64 | 6,5-7 |
| L'acidité (°D) (mix) | 17 | 23 | 15-19 |
| EST (%) (mix) | 35.12 | 34.65 | 33 -35 |
| Taux de foisonnement (%) | 109 | 96 | 100 – 110 |

Les valeurs retrouvées après analyses du mix et du produit fini montrent que ce dernier présente les propriétés physicochimiques exigées. En comparant les deux produits nous constatons qu'ils ont des valeurs qui se rapproche l'une de l'autre sauf que l'acidité dans le produit additionnée de spiruline détient peut élever et ceci est dû à la présence de la spiruline.

2. Résultats des analyses microbiologiques

S'il y a une présence des germes recherchés cela représente des risques majeurs pour la santé : les coliformes peuvent être à l'origine d'intoxication par production d'amines. Le *Clostridium perfringens* qui est à l'origine des toxi-infections représentent une grande portion des troubles d'origine alimentaire, la toxine interfère avec la production d'énergie, inhibe la synthèse protéique et nucléique, et il est responsable d'un nombre non négligeable d'appendicites, ainsi que l'entérite nécrosante. Et la *Salmonella* engendre des maladies infectieuses appelées respectivement fièvre, typhoïde et paratyphoïde.

Les résultats d'analyses microbiologiques effectuées sur les produits finis sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 18: Les résultats d'analyses microbiologiques effectuées sur les produits finis

| Germe recherchés | Produit GINI Glace | Produit « spiruline » | Normes J.O.R.A |
|-----------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| Germe aérobies mésophile (FTAM) à 30°C UFC/ml | 410 | 320 | 10 ⁶ |
| Coliforme totaux UFC/ml | Abs | <10 | 5.10 ³ |
| Coliforme fécaux UFC/ml | Abs | <10 | 5.10 ² |
| Staphylococcus aureus UFC/ml | Abs | Abs | 10 ² |
| Levures et moisissures (UFC/ml) | Abs | Abs | Abs |

Les résultats des analyses microbiologiques des deux produits finis, révèlent l'absence de toute activité microbiologique pouvant altérer la crème glacée, cela confirme la bonne maîtrise de différentes étapes de fabrication et le respect des règles d'hygiène et de salubrité par l'équipe GINI GLACE.

2.1. Résultats d'analyses sensorielles

Les qualités qui sont demandées et recherchées par le consommateur de crèmes glacées sont généralement : La fraîcheur : absence de cristaux de glace, texture fine, assez résistante,

fusion lente dans la bouche, onctuosité, arômes et parfum subtils et pas trop de sucre. Selon (Deveaux, 1985).

Aussi, d'après (Kruijer, 1954), les défauts liés à la crème glacée sont :

- Pour la saveur : acide, amère, salée.
- Pour la texture : écumeuse, émietlée, gélatineuse et sableuse.

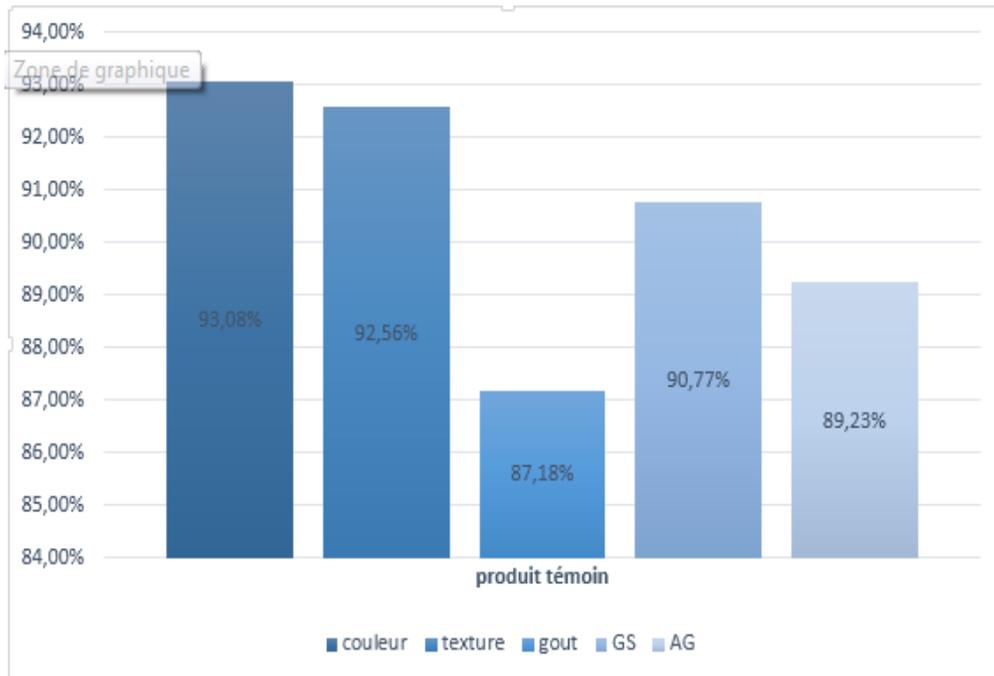


Figure 12: Diagramme en bâtons représentant les analyses sensorielles pour le produit témoin de GINI Glace.

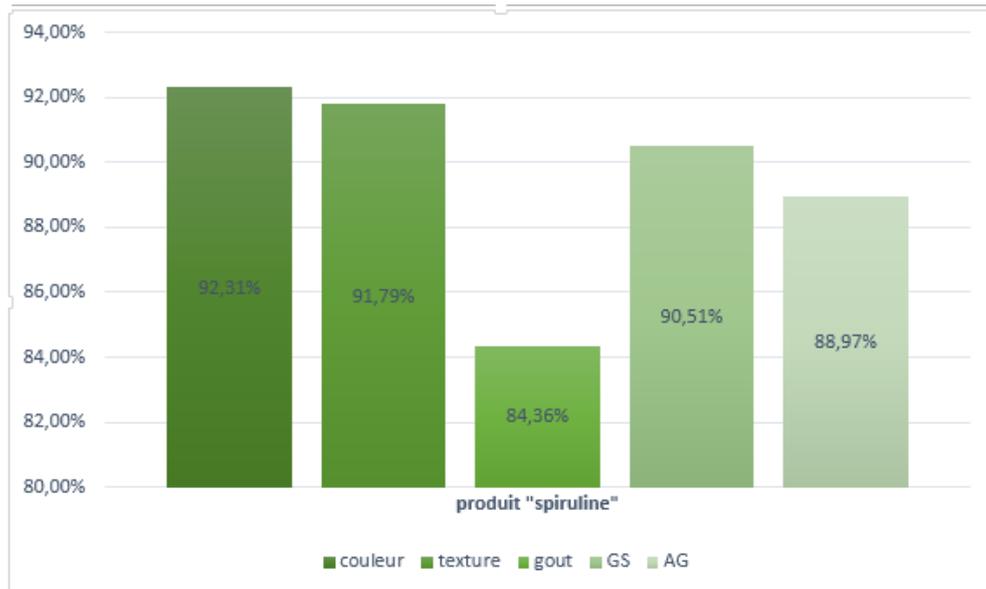


Figure 13: Diagramme en bâtons représentant les analyses sensorielles de notre produit à base de "spiruline".

Les 5 critères analysés dans l'évaluation hédonique sont les suivants : couleur, la texture, le goût, le goût sucré et l'appréciation globale. La couleur des deux produits est appréciée par les consommateurs, le produit GINI Glace 93.08%, pendant que la couleur naturelle de notre produit obtient 92.31%. La comparaison statistique de la texture entre les deux produits, montre l'absence d'une différence significative (0.77% de différence), ceci confirme que tous notre produit contenant spiruline comme émulsifiant détient une texture presque similaire que celui de GINI Glace.

Les deux produits possèdent une différence de 2.82% en comparant les deux valeurs du critère « goût », ceci en raison du léger arrière-goût que procure la présence de la spiruline dans notre produit repérée par quelques consommateurs.

Pour le goût sucré, le test statistique révèle une différence de 0.26% entre les deux produits, ce qui indique que tous les produits ont été appréciés pour leurs goûts sucrés.

Les deux produits n'ont pas été appréciés par la totalité des consommateurs, étant donné que le parfum utilisée pour nos deux crèmes glacées le « pistache » n'est pas le favori de tout le monde. Ils ont obtenu un score de 89.23% et 88.97% respectivement.

D'après les résultats de l'analyse hédonique de nos deux produits, on a constaté que notre produit contenant la spiruline possède des caractéristiques organoleptiques (couleur, texture, flaveur, goût sucré et appréciation globale) appréciés par les consommateurs, et très proche de la crème glacée industrielle « GINI Glace ». Ce qui signifie que la spiruline est un bon émulsifiant naturel qui remplace et enrichi nutritivement la crème glacée.

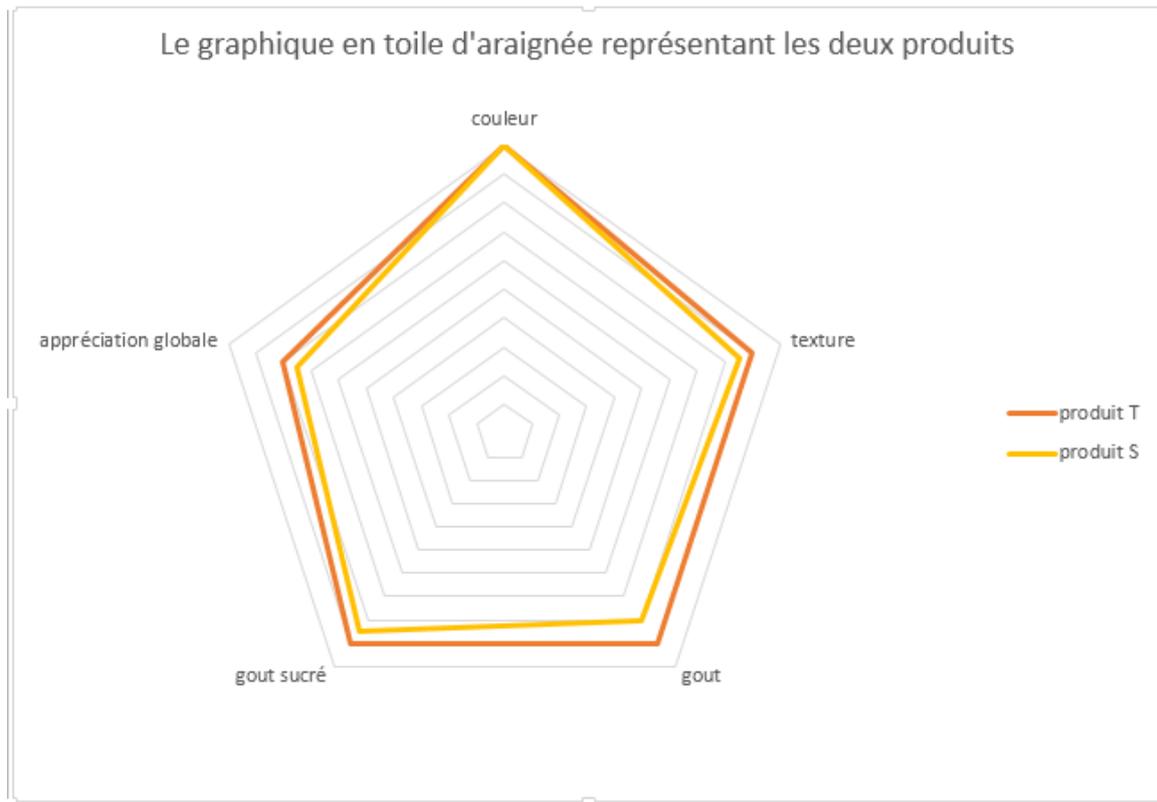


Figure 14: graphe en radar représentant les deux produits

Le graphe représente les 5 critères et l'appréciation des consommateurs pour chaque produit, le témoin (de GINI Glace) et le nôtre (additionné de spiruline). Le rapprochement des critères recherchés par le consommateur est clairement remarquable pour la couleur, texture, goût sucré, appréciation globale. La maigre différence est au niveau du goût.

Discussion

La spiruline étant un aliment révolté surtout ces dernières années a fait objet de notre curiosité pour toutes les propriétés nutritionnelles et thérapeutiques qu'elle détient. Plusieurs recherches ici en Algérie et dans d'autres pays exploitent cette cyanobactérie en l'incorporant dans divers denrées alimentaire dans le but de enrichir l'aliment et ou prévenir des différents maladies.

Dans notre recherche la spiruline a été incorporé dans de la crème glacée car les protéines contenue dans la spiruline la raison de son usage vue ses propriétés technologiques comme émulsifiant naturel, contribuant à la fermeté des émulsions, augmentant la stabilité et conférant au produit gourmant une plus grande valeur nutritionnelle.

Ajoutant à cela que l'ajout de la microalgue dans la crème glacée ou d'autres produits alimentaires améliore sa fonctionnalité et peut remplacer et/ou réduire la teneur matières grasses, rendant le produit moins calorique.

Les comparaisons faites entre les deux produits (la crème glacée de l'entreprise et notre crème glacée avec spiruline) physico-chimiques et microbiologiques soutiennent que notre hypothèse selon laquelle les propriétés fonctionnelles de *Spirulina platensis* sont importantes du point de vue technologique (l'émulsifications) contribuant ainsi à la transformation de l'aliment, et elle peuvent aussi être appliquée en tant qu'ingrédients alimentaires bénéfique pour la santé.

Conclusion

La spiruline n'arrête pas d'attirer l'attention des scientifiques, elle jouit aujourd'hui d'un intérêt grandissant grâce à ses multiples propriétés thérapeutiques et nutritionnelles. De nombreuses études publiées que nous avons consultées pour réaliser notre travail et qui portent sur tout ce qui caractérise la Spiruline confirme le nom qu'on lui a procuré le « super aliment » dont.

La fabrication des glaces nécessite l'usage indispensable de différents ingrédients utilisés dans une glace jouent un rôle spécifique suivant leur nature et leur teneur. La qualité dépend de plusieurs critères, de l'hygiène, de la matière sèche responsable du point de congélation, la durée de vie et d'autres attributs sensoriels : saveur sucrée, texture, ...

Ce présent travail a été effectué au niveau du laboratoire de l'unité industrielle (GINI Glaces). Il nous a permis d'approfondir nos connaissances pratiques en matière de contrôle de qualité, par une contribution à une étude comparative des analyses physico-chimiques, microbiologique et sensoriels des deux glaces, une produite selon la recette de GINI Glace et l'autre réalisée d'après une recette élaborée au sein du laboratoire additionnée de spiruline comme émulsifiant, un travail dirigé par Madame IKEN.

Le présent travail, répond à un objectif de créer un aliment fonctionnel en remplaçant un composant dont la consommation est souvent excessive et qui provoque donc des effets nocifs (l'additif alimentaire responsable de l'émulsification) par un autre composant aux effets bénéfiques reconnus « la spiruline, le super aliment » dans un produit industrielle considéré comme un « dessert » à apport nutritif faible.

Un autre objectif est visé dans ce travail, c'est de valoriser la spiruline en tant qu'aliment qui peut être incorporé dans différents produits alimentaires ajoutant de la valeur (la crème glacée dans le cadre de cette étude). Tout en évaluant l'impact de son incorporation sur la qualité gustative et organoleptique du produit obtenu par comparaison à un produit industriel de « GINI Glace ». D'après les résultats obtenus :

Ainsi, les résultats des différentes analyses physicochimiques témoignent de la stabilité du produit additionnée de spiruline comparant aux produits industriels et aux normes à travers les valeurs de pH, l'extrait sec total et de l'acidité Dornic obtenus. L'analyse microbiologique révèle l'absence des microorganismes sur notre produit.

L'évaluation sensorielle de la crème glacée a permis de montrer l'acceptabilité du produit additionnée en Spiruline par le consommateur, malgré les appréciations plus ou moins négatives de quelques dégustateurs sur le léger arrière-goût qu'a eu la crème glacée.

Recommandation

Eu égard au divers bénéfice de la spiruline, et dans le but de compléter ce travail, il serait intéressant de poursuivre cette étude en :

- Réaliser d'autres échantillon (l'un sans arôme, l'autre avec de la phycocyanine extraite qui rapporte une couleur bleue à la crème glacée).
- Remplacer le sucre présent dans la crème glacée ou le réduire afin d'élaborer une crème glacée bio.
- Déterminer le pouvoir d'émulsification que détient la spiruline.
- Déterminer l'apport calorique de la crème glacée additionnée de spiruline.
- Effectuer analyse statistique Test des étendues de Tukey (HSD) qui représente un test statistique dans le quelle il y a des comparaisons multiples ayant pour but la détermination des différences significatives entre les moyennes de groupes dans une analyse de variance.

Références bibliographiques

- [1]. KHAN ZAKir, BHADOURIA Pratiksha, et BISEN P.S., 2005. Nutritional and Therapeutic Potential of Spirulina. *Current Pharmaceutical Biotechnology*. Vol. 6, N°5, p. 373-379. DOI: <https://doi.org/10.2174/138920105774370607>
- [2]. AUDREY, Manet, 2016. *La spiruline : indications thérapeutiques risques sanitaires et conseils à l'officine*. Thèse de doctorat. Sciences pharmaceutiques. Grenoble : Université Grenoble Alpes. Disponible sur : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01346709>
- [3]. AHOUNOU, Morènikè Nadège, 2018. *La spiruline : un complément alimentaire en conseil à l'officine. Enquête d'utilisation*. Thèse de doctorat. Pharmacie. Rouen : Université de Rouen UFR de médecine et de pharmacie.
- [4]. CARCEA, M, SORTO, M, BATELLO, Ca, NARDUCCI, V, AGUZZI, A, AZZINI, E, FANTAUZZI, P, FINOTTI, E, GABRIELLI, P, GALLI, Vi, GAMBELLI, L, MAINTHA, KARAR M, NAMBA, F, RUGGERI, S, TURFANI, V, (2015). *Nutritional characterization of traditional and improved dihé, alimentary blue-green algae from the Lake Chad region in Africa*. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 753–763. doi:10.1016/j.lwt.2014.10.039
- [5]. SGUERA, S. 2008. *Spirulina platensis et ses constituants interets nutritionnels et activites therapeutiques*. Thèse de doctorat. Pharmacie. Nancy : Université Henri Poincare - Nancy 1
- [6]. PARODI, A.; LEIP, A.; DE BOER, I. J. M.; SLEGGERS, P. M.; ZIEGLER, F.; TEMME, E. H. M.; HERRERO, M.; TUOMISTO, H.; VALIN, H.; VAN MIDDELAAR, C. E.; VAN LOON, J. J. A.; VAN ZANTEN, H. H. E. (2018). The potential of future foods for sustainable and healthy diets. *Nature Sustainability*, 1(12), 782–789. doi:10.1038/s41893-018-0189-7
- [7]. www.spirulinalgerie.com
- [8]. HIRI, Kadda. 2004. *Compte-rendu du Mini-colloque sur la spiruline à Tamanrasset*. Du 18 et 25 Avril, Assekrem.
- [9]. DA SILVA FARESIN.L, JULYANA BARBOZA DEVOS. R, REINEHR.C.O, Colla.L.M, Development of ice cream with reduction of sugar and fat by the addition of inulin, Spirulina platensis or phycocyanin, *International Journal of Gastronomy and Food Science*, Volume 27,2022,100445,ISSN1878450X,<https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100445>.
- [10]. LAHOUCINE, H.A, 2019. *Etude de l'impact de l'incorporation de la Spiruline sur la qualité organoleptique et physicochimique de la Mayonnaise*. Mémoire. Biotechnologie Alimentaire. Mostaganem : Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.

- [11]. BOURGOIN, L. 1924. La fabrication industrielle de la crème glacée (ice cream}. *Le lait Revue générale des questions laitières*. Tome. 4. N°33. P. 177-254.
- [12]. JORF, 2003, Les dénominations "glace à la crème". n°2003-136 du 18 février 2003 - art. 1(V) .disponible sur :<https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000299940/2021-05-31>.
- [13]. ARABI, L., LOUNNAS, F, 2018. *Verification des bonnes pratique de fabrication et d'hygiene des cremes glacees fabriquees a « yeti-glace »*. Mémoire. Sécurité agroalimentaire et assurance qualité. Tizi-Ouzou : Université Mouloud Mammeri.
- [14]. CHA VEZ MONTES, D, E, 2002. *Effets de la formulation et des conditions de foisonnement et congélation sur la rhéologie et la structure de la crème glacée*. These de doctorat. Génie des Procédés. Lorraine : l'institut national polytechnique de lorraine.
- [15]. BOUDI. O., HAMI,S. 2015. Effet de la température, du temps de maturation sur le taux de foisonnement, *les paramètres physicochimiques et microbiologiques des crèmes glacées GINI glaces (Fréha)*.memoir. Biochimie-Microbiologie. Tizi-Ouzou : Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [16]. MESMOUDI, S., BENAMAR A, 2014. *Etude comparative entre crème glacée à base de lait cru et crème glacée à base de lait en poudre*. Mémoire. Technologie des Industries Agro-Alimentaire. Tlemcen : Université Abou-bekr Belkaid.
- [17]. DJEDDI, N, 2020. *Caracterisation chimique du jus de raisin en vue de son incorporation dans les glaces*. Agro-alimentaire et contrôle de qualité. Mémoire. Blida : univertisé de Blida 1
- [18]. OTMANE, R.OUAZZI. N, 2019. *Caractéristiques physico-chimiques et sensorielles des glaces commercialisées en Algérie*. Mémoire. Technologie Agroalimentaire et contrôle de qualité. Tizi-ouzou : Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.

Annexes

Annexes

Fiche d'évaluation des produits : glaces avec / sans spiruline.

Age :

Sexe :

Aimez-vous les glaces :

Premier produit

| | | Observation | Note /10 |
|----------------------|--------------|--------------------------|----------|
| Couleur | Neutre | <input type="checkbox"/> | |
| | Agréable | <input type="checkbox"/> | |
| | Trop teintée | <input type="checkbox"/> | |
| Texture | Intolérable | <input type="checkbox"/> | |
| | Tolérable | <input type="checkbox"/> | |
| | Excellent | <input type="checkbox"/> | |
| Gout | Intolérable | <input type="checkbox"/> | |
| | Tolérable | <input type="checkbox"/> | |
| | Excellent | <input type="checkbox"/> | |
| Gout sucré | Intolérable | <input type="checkbox"/> | |
| | Tolérable | <input type="checkbox"/> | |
| | Excellent | <input type="checkbox"/> | |
| Appréciation globale | Intolérable | <input type="checkbox"/> | |
| | Tolérable | <input type="checkbox"/> | |
| | Excellente | <input type="checkbox"/> | |

Deuxième produit

| | | Observation | Note /10 |
|----------------------|--------------|--------------------------|----------|
| Couleur | Neutre | <input type="checkbox"/> | |
| | Agréable | <input type="checkbox"/> | |
| | Trop teintée | <input type="checkbox"/> | |
| Texture | Intolérable | <input type="checkbox"/> | |
| | Tolérable | <input type="checkbox"/> | |
| | Excellent | <input type="checkbox"/> | |
| Gout | Intolérable | <input type="checkbox"/> | |
| | Tolérable | <input type="checkbox"/> | |
| | Excellent | <input type="checkbox"/> | |
| Gout sucré | Intolérable | <input type="checkbox"/> | |
| | Tolérable | <input type="checkbox"/> | |
| | Excellent | <input type="checkbox"/> | |
| Appréciation globale | Intolérable | <input type="checkbox"/> | |
| | Tolérable | <input type="checkbox"/> | |
| | Excellente | <input type="checkbox"/> | |

Résumé

L'aliment fonctionnel est un aliment contenant des nutriments ayant la capacité et l'influence sur l'état de bien-être, de santé ou la réduction du risque des maladies. Plusieurs aliment fonctionnel a base de spiruline existe dans le monde, étant donnée son intérêt augmentant reconnu pour ses plusieurs propriétés nutritionnel et thérapeutiques, et surtout pour sa prévention de diverses maladies.

Dans notre présent travail nous avons créé un aliment fonctionnel au sein de l'industrie de GINI Glace à partir d'une crème glacée en remplaçant un additif responsable de l'émulsification par un émulsifiant naturel bénéfique, le super aliment « la spiruline ». Afin de réaliser des résultats surs, nous avons fait une étude comparative a une glace industrielle, effectuer le même processus de fabrication, les analyses physico-chimique et microbiologique suivi d'une analyse sensorielle. Les analyses physico-chimique et microbiologique de notre crème glacée fonctionnel comparant à la crème glacée industrielle s'avèrent remarquablement dans les normes de l'entreprise (pH et de l'acidité Dornic et l'absence d'activité microbienne), ce qui montre aucune alternance et l'efficacité de l'émulsifiant naturel choisis. Notre analyse sensorielle du produit a donné des résultats très proches de celle du produit industriel.

Mots clés : Spiruline – Crème glacée – Additif – Analyse sensorielle – Aliment fonctionnel

Abstract

Functional food is a food containing nutrients having the capacity and influence-t-on the state of well-being, health or the reduction of the risk of diseases. Several functional foods based on spirulina exist in the world, given its increasing interest recognized for its several nutritional and therapeutic properties, and especially for its prevention of various diseases.

In our present work, we had created a functional food within the GINI Glace industry from ice cream by replacing an additive responsible for emulsification with a beneficial natural emulsifier, the superfood "spirulina". In order to achieve reliable results, we had carried out a comparative study with industrial ice, carrying out the same manufacturing process, the physico-chemical and microbiological analyzes followed by a sensory analysis. The physico-chemical and microbiological analyzes of our functional ice cream comparing to industrial ice cream turn out to be remarkably within the company's standards (pH and Dornic acidity and the absence of microbial activity), which shows no alternation and the effectiveness of the natural emulsifier chosen. Our sensory analysis of the product gave results very close to that of the industrial product.

Keywords: Spirulina – Ice cream – Additive – Sensory analysis – Functional food

ملخص

الغذاء الوظيفي هو غذاء يحتوي على مغذيات لها القدرة والتأثير على حالة الرفاه أو الصحة أو الحد من مخاطر الأمراض. توجد العديد من الأطعمة الوظيفية التي تعتمد على السبيرولينا في العالم، نظرًا لاهتمامها المتزايد المعروف بخصائصها الغذائية والعلاجية العديدة، وخاصة للوقاية من الأمراض المختلفة.

من الأيس كريم عن طريق استبدال مادة مضافة مسؤولة عن الاستحلاب بمستحلب GINI Glace في عملنا الحالي، ابتكرنا طعامًا وظيفيًا في صناعة طبيعي مفيد، وهو الطعام الفائق "سبيرولينا". من أجل تحقيق نتائج موثوقة، أجرينا دراسة مقارنة مع الثلج الصناعي، ونفذنا نفس عملية التصنيع، والتحليلات الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية متبوعة بتحليل حسي. تبين أن التحليلات الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية للأيس كريم الوظيفي الخاص بنا مقارنةً بالأيس كريم الصناعي تتوافق بشكل ملحوظ مع معايير الشركة (درجة الحموضة وحموضة دورنيك وغياب النشاط الميكروبي)، والتي لا تظهر أي تناوب وفعالية المستحلب الطبيعي اختيار.

أعطى تحليلنا الحسي للمنتج نتائج قريبة جدًا من تلك الخاصة بالمنتج.

الكلمات الدلالية: سبيرولين - المثلجات - المضافات - التحليل الحسي - الغذاء الوظيفي