

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Agronomiques et des Sciences Biologiques
Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Agronomie
Spécialité : Sécurité Agroalimentaire et Assurance Qualité

Incorporation de la spiruline dans la crème de fourrage en vue d'une fabrication d'un produit céréaliérisé enrichi : la génoise

Présenté par :

- *M^{elle}* CHEKINI Sabrina
- *M^{elle}* FELLAG Kheloudja

Soutenu le 14 /07 /2019 devant le jury :

Président	M ^{me} HELLAL Z.	MAA	UMMTO
Encadreur	M ^r DJENANE D.	Professeur	UMMTO
Examineur	M ^r SIFER K.	MAA	UMMTO
Co-promoteur	M ^r ABOUDAOU M.	Docteur	ISSER DELICE
Invité	M ^{me} DJENANE F.	Ingénieur d'Etat	ISSER DELICE

Année universitaire : 2018/2019

Remerciements

Au terme de ce modeste travail qui est le fruit de tant d'années d'études, nous tenons à remercier vivement et à exprimer notre profonde reconnaissance à tous ceux qui de près ou de loin ont veillé à notre bonne formation par leur encadrement agréable en l'occurrence :

- Monsieur DJENANE, notre promoteur pour son soutien, sa disponibilité, ses orientations, ses encouragements qui nous ont été toujours d'un grand intérêt tout au long de notre formation et durant l'élaboration de ce mémoire. Qu'il trouve ici nos vifs remerciements.
- Madame HALLAL, qui nous a fait l'honneur de bien vouloir accepter de présider le jury.
- Monsieur SIFER qui en plus de la bonne formation qu'il nous a accordé, il nous a fait l'honneur en acceptant d'évaluer et d'examiner notre travail.

Nos remerciements s'adressent également à tous les responsables de la biscuiterie ISO-9 International des ISSERS en particulier monsieur ABOUDAOU Malek de nous avoir donné l'occasion d'effectuer le stage du mémoire au sein de leur entreprise.

A madame Hamel gérante du laboratoire de contrôle de la qualité "ESAFAA".

Nous tenons à remercier DJENANE Fatiha pour son aide, orientation et encouragement, ainsi que Atmane et Mohammed.

Tous nos égards et notre considération à :

- Tous les enseignants du Département des Sciences Agronomiques et en particulier ceux de la spécialité Technologies alimentaire.
- Tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Au plus courageux des papas tu as fait de moi une femme forte et accomplie féministe et kabyle je me rappelle de la fois ou tu m'avais dit non tu ne vas pas faire de dance. La dance c'est pour les filles hhh !! Et ce jour-là j'avais compris que je n'étais pas comme les autres filles et je devais être courageuse et forte car la grandeur d'une femme se mesure à ces actes non pas à son physique tu m'a aussi appris à respecter l'homme pour qu'il me respecte à être sa moitié et son égale car la vie se construit à deux

A la plus belles des mamans à celle qui m'a porté avant la terre à celle qui m'a offert tous sont amour, ta sensibilité est ta force ta douceur est ton arme, tu es la source dont j'épuise la force d'avancer et l'envie d'y croire et d'espérer, tu as toujours cru en moi j'espère aujourd'hui pouvoir te rendre fière auprès de toi on était plus riche qu'un roi par l'amour que tu nous porte je t'aime maman

A mon adorable petit frère : un jour on m'avais demandé quelle est le plus beau cadeau que mes parents m'avaient offert j'ai répandu « mon petit frère » je me rappelle de ta venue au monde tu avais apporté joie et bonheur tu as illuminé la vie de nos parents et remplis ma vie d'enfant solitaire j'avais enfin mon jouer à moi hhhh. Je t'ai aimé la première fois que je t'ai pris dans mes bras tu étais mon premier amour et cet amour ne cesse d'accroître au fil des années malgré toutes nos disputes je t'aime petit frère et je te souhaite un déluge de réussite un tsunami de bonheur et une longue vie auprès de moi et de tout ce qui t'aime.

A toi à nous à notre amour et à nos sacrifices à tous ces souvenirs qui sont encrés en nous et à notre future radieux dans tes bras tu m'as offert l'éternité, dans ton regard j'ai vu la bonneté de ton âme. Je t'aime monsieur SAIDANI

A dada Djaffar qui a était comme un père pour moi et a toute sa famille à Mes deux cousine Kahina et Fariel et à ma tante Malha sans oublier mes deux grand-mère Titi et "azouzou "

A babi a Kévine au deux Dihia avec qui j'ai partagé tant de bons et agréables moments merci de m'avoir supporté tout ce temps à notre amitié sans oublier ma binôme Sabrina qui s'effondre à chaque fois qu'elle se stress et eh eh je te souhaite un heureux mariage tout se passera bien -_-

Et enfin à toutes les femmes du monde soyez forte notre vie de tous les jours n'est pas toujours facile mais nous somme et nous serons toujours *La vie*alors battons-nous pour un monde meilleur.

*** kheloudja ***

Dédicaces

A ma douce mère que j'aime le plus au monde qui m'a donné la vie, Tu es ma source de tendresse qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi toutes ces longues années d'études, aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu as fait pour moi et si je suis là c'est grâce à toi et papa.

A mon cher père qui a payé des années d'amour et de sacrifices, le prix de ma façon de penser. Tu es un exemple à suivre j'ai de la chance de vous avoir comme parent Je te remercie de m'avoir toujours soutenu, encouragée dans mon parcours et surtout d'avoir toujours cru en moi. Ma réussite a été et est toujours ton souci permanent Voilà vous voyez enfin le bout de mes études,

Je vous dédie ce travail le fruit de votre sacrifice, éducation, qu'il soit le meilleur cadeau que je puisse vous offrir. Que Dieu vous procure la bonne santé et une longue vie.

A mes sœurs et frères Lamia, kamilia cilya Sarah et Nawal kamel et smail quoi que je dise je ne pourrai jamais exprimer mon amour pour vous .Malgré nos disputes qui ont le don d'énerver Papa et Maman, sachez que je n'en garde aucune rancœur je vous aime énormément .Sans oublier mes neveux Nazim le héros, Anaïs ma douce, Yanis qui trouve son bonheur dans ses jouets et élise le grand bêtisier de l'année que j'aime énormément.

A mon coeur Nacer, ça y est, c'est enfin la fin de ce mémoire Merci de m'avoir soutenu, encouragé et surtout de m'avoir supporté ! On va enfin pouvoir vivre normalement sans stresse du mémoire. Malgré les milliers de kilomètres qui nous séparent tu ne m'as jamais fait sentir ton absence tu a toujours été la quand j'avais besoin de toi et tu ne cesses de me conseiller et de me guider. Dans quelques jours nous allons enfin se réunir et vivre le bonheur, le moment le plus attendu. Tu es très cher pour moi je t'aime énormément.

A moi et ben t'en auras mis du temps. T'es vraiment lente parfois. Faut que t'arrêtes de trop réfléchir pour tout et pour rien, de te poser milles et une question à chaque fois que tu veux faire quelque chose. Essaie d'avancer plus vite, prend des risques, tu gagneras du temps, de toute façon rien n'est jamais parfait. Ce mémoire marque la fin d'une belle période mais le meilleur reste à venir ... à toi de jouer

* Sabrina *

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Liste des annexes

Introduction 01

PARTIE I : Synthèse bibliographique

I.GENERALITES SUR LA SPIRULINE 03

I.1. Définition de la spirulin 03

I.2. Origine de la spiruline 04

I .3. Historique de la spiruline..... 04

I.4.Eléments de biologie de la spiruline..... 06

1.4.1. Taxonomie 06

1.4.2. Répartition géographique..... 07

1.4.3. Caractéristiques structuraux de la spiruline..... 07

1.4.4. Cycle biologique 08

1.4.5. La reproduction 09

1.4.6. Déplacement 09

I.5. Composition chimiques et formes de la spiruline 10

I.5.1. Analyse nutritionnelle 10

I.5.1.1. Teneurs en éléments organiques..... 11

I.5.1.1.1. Protéines et aides aminés 11

I.5.1.1.2. Lipides 12

I.5.1.1.3. Glucide 13

I.5.1.1.4. Eléments minéraux..... 14

I.5.1.1.5. Vitamines 14

1.5.1.2. Teneurs en oligo-éléments..... 15

1.5.1.2.1. Teneurs en éléments majeurs 15

1.5.1.2.2. Teneurs en éléments toxiques 16

1.5.1.2.3. Teneurs en éléments traces..... 17

1.5.1.2.4. Teneurs en éléments rares 18

I.5.2. Les différentes formes de la spiruline 18

I.5.2.1. Spiruline en comprimés	19
I.5.2.2. Spiruline en paillette	20
I.5.2.3. Spiruline en poudre	21
I.5.2.4. Spiruline liquide	22
I.5.2.5. Spiruline en gélules	23
I.6- Aspects toxicologique	23
1.6.1. Toxiques minéraux	23
1.6.2. Toxiques organiques.....	24
1.6.3. Cyanotoxines	25
1.6.4. Résidus de pesticides.....	25
1.6.5. Réactions allergiques.....	25
1.6.6. Risques de surdoses	26
I.7. Condition de culture de la spiruline.....	26
I.7.1. Bassin	26
I.7.1.1. Constructions des bassins de culture	27
I.7.1.2. Couverture du bassin de culture	28
I.7.1.3. Nombre et surface du bassin.....	29
I.7.1.4. Agitation du bassin.....	29
I.7.1.5. Containers, bassines, graines	32
I.7.1.6. Réparation des films plastique.....	32
I.7.2. Influence du climat	32
I.7.2.1. Température	32
I.7.2.2. Pluviométrie	33
I.7.2.3. Climat idéal	33
I.7.2.4.Saisonnalité	33
1.7.3 .Tolérance aux facteurs du milieu.....	34
1.7.3.1. Lumière	34
1.7.3.2. pH	35
1.7.4.3. Salinité	35
1.8. Récolte.....	35
1.8.1. Filtration.....	35
1.8.2. Lavage et essorage (pressage)	36
1.8.3. Extrusion et séchage	37

1.8.4. Broyage	39
1.8.5. Conditionnement.....	40
I.9. Différents secteurs d'activités utilisant la spiruline.....	40
I.9.1. Dans la santé humaine.....	40
I.9.2. Dans l'agroalimentaire.....	42
I.9.3. Dans le cosmétique.....	43
I.9.4. Dans l'aérospatiale	45
I.9.5. Autres utilisations	45
I.9.6. Dans l'alimentation animale	45
I.9.7. Spiruline sous forme d'extraits.....	46
II. LA GENOISE FOUREE A LA CREME	48
II.1. Définition de la génoise.....	48
II.2. Historique de la génoise	48
II.3. Pâte à génoise	49
II.4. Matières premières utilisées dans la fabrication de la génoise et leurs rôles.....	49
II.4.1. Farine	49
II.4.2. Matière édulcorante	50
II.4.3. Matière grasse.....	50
II.4.4. Œuf	50
II.4.5. Produits laitiers.....	51
II.4.6. Agents chimiques de levée.....	51
II.4.7. Sel.....	51
II.4.8. Eau.....	51
II.4.9. Additifs alimentaires.....	51
II.4.10. Produits «annexes»	53
II.5. La crème	53
II.5.1. Définition	53
III.5.2. Les ingrédients de la crème	53
III.5.2.1. Matière grasse végétale.....	53
III.5.2.2. Produits sucrants.....	53
III.5.2.3. Sirop de glucose.....	53
III.5.2.4. Lait en poudre	54
II.5.3. La crème fouettée.....	54

II.6. Diagramme technologique de fabrication de la génoise fourrée.....	54
II.6.1. Le foisonnement.....	54
II.6.2. La cuisson.....	55
II.6.3. Le refroidissement, la manipulation et le conditionnement	55
II.7. Conservation de la qualité de la génoise fourrée	57
II.7.1. Facteurs d'altération.....	60
II.7.1.1. Durée de stockage.....	60
II.7.1.2. Température d'entreposage.....	60
II.7.1.3. Composition de l'atmosphère (oxygène, gaz carbonique, humidité de l'air)	60
II.7.1.4. Lumière.....	60
II.7.1.5. Potentiel d'oxydoréduction.....	61
II.7.1.6. pH.....	61
II.7.1.7. Quantité de l'eau dans l'aliment	61
II.7.2. Réactions d'altération	62
II.7.2.1. Altérations microbiologiques.....	62
II.7.2.2. Altérations physico-chimiques	63
II.7.2.2.1. Oxydation directe des lipides ou auto-oxydation	63
II.7.2.2.2. Rassisement.....	63
II.7.2.2.3. Transferts d'eau.....	64
II.7.2.3. Altérations enzymatiques.....	64
II.8. Durée de vie de l'aliment.....	65
II.8.1. Notion de durée de vie	65
II.9. Réglementation et étiquetage.....	66

Partie II : Matériel et méthodes

I. Présentation de l'unité.....	68
II. La gamme de production au niveau de l'unité.....	69
III. Champs de l'étude.....	69
III.1. Objectif du travail	69
III.2. Intérêt du travail	70
IV. Matériels utilisés pour la fabrication de la crème.....	70
IV.1. Matériel biologique.....	70
Appareillages.....	70

V. Technologie de la génoise	71
V.1. Préparation de la pâte génoise	71
V.1.1. Formule de fabrication de la pâte génoise	71
V.2. Préparation de sirop d'imbibition	72
V.2.1. Formule du sirop d'imbibition	72
V.3. Préparation de la crème de fourrage	73
V.3.1. La pesée des ingrédients	73
V.3.2. Préparation	73
VI. Analyses biochimiques.....	76
VI.1. Détermination du pH.....	76
VI.2. Détermination de l'humidité	77
VI.3. Détermination de l'activité de l'eau	77
VI.4. Détermination de la teneur en protéines de la génoise	78
VI.4.1. Principe de la méthode.....	79
VI.5. Dosage du fer	81
VI.5.1. Principe du dosage.....	81
VI.5.2. Préparation des solutions d'étalonnage	81
VI.5.3. Utilisation du spectromètre UV-visible OPTIZEN.....	81
VI.5.4. Préparation et mesure des solutions d'échantillon à tester	84
VI.6. Dosage du calcium.....	85
VI.6.1. Principe du dosage.....	85
VII. Analyses microbiologiques	87
VII.1. Préparation du matériel.....	87
VII.2. Les milieux de culture.....	88
VII.3. Échantillonnage, préparation des suspensions mères et des dilutions décimales	91
VII.4. Ensemencement et incubation.....	92
VII.5. Recherche et dénombrement des colonies (coliformes totaux, levures et moisissures et flore mésophile aérobie)	92
VIII. Détermination des caractères organoleptiques	93
VIII.1. Modalités d'évaluation sensorielle et traitement statistique	94
VIII.2. Méthodes d'analyses sensorielles	94
VIII.3. Panel de dégustation	95
VIII.4. Codage des échantillons	95

VIII.5. Préparation des échantillons	95
VIII.6. Conduite des tests de dégustation.....	95

Partie III : Résultats et discussions

IV.1. Analyses physico-chimiques	96
IV.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH)	96
IV.1.2. Activité de l'eau	97
IV.1.3. Humidité.....	98
IV.1.4. Résultats d'analyses physico-chimiques du produit fini	99
IV.1.4.1. Teneur en protéines (%)	99
IV.1.4.2. Teneur en calcium.....	100
IV.1.4.3. Teneur en fer.....	101
IV.2. Analyses microbiologiques	102
IV.3. Evaluation sensorielle des génoises	105
IV.4.1. Couleur.....	105
IV.4.2. Texture	106
IV.4.3. Saveur.....	107
CONCLUSION	108
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	109
ANNEXES	

Tableau 1: Taxonomie récapitulative d'Arthrospira platensis (FOX,1999)

Tableau 2: Teneurs en lipides (mg/kg) de matière sèche de la spiruline (FALQUET, 2006).

Tableau 3: Composition en minéraux de la Spiruline et doses requises (FALQUET, 2006).

Tableau 4: Teneurs en vitamine (mg/kg) de matière sèche de la spiruline (FALQUET, 2006).

Tableau 5: Teneurs en éléments majeurs (g/kg) des spirulines issues de différentes régions (Vicat *et al.*, 2016).

Tableau 6: Teneurs en éléments toxiques (mg/kg) des spirulines issues de différentes régions (VICAT *et al.*, 2016).

Tableau 7: Teneurs en éléments traces (mg/kg) des spirulines de France (SP14, SP15), Madagascar (SP19), Inde (SP21), Costa Rica (SP25) et Equateur (SP26) (VICAT *et al.*, 2016).

Tableau 8 : Teneurs en Terres Rares (mg/kg) des spirulines de France (SP14, SP15), Madagascar (SP19), Inde (SP21), Costa Rica (SP25) et Equateur (SP26) (VICAT *et al.*, 2016).

Tableau 9: Les moyennes observées des éléments toxiques (FALQUET, 2006)

Tableau 10: Additifs alimentaires utilisés (RANKEN *et al.*, 1997; LABUZA & HYMAN, 1998; MOLL et MOLL, 1998; SAHI & ALAVA, 2003; FIGONI, 2008)

Tableau 11: Les différences entre DLC et DLUO (ROUX, 1994; KILCAST & SUBRAMANIAM 2000; BREMAUD *et al.*, 2006)

Tableau 12: Expression de la date limite sur l'emballage (R112-22 du code de la consommation)

Tableau 13 : Les différents produits et la capacité de production au niveau de la biscuiterie ISO-9 International

Tableau 14 : Composition de la formule de la pâte à génoise

Tableau 15: Composition de différentes crèmes en fonction des pourcentages de spiruline.

Tableau 16 : Les limites et seuils interne à l'unité des critères physico-chimiques.

Tableau 17 : l'absorbance des différentes solutions préparées

Tableau 18: La concentration des différentes solutions.

Tableau 19 : conditions d'incubation des germes recherchés

Tableau 20 : Résultats d'analyses physico-chimiques du produit fini.

Tableau 21: Résultats d'analyses microbiologiques de la génoise

Tableau 22 : Influence de la spiruline sur l'acceptabilité de la génoise (moyenne \pm Ecart type)

Figure 1 : spirulina platensis.

Figure 2 : La culture de la spiruline dans la région du Kanem (Tchad).

Figure 3 : Cycle biologique de la Spiruline selon (Balloni et al. 1980 in Charpy, 2008).

Figure 4 : Composition chimique de la spiruline.

Figure 5 : Positionnement de la Spiruline par rapports à d'autres aliments en termes de taux de protéines.

Figure 6 : Acides aminés essentiels en mg/10 g de spiruline.

Figure 7 : La spiruline en comprimés.

Figure 8 : Spiruline en paillette.

Figure 9 : Spiruline en poudre.

Figure 10 : Spiruline liquide.

Figure 11 : spiruline en gélules.

Figure 12 : Bassin de culture de spiruline.

Figure 13 : couverture des bassins de culture a l'aide d'une serre.

Figure 14 : Système d'agitation d'un bassin par roue à aubes.

Figure 15 : L'homme est en train d'agiter le milieu de culture à l'aide d'un balai **TECHNAP CREDESA, 2001.**

Figure 16 : Filtration de la spiruline.

Figure 17 : extrusion de la biomasse en "spaghetti" sur un plateau.

Figure 18 : Le séchage de la biomasse.

Figure 19 : le broyage de la spiruline séchée.

Figure 20 : Crème pour visage a base de spiruline.

Figure 21 : Savon à base de spiruline.

Figure 22 : Savon de MARSEILLE à la spiruline.

Figure 23 : Savon liquide à la Spiruline.

Figure 24 : génoise fourrée à la crème.

Figure 25 : Diagramme de fabrication de la génoise fourrée (MATZ & MENARD, 1992 ; FEILLET, 2000 ; DELACHARLERIE *et al.* 2008).

Figure 26 : Les composants de la qualité (ISO 5492, 1992 ; ROUX, 1994 ; BRANGER *et al.* , 2007).

Figure 27 : Vitesse de détérioration des aliments en fonction de a_w (LABUZA, 1971. Cité par : NELSON & LABUZ, 1994).

Figure 28 : Diagramme de préparation du sirop d'imbibition.

Figure 29 : Diagramme de fabrication de la génoise fourrée.

Figure 30 : appareil de distillation à la vapeur Kjeldahl, K-350.

Figure 31 : spectromètre UV-visible OPTIZEN.

Figure 32 : Courbe d'étalonnage du Fer : l'absorbance de chacune des solutions en fonction de sa concentration en fer.

Figure 33 : pH des différents échantillons de la génoise.

Figure 34 : L'activité de l'eau des différents échantillons.

Figure 35 : Le taux d'humidité dans les différents échantillons.

Figure 36 : Teneurs en protéine dans les différents échantillons.

Figure 37 : Teneur en calcium dans les différents échantillons de la génoise.

Figure 38 : La quantité de fer dans les génoises enrichies à la spiruline.

Figure 39 : L'influence de la spiruline sur la couleur de la génoise.

Figure 40 : Moyenne attribués pour le caractère texture par le panel de dégustateurs.

Figure 41 : La moyenne des notes donnée par les panélistes pour le critère saveur.

C° : Degré Celsius

µm : micro mètre

γ : gamma

µg : micro gramme

[c] : concentration

a_w : Activité de l'eau

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du travail

CE : Comité européen

cm : centimètre

cm² : centimètre carré

DE : Dextrose équivalent

DLC : Date Limite de Consommation

DLUO ; Date limite d'utilisation optimale.

FAM : Flore aérobie mésophile

FAO: Food and Drug Administration

g: Gramme

h : Heure

HR : humidité relative

JOCE : Journal officiel des Communautés Européennes

JORA : journal officiel de la république algérienne.

Kg: kilo gramme

l : Litre

M² : mètre carré

mg: milligramme

MGV : matière grasse végétale

Min : minute

ml : Millilitre

mm : millimètre

NF : Norme française

OMS : Organisation mondiale de la santé

PH : potentiel hydrogène

PPM : *partie pour million*

PSU : practical salinity unit

RBD : Raffinée blachie désodorisé

T. : Témoin

UFC : Unité formant colonies

U.V : ultra violet

Introduction

Le secteur de l'agroalimentaire ne cesse de progresser en recherches et innovations technologiques afin de répondre à des exigences de consommation de plus en plus élargies et satisfaire des besoins nutritionnels.

Avec une croissance démographique en constante évolution, les nouveaux modes de vie et les inégalités sociales la malnutrition est devenue un problème de santé mondial. Cette « maladie non transmissible » qui se caractérise par le surpoids, l'obésité, les carences etc. a amené les services concernés de quasiment tous les pays à prendre conscience de ce phénomène et à sensibiliser les populations en vue d'une alimentation saine et plus équilibrée.

A cet effet la FAO, l'OMS et l'UNICEF ont recommandé aux chercheurs du monde entier de réexaminer le potentiel alimentaire de l'humanité. Des ressources ignorées ou oubliées jusqu'alors commencent à émerger grâce à ces recherches.

Parmi les ressources alimentaires non conventionnelles une algue bleue-vert, la spiruline, commence à occuper une place non négligeable sur le marché des nouvelles tendances alimentaires

La spiruline est une **cyanobactérie** filamenteuse du genre *Arthrospira*. Ce micro-organisme apparu il y a plus de **3,5 milliards d'années** est **photoautotrophe**, il utilise la lumière comme source d'énergie pour transformer de la matière inorganique en matière organique avec dégagement d'O₂. La spiruline fait donc partie des organismes qui, par leur production d'oxygène et de matière organique, ont contribué au développement des formes actuelles de vie sur Terre et, encore de nos jours, à l'équilibre CO₂/O₂.

Elle contient en poids sec 50 à 70 % de protéines, 15 à 25 % de glucides, 5 à 11 % de lipides ainsi que des vitamines, des minéraux et oligo-éléments et des pigments. Sa richesse en protéines fait d'elle une source très considérée dans le contexte de recherche de protéine du futur.

Lorsque les intérêts nutritionnels de la spiruline ont été mis en évidence, sa culture, artisanale et industrielle, s'est développée à travers le monde. Des fermes artisanales se sont créées notamment dans les pays du Tiers-Monde, dans le but de **palier à la malnutrition** tandis que

l'essor industriel de la spiruline a réellement commencé dans les années 1970, avec sa culture sur les bords du lac Texcoco (Mexique). D'autres entreprises se sont ensuite implantées aux Etats-Unis (Californie), Hawaï, Chine, Thaïlande, France... A l'instar de ces pays, l'Algérie contribue à la valorisation et au développement des cultures de spirulines.

La présente étude propose d'incorporer la spiruline dans l'alimentation quotidienne de la population algérienne pour apporter un plus de nutriments. Cette incorporation s'effectuera dans des biscuits humides de type Génoise, une catégorie élémentaire de la nutrition et aussi l'aliment majeur des enfants. Les Génoises sont caractérisées par une faible teneur en protéines, leur enrichissement permet d'évaluer les différences sur le plan nutritionnel et culinaire des produits obtenus.

La qualité organoleptique est le critère primordial pris en compte pour la fabrication des Génoises incorporées qui immédiatement est perceptible par le consommateur.

Ce travail aura pour objectif d'éclairer les points suivants :

- Fabrication d'une crème de fourrage à base de spiruline à différents pourcentage et son incorporation dans la génoise.
- L'impact de l'incorporation de la spiruline sur la qualité nutritionnelle et organoleptique du produit.
- Caractéristiques physicochimiques et microbiologiques du produit fini

I. Généralités sur la spiruline

I.1. Définition de la spiruline

La spiruline ou algue bleu-vert est un aliment bactérien obtenu à partir des cyanobactéries du genre *arthrospira*. Sa consommation se mondialise pour ses qualités nutritionnelles exceptionnelles et facilement assimilables par l'organisme, une composition variée naturellement équilibrée en pigments, protéines, oligo-éléments, minéraux (fer, zinc, magnésium), vitamine (B, oméga 3 ,6,9) et autres nutriments dont les vertus sont nombreux et qui font d'elle un super aliment de premier plan qui contribue au renforcement des défenses naturelles et du système immunitaire, améliore le système digestif et aide à la désintoxication du corps.

Sur les 2000 espèces d'algues bleues répertoriées, seulement 36 espèces d'*arthrospira* sont comestibles. La spiruline de variété *spirulina platensis* de forme spiralée est aujourd'hui la plus présente sur le marché, elle est utilisée comme complément alimentaire mais aussi comme aliment, elle existe depuis des millénaires et considérée comme un végétale facile à cultiver à condition de reproduire les conditions environnementales nécessaires et lui donner les bases azotées indispensables à son développement.



Figure 1 : *Spirulina platensis*

I.2. Origine de la spiruline

La spiruline est un micro-organisme aquatique (0,3 mm de long), apparue sur terre il y a 3 milliards d'années, c'est l'une des premières formes de vie sur la planète, elle correspond à de nombreuses espèces de forme spiralée dont les principales sont *arthrospira maxima* (anciennement *spirulina maxima*) et *arthrospira platensis* (anciennement *Spirulina platensis*).

Ces micro-organismes contribuèrent à transformer l'atmosphère originelle de notre planète en produisant, grâce à la photosynthèse, l'oxygène nécessaire à l'évolution de toutes les autres formes de vie. Les premières formes de vie sur terre furent les bactéries, qui existaient déjà il y a 3,4 milliards d'années, puis des cyanobactéries ou algues bleues-vertes apparurent : la spiruline était née. Elle a su s'adapter à toutes les conditions physico-chimiques depuis ces temps immémoriaux jusqu'à aujourd'hui. Ces premières cellules végétales transformèrent le gaz carbonique en matière organique

I.3. Historique de la spiruline

Les Aztèques peuple originel du Mexique avaient de faibles ressources agraires, leur aliment principal étant le maïs, ce peuple a réussi de survivre pendant des siècles avant l'arrivée des colons espagnols. Farrar en 1966 s'est interrogé sur les moyens qui ont permis à cette population de survivre. Le poisson et les oiseaux du lac Texcoco fournissent un apport protéique pas assez suffisant pour combler leurs besoins. Il suggéra que la source complémentaire de protéines émanait d'une ressource qui provenait du lac, appelée Tecuitlatl (PANIAGUA- MICHEL *et al.*, 1993). De nombreux ouvrages de l'époque coloniale espagnole citaient déjà une certaine substance bleu-vert que les Aztèques utilisaient. Le tecuitlatl est une sorte de purée considérée par les colons comme minéral, une terre, un limon, consommée par les paysans après avoir été séchée et broyée. En réalité le tecuitlatl est un gâteau de spirulines, extrêmement riches en protéines, appartenant à l'espèce *Spirulina maxima* (PANIAGUA -MICHEL *et al.*, 1993). L'algue ne fut vraiment redécouverte que quelques 450 ans après par le botaniste belge Léonard lors d'une expédition belgo-française basée au Tchad (1964 - 1965), bien que déjà décrite par Wittrock et Nordstedt en 1844 (FOX, 1999). Léonard en 1968 a en effet constaté que les Kanembous (populations d'Afrique centrale et occidentale vivant principalement à l'ouest du Tchad, dans la région du Kanem, sur la rive nord du lac Tchad) écumaient la surface des mares riches en carbonates de sodium, à la recherche de la fameuse algue abondante sur ce lac et la récoltée sous forme d'une purée bleu-vert. Cette purée était ensuite utilisée dans la préparation des galettes appelées «dihé»

(GIRARDIN & ANDREANI, 2005). Compère et Leonard en 1968 constatèrent, en étudiant des échantillons qu'avait ramené Léonard de son expédition, qu'en effet les galettes contenaient essentiellement l'algue bleue *Spirulina platensis*. Peu après, l'Institut Français du pétrole rendirent compte de leurs travaux sur la spiruline. Ces chercheurs ont isolé des souches de spirulines, ils les ont purifiées, puis cultivées et enfin analysées. L'analyse a prouvé que les spirulines, qui en constituent la masse essentielle du «dihé», ont un contenu fabuleux: 50 à 60% de protéines de bonne qualité alimentaire, 6% de graisses et 15 à 20% de sucres, ajouté à cela une multitude de vitamine et une série d'autres molécules rares, fort utiles à une nutrition saine et complète. La valeur alimentaire des spirulines a été clairement établie dès 1976 (DELPEUCH *et al.*, 1975; SAUTIER & TREMOLIERES, 1976). Ces résultats ont dirigé les pas des chercheurs vers Mexico. Tout en effet, dans le dihé, dans sa récolte, dans son utilisation, rappelle le tecuitlatl. Et de fait, le tecuitlatl est en réalité un gâteau de spirulines, extrêmement riches en protéines, appartenant à l'espèce *Spirulina maxima*. Etablie sur un dépôt de bicarbonate de soude, les parties salées des lagunes de Mexico sont des niches écologiques très alcalines où la spiruline prospère, exactement comme elle le fait dans les lagunes du Kanem. Aujourd'hui, il est établi que ceci est vrai pour une série de lacs en Afrique, en Asie subtropicale et tropicale, et en Amérique du Sud.



Figure 2: La culture de la spiruline dans la région du Kanem (Tchad).

I.4.- Eléments de biologie de la spiruline

I.4.1.- Taxonomie

Il existe à ce jour 200 genres et environ 1 500 espèces de cyanobactéries connues ; souvent difficiles à détecter (CRUCHOT, 2008). Parmi elles, existent le genre *Spirulina* ou *Arthrospira*, appartenant à une espèce filamenteuse le plus souvent enroulée en spires d'où son nom commercial dont fait partie une bactérie particulièrement intéressante dénommée *Spirulina platensis* (ou *Arthrospira platensis*) plus connue sous le nom de algue Spiruline (GIRARDIN & ANDREANI, 2005). C'est l'une des plus anciennes formes de vie «photosynthétiques» apparue sur terre, il y a environ trois milliards et demi d'années (SGUERA, 2008), elle est considérée souvent comme une algue planctonique microscopique. La spiruline est la plus connue de toutes d'un point de vue taxonomique, elle appartient à l'ordre des Nostocales, à la famille des Oscillatoriaceae et au genre *Arthrospira*. La terminologie de la Spiruline est assez confuse. La confusion entre les deux noms *Arthrospira* et *Spirulina* est due à la décision d'unifier les deux genres *Arthrospira stizenberger* et *Spirulina turpin* sur la base de leurs trichomes en spirale (GEITLER, 1932). Néanmoins la "vraie" *Spirulina* n'est pas affiliée au genre *Arthrospira* (NELISSEN, 1994). Selon une étude de préféabilité, (SODELAC, 2000). Il existe trois espèces comestibles : *Arthrospira platensis*, *Arthrospira geitleri* ou *maxima*, *Arthrospira fusiformis* ou *jeejibai*. Mais il est à noter que la distinction entre ces différentes espèces reste peu claire en raison d'une grande variabilité morphologique au sein d'une même espèce du genre *Arthrospira*. L'espèce présente au Tchad est très variable et se nomme *Arthrospira platensis*. Les organismes du genre *Arthrospira* se trouvent communément dans des eaux saumâtres, ainsi que dans des lacs salins de régions tropicales et semi-tropicales (CASTENHOLZ *et al.*, 2001). Le mot *Spirulina* est le nom commercial anglophone de la spiruline, mais il désigne également un genre de cyanobactérie assez éloigné de *Arthrospira* et surtout non comestible, par exemple : *Spirulina major*, *Spirulina subtilissima*, *Spirulina princeps*, *Spirulina gigantea* ou *Spirulina subsalsa* (FOX, 1999). *Spirulina subsalsa* se classe parmi les espèces de cyanobactéries potentiellement toxiques puisque une toxine à était révélée présente mais non identifiée (LEVI *et al.*, 2006). Les deux espèces les mieux connues sont *Arthrospira platensis*, originaire d'Afrique et *Arthrospira maxima* originaire d'Amérique centrale.

Tableau 1: Taxonomie récapitulative de *Arthrospira platensis* (FOX, 1999)

Règne	Moneraa ou bacteria
Sous règne	Procaryota
Phylum ou division	Cyanophyta ou cyanobacteria
Classe	Cyanophyceae
Ordre	Oscillatoriales
Famille	Oscillatoriacea
Genre	Arthrospira
Espèce	Arthrospira platensis

I.4.2.- Répartition géographique

On distingue le genre arthrospira des autres cyanobactéries par le milieu naturel dans lequel il se développe, en effet, la micro algue *spirulina platensis* croit naturellement dans les eaux saumâtres, ainsi que dans les lacs salins (pH alcalin) de régions tropicales et semi tropicales (CASTENHOLZ *et al.*, 2001), son caractère thermophile et ses besoins importants en lumière limitent son aire de répartition à une bande intertropicale située entre 35°N et 35°S (CHARPY *et al.*, 2008). La spiruline peut même pousser dans des lacs volcaniques (lac quiliotoa), en équateur), dans les eaux douces et chaudes très minéralisées, riches en carbonate et bicarbonate de sodium c'est pour ça qu'on peut en trouver aussi dans certains déserts à l'endroit de ramassage de l'eau provenant des montagnes (FOX, 1999). Les paramètres biologiques sont souvent difficiles à contrôler : le climat et l'approvisionnement en nutriments peuvent modifier la composition des algues et un milieu spécifique de croissance est souvent la seule façon sûre de réguler la production (TABUTIN *et al.*, 2002).

Elle se développe dans la mer et l'eau douce d'Asie du sud (Inde, Thaïlande), d'Afrique (Tchad, Ethiopie, Tunisie), et d'Amérique latine (Mexique et le Pérou), malgré qu'il s'agit d'un organisme cosmopolite, mais il est beaucoup moins abondant en Amérique du nord et en Europe (CHARPY *et al.*, 2008).

I.4.3.- Caractéristiques structurales de la spiruline

La spiruline est une micro-algue uni ou multicellulaire et filamenteuse, appelée une bactérie grâce à sa structure procaryote qui possède une membrane pluristratifiée de 4 couches. C'est

une cyanobactérie microscopique, sa taille étant de l'ordre du micromètre de 50 à 500 μm de long et 3 à 4 μm de large. Sous microscope optique, des filaments bleu-vert composés de cellules végétatives sont observés ; ces trichomes sont régulièrement enroulés et enveloppés d'une gaine mince formant des constriction. Son nom dérive de ses filaments qui prennent la forme spiralée et hélicoïdale, en latin *spira* signifie enroulement (CRUCHOT,2008). Ces filaments prennent cette forme hélicoïdale uniquement quand l'environnement est favorable (liquide ou milieu de culture) (CHARPY *et al.*,2008) Les vacuoles de gaz font flotter les filaments et leur permettent de se protéger d'un ensoleillement excessif mais aussi d'atteindre les fonds remplis de sels nutritifs. Quand la température est trop élevée, la spiruline passe en état de repos et ne se reproduit plus. Les filaments prennent des formes irrégulières voire linéaires, de couleur habituellement bleu-vert qui devient blanc nacré, qui sont observés sous microscope optique, et composés de cellules végétatives. La spiruline a un goût sucré car les protéines se transforment en sucres polysaccharides sous l'effet de la chaleur.

I-4-4.- Cycle biologique

Le filament de Spiruline à maturité forme des cellules spéciales appelées Nécriides. Elles se différencient des autres cellules par leur aspect biconcave et sont assimilées à des disques de séparation. A partir de ces derniers, le trichome se fragmente pour donner de nouveaux filaments de 2 à 4 cellules appelés Hormogonies. Les Hormogonies vont croître en longueur par division binaire (chacune des cellules va donner deux cellules par scissiparité) et prendre la forme typique hélicoïdale (ZARROUK, 1966).

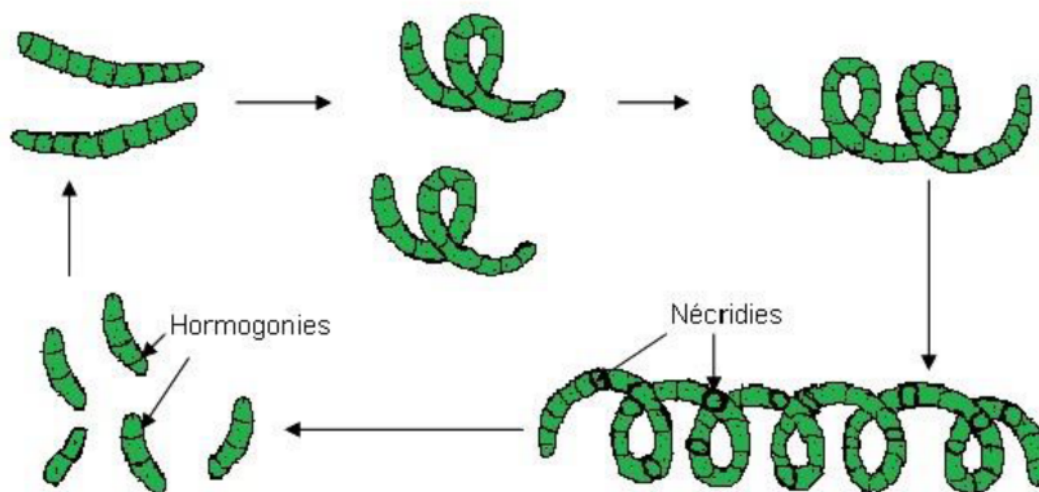


Figure 3 : Cycle biologique de la Spiruline selon (Balloni *et al.* 1980 in Charpy, 2008).

1.4.5.- La reproduction

Son mode de reproduction est la bipartition par scission simple, fission binaire ou multiple, par bourgeonnement ou fragmentation au hasard. C'est une reproduction végétative (asexuée), par segmentation des filaments (KONIG, 2007). Les 3 étapes fondamentales de son cycle de vie sont : - La fragmentation des trichomes, - Elargissement des cellules qui aboutit à la maturation du trichome, - La division du trichome mûr en filaments par fission binaire, ces derniers prennent une forme hélicoïdale (DARGENT, 2009). Sa vitesse de multiplication est particulièrement rapide dès que la température dépasse 30 °C à l'ombre ; lorsque ces conditions sont réunies et que le milieu est favorable, le temps de génération est très court (7 heures) (FOX, 1999). Chez certaines espèces, des cellules spécialisées (akinètes) peuvent résister à la dessiccation puis "germer" lorsque les conditions redeviennent favorables selon les espèces et les conditions environnementales, les temps de doublement des populations varient de quelques heures à plusieurs jours (FALQUET & HURNI, 2008).

I-4-6. Déplacement

La spiruline est capable d'effectuer deux types de déplacement : la motilité et la flottabilité. Le trichome exerce un mouvement oscillatoire, de forme hélicoïdale, en rotation autour du grand axe. La spiruline peut donc évoluer dans l'eau en se vissant ; ce déplacement s'effectue à la vitesse de 5 µm par seconde (DOUMENGE *et al.*, 1993). La spiruline peut également fabriquer des vésicules gazeuses d'environ 70 nm de long et 10 nm de diamètre, faites d'une chaîne de protéines tissées. Ces vésicules ressemblent à des tubes creux cylindriques comportant des capuchons coniques (appuyez tous ça avec une photo ou un schéma !). Elles se trouvent habituellement près des parois terminales des cellules et sont empilées les unes sur les autres. Elles se forment et se remplissent de gaz lorsque la lumière du soleil apparaît : tels des ballons dirigeables, elles permettent au filament de spiruline de remonter en surface pour recevoir la lumière et ainsi commencer la photosynthèse (FOX, 1999). Ces deux méthodes de locomotion permettent à la spiruline de se protéger elle-même contre une overdose mortelle de soleil. Les mouvements de circulation de bas en haut puis de haut en bas lui permettent d'absorber la juste quantité de lumière dont elle a besoin (CRUCHOT, 2008).

I.5. Composition chimiques et formes de la spiruline

I.5.1. Analyse nutritionnelle

Notre corps est un organisme complexe, pour le maintenir en forme, nous devons lui fournir les éléments nutritifs, l'énergie et la vitalité dont il a besoin. Connue comme «un super aliment» la spiruline est l'aliment nutritif le plus riche.

Les méthodes d'investigation analytiques (spectroscopie, chromatographie, ...) ont permis d'identifier et de quantifier l'ensemble des constituants de la Spiruline avec une grande précision. Chacun des éléments composant la Spiruline apporte ses actions propres et l'effet global de l'ensemble s'y ajoute pour donner un effet synergique lié aux différents composés naturels idéals. La raison des fluctuations des différents nutriments de la spiruline est due à plusieurs facteurs : les conditions de culture, la période de récolte, l'origine géographique, le procédé de récolte, de séchage, de broyage, de conditionnement, mais aussi par le taux d'ensoleillement et par le fait que certains industriels supplémentent les milieux de culture afin que la spiruline produite soit plus riche en fer, en zinc ou encore en acides gras.

En général la spiruline est composée de 65% de protéines, 15% de glucides, 6% de lipides, 7% de minéraux et de 3 à 6% d'eau (**Figure 4**). Cette composition est très complète et variée : avec un excellent apport en protéines, une bonne répartition des lipides, des glucides, des vitamines, des minéraux et des oligo-éléments.

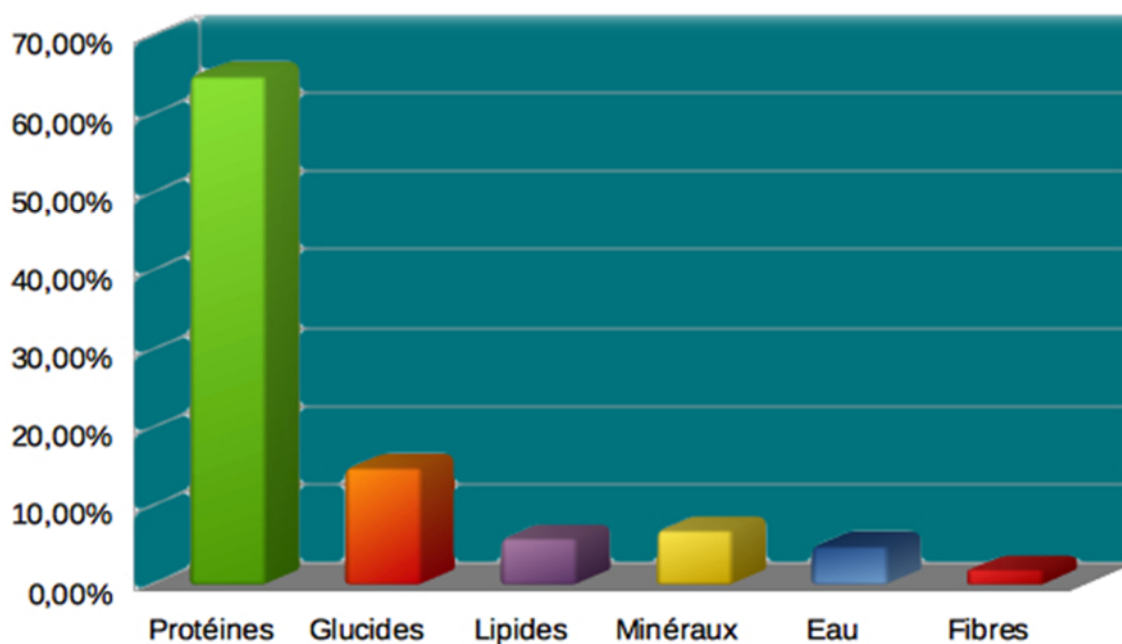


Figure 4 : Composition chimique de la spiruline.

I.5.1.1. Teneurs en éléments organiques

I.5.1.1.1. Les protéines

La teneur en protéines de la spiruline oscille entre 50 et 70% de son poids sec. Ces valeurs sont tout à fait exceptionnelles, même parmi les micro-organismes; d'autre part, les meilleures sources de protéines végétales n'arrivent qu'à la moitié de ces teneurs, la farine de soja par exemple ne contenant que 35% de protéines brutes (**Figure 5**). En termes de rendement en protéines, il faut aussi considérer que la totalité de la spiruline est consommable (contre une petite fraction pour les végétaux habituels) (FALQUE, 2006).

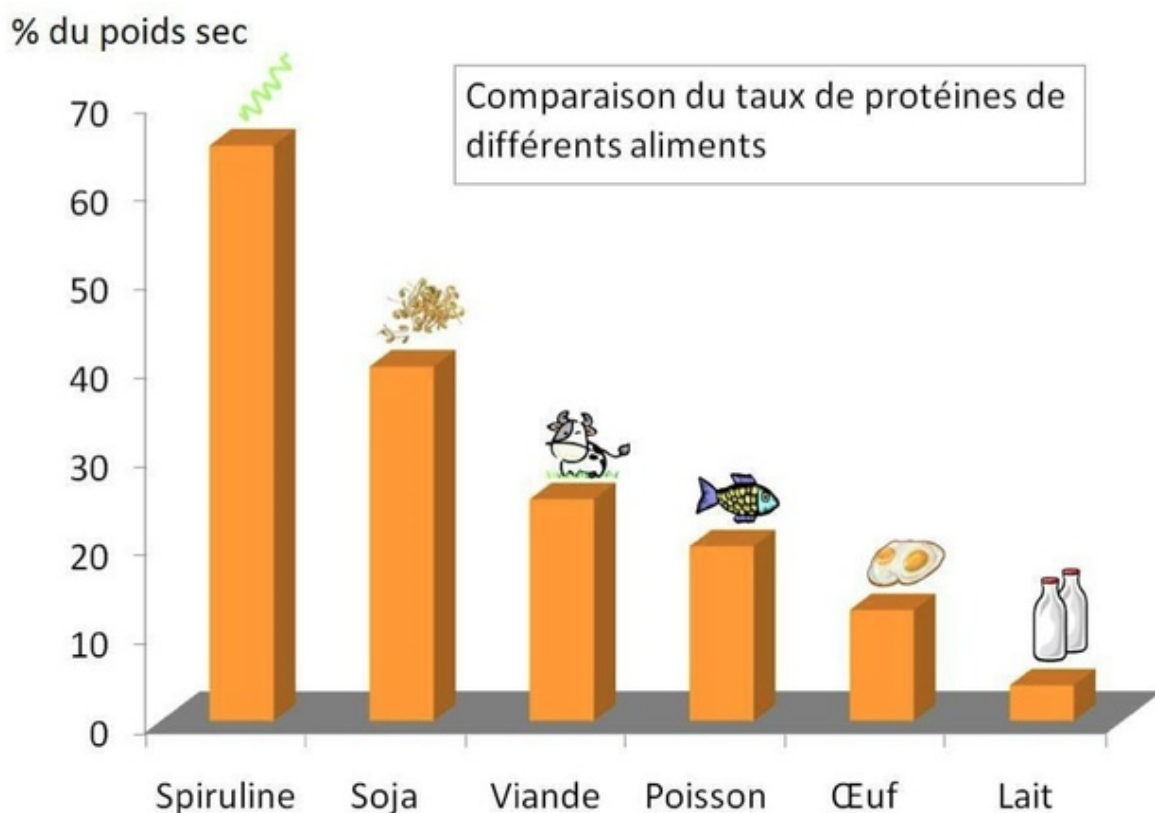


Figure 5: Positionnement de la Spiruline par rapports à d'autres aliments en termes de taux de protéines.

I.5.1.1.2. Acides aminés

Vingt (20) acides aminés sont à la base des protéines, notre corps étant capable d'en fabriquer douze (12), les huit (8) qui restent étant considérés comme essentiels et doivent être apportés

par l'alimentation. La Spiruline les contient en proportions intéressantes et directement assimilables (Figure 6).

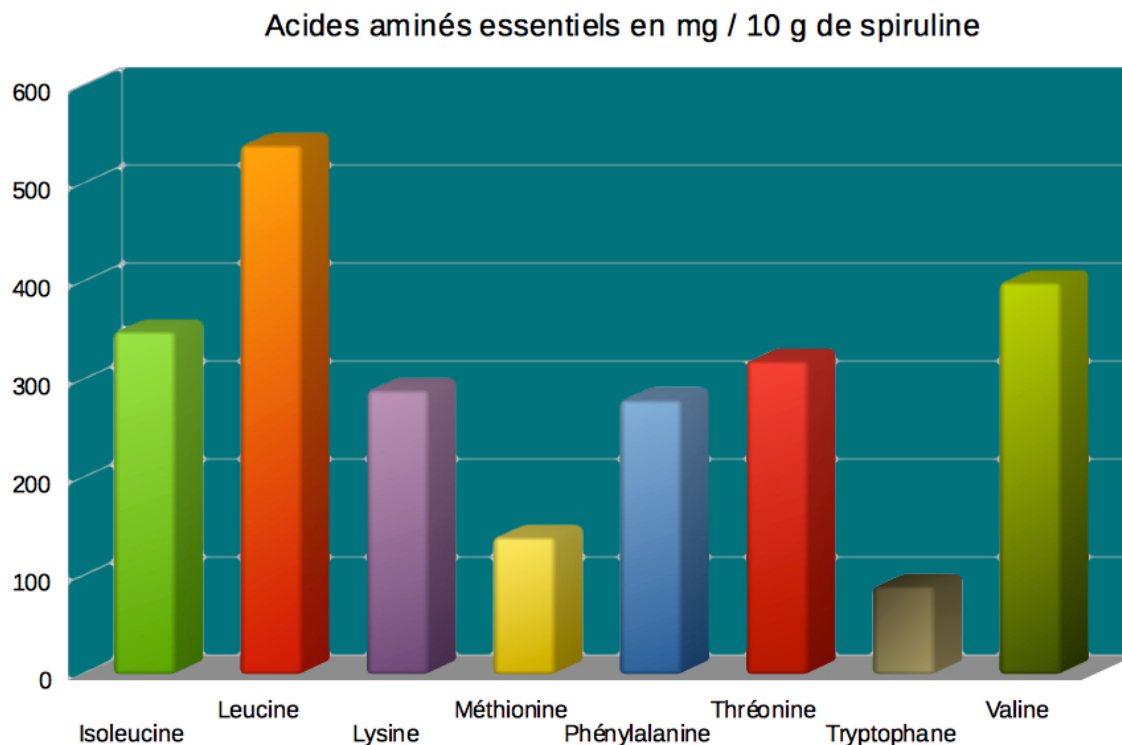


Figure 6: Acides aminés essentiels en mg/10 g de spiruline.

I.5.1.1.3. Les lipides

La composition en lipides totaux se caractérise par un bon équilibre entre acides gras saturés et acides gras polyinsaturés (Tableau 2). La composition des principaux acides gras révèle la présence d'une forte concentration en acides gras essentiels, incluant des oméga-3 et des oméga-6 qui préviendraient l'accumulation de cholestérol (VON DER WIED, 2011). La spiruline est considérée comme l'une des meilleures sources alimentaires connues en acide γ -linoléique, après le lait humain et quelques huiles végétales fraîches peu courantes (CRUCHOT, 2008).

Tableau 2: Teneurs en lipides (mg/kg) de matière sèche de la spiruline (FALQUET, 2006).

	<i>Minimum (%)</i>	<i>Maximum (%)</i>
<i>Lipides totaux</i>	4,9	5,7
	<i>Teneur minimale en mg/kg de matière sèche</i>	<i>Teneur maximale en mg/kg de matière sèche</i>
<i>Acides gras saturés</i>		
Laurique (C12)	180	229
Myristique (C14)	520	644
Palmitique (C16)	16 500	21 141
Stéarique (C18)	Traces	353
<i>Acides gras non saturés</i>		
Palmitoléique (C16)	1 490	2 035
Palmitolinoléique (C16)	1 750	2 565
Heptadécanoïque (C17)	90	142
Oléique (C18)	1 970	3 009
Linoléique (C18)	10 920	13 784
γ linoléique (C18)	8 750	11 970
α Linoléique (C18)	699	700

I.5.1.1.4. Les glucides

Les glucides constituent globalement 15 à 25% de la matière sèche des spirulines. L'essentiel des glucides assimilables est constitué de polymères tels que des glucosannes aminés (1,9% du poids sec) et des rhamnosannes aminés (9,7%) ou encore de glycogène (0,5%). Les glucides simples ne sont présents qu'en très faibles quantités (glucose, fructose et saccharose), on trouve aussi des polyols comme le glycérol, le mannitol et le sorbitol (CIEFFERRI, 1983; FLAQUET, 2006).

I.5.1.1.5. Les éléments minéraux

La spiruline contient tous les minéraux essentiels (7% du poids sec). Selon le pH et la composition du milieu de culture, elle absorbe plus ou moins les minéraux d'où des teneurs variables. Concernant l'atome de fer (Fe), il est 2 à 3 fois mieux assimilé que celui des légumes ou de la viande. En effet, le fer de la spiruline n'est pas à l'état libre mais chélaté à des acides aminés qui vont favoriser son absorption.

La spiruline est naturellement riche en certains minéraux essentiels, d'où son rôle important lors de malnutrition. Les minéraux spécialement intéressants chez la spiruline sont le fer, le magnésium, le calcium, le phosphore et le potassium.

Tableau 3: Composition en minéraux de la Spiruline et doses requises (FALQUET, 2006).

Minéraux	Teneur (mg/kg)	Doses requises (mg/jour)
Calcium (Ca)	1300–14000	1200
Phosphore (P)	6700–9000	1000
Magnésium (Mg)	2000–2900	250–350
Fer	580–1800	18
Zinc	21–40	15
Cuivre	8–10	1,5–3
Chrome	2,8	0,5–2
Manganèse	25–37	5
Sodium	4500	500
Potassium	6400–15400	3500
Selenium	0,01–50*	0,05

I.5.1.1.6. Les vitamines

La Spiruline est une algue vitaminée (**Tableau 4**), elle est la deuxième source de vitamine B1 derrière la levure de bière. Elle contient aussi une concentration relativement élevée de provitamine A, vitamine B 12 et β -carotène (BELAY, 1997, SALL *et al.*, 1999, CRUCHOT, 2008).

Tableau 4: Teneurs en vitamine (mg/kg) de matière sèche de la spiruline (FALQUET, 2006).

<i>Vitamines</i>	<i>Teneur (mg/Kg de matière sèche)</i>	<i>Besoin/jour (mg pour un adulte)</i>
β Carotène (provitamine-A)	1 700	
Thiamine (Vitamine B1)	55	1,5
Riboflavine (Vitamine B2)	40	1,8
Pyridoxine (Vitamine B6)	3	2
Cyanocobalamine (Vitamine B12)	0,4	0,003
Acide ascorbique (Vitamine C)	90	15-30
Tocophérol (Vitamine E)	190	/
Acide nicotinique (PP)	118	/
Acide folique	0,5	0,4
Inositol	350	/
δ-Ca-Panthoténate	11	6-10
Biotine (H)	0,4	0,1-0,3

1.5.1.2. Teneurs en oligo-éléments

Si les teneurs en éléments organiques des spirulines sont bien connues les données sur les éléments minéraux sont limitées (**tableau 3**). Les spirulines sont connues pour concentrer les éléments capables de former des cations. Elles concentrent donc aussi bien les oligoéléments essentiels ou nécessaires pour le corps humain que les éléments toxiques. Une étude a été menée en 2016 pour déterminer les teneurs en éléments majeurs et traces des spirulines originaires de France, Madagascar, Inde, Costa Rica et Equateur (VICAT *et al.*, 2016). Et alors, qu'en est-il de ces travaux !!!

1.5.1.2.1. Teneurs en éléments majeurs

Le contenu en éléments majeurs est variable (**Tableau 5**). Les teneurs en Na, K, P et Mg sont élevées. Les teneurs en Ca et en Fe sont plus faibles et les teneurs en Mn sont très variables. Le Ti n'est pas quantifié sauf dans la spiruline de l'Equateur. L'Al est quantifié dans les spirulines de France et de l'Equateur. Le Si n'est pas quantifié (VICAT *et al.* 2016).

Tableau 5: Teneurs en éléments majeurs (g/kg) des spirulines issues de différentes régions (VICAT *et al.* 2016).

<i>Eléments</i>	France	France	Madagascar	Inde	Costa Rica	Equateur
Si	<0,234	<0,234	<0,234	<0,234	<0,234	<0,234
Al	<0,040	0,122	<0,040	<0,040	<0,040	0,122
Fe	0,410	0,455	0,511	0,462	0,434	0,701
Mn	0081	0,023	0,023	0,008	0,015	0,031
Mg	2,778	3,060	2,460	2,599	2,792	2,864
Ca	0,771	1,264	0,972	1,637	0,758	1,622
Na	12,064	11,567	18,784	14,488	9,384	3,995
K	13,559	15,152	17,408	18,288	18,645	16,121
Ti	< 0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	0,084
P	9,112	8,776	9,593	9,893	11,198	10,720

1.5.1.2.2. Teneurs en éléments toxiques

Les teneurs en éléments toxiques (As, Cd, Hg, Pb) sont faibles (**Tableau 6**) (VICAT *et al.*, 2016). L'As n'est pas quantifié, Cd, Hg et Pb sont, lorsqu'ils sont quantifiés, à des teneurs inférieures aux normes française de qualité (CRUCHOT, 2008).

Tableau 6: Teneurs en éléments toxiques (mg/kg) des spirulines issues de différentes régions (VICAT *et al.*, 2016).

<i>Eléments</i>	France	France	Madagascar	Inde	Costa Rica	Equateur
As	< 2,52	<2,52	<2,52	<2,52	<2,52	<2,52
Cd	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,08
Hg	0,025	<0,010	0,011	0,017	<0,010	<0,010
Pb	<0,54	<0,54	<0,54	<0,54	0,68	0,62

1.5.1.2.3. Teneurs en éléments traces

Les autres éléments traces se trouvent à des teneurs très variables (**Tableau 7**). Tous les échantillons contiennent du Rb, du Sr et du Zn. Tandis que les éléments Ag, Be, Bi, Cs, Ga, Ge, In, Li, Sb, W, Y, Zr se retrouvent à des teneurs inférieures aux limites de détection (VICAT *et al.*, 2016).

Tableau 7: Teneurs en éléments traces (mg/kg) des spirulines de France (SP14, SP15), Madagascar (SP19), Inde (SP21), Costa Rica (SP25) et Equateur (SP26) (VICAT *et al.*, 2016).

	SP14	SP15	SP19	SP21	SP25	SP26
Ag	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Ba	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	15,9	3,68
Be	<0,13	<0,13	<0,13	<0,13	<0,13	<0,13
Bi	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33
Co	0,55	<0,08	0,25	<0,08	<0,08	0,54
Cr	<1,33	<1,33	<1,33	<1,33	<1,33	10,88
Cs	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Cu	169,20	15,96	<0,80	7,981	<0,80	6,43
Ga	<0,24	<0,24	<0,24	<0,24	<0,24	<0,24
Ge	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Hf	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
In	<0,19	<0,19	<0,19	<0,19	<0,19	<0,19
Li	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14
Mo	0,17	<0,15	0,193	<0,15	<0,15	0,52
Nb	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,26
Ni	3,98	<2,15	<2,15	<2,15	<2,15	<2,15
Rb	5,22	2,67	6,79	2,94	4,36	8,38
Sb	<0,19	<0,19	<0,19	<0,19	<0,19	<0,19
Sn	<0,59	<0,59	<0,59	23,16	<0,59	0,98
Sr	1,40	5,67	2,25	14,96	20,28	9,14
Ta	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
Th	<0,01	0,02	0,08	<0,01	<0,01	0,02
U	<0,01	<0,01	0,05	0,11	<0,01	<0,01
V	<0,31	<0,31	<0,31	14,96	<0,31	<0,31
W	<0,13	<0,13	<0,13	<0,13	<0,13	<0,13

1.5.1.2.4. Teneurs en éléments rares

Le contenu en Terres Rares est très faible (**Tableau 8**). Eu, Gd, Tb et Dy sont à des teneurs inférieures aux limites de détection. Ce, Er, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Sm et Yb ont parfois été quantifiés à de très faibles teneurs (VICAT *et al.*, 2016).

Tableau 8 : Teneurs en Terres Rares (mg/kg) des spirulines de France (SP14, SP15), Madagascar (SP19), Inde (SP21), Costa Rica (SP25) et Equateur (SP26) (VICAT *et al.*, 2016).

	SP14	SP15	SP19	SP21	SP25	SP26
La	<0,069	0,085	<0,069	<0,069	<0,069	<0,069
Ce	<0,081	<0,081	<0,081	<0,081	<0,081	0,109
Pr	<0,005	0,020	<0,005	<0,005	<0,005	0,014
Nd	<0,015	0,072	0,017	<0,015	<0,015	0,050
Sm	<0,008	0,012	<0,008	<0,008	<0,008	0,011
Eu	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Gd	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016
Tb	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008
Dy	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Ho	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
Er	<0,003	0,004	0,005	<0,003	<0,003	0,004
Tm	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Yb	<0,003	0,005	0,007	<0,003	<0,003	0,005
Lu	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001

I.5.2. Les différentes formes de la spiruline

Les **super-aliments** ont des effets extraordinaires sur notre santé. Parmi eux, nous retrouvons la spiruline, cette algue complète qui possède d'innombrables qualités grâce à sa très grande valeur nutritionnelle.

On peut trouver la spiruline sous différentes formes : Gélules, comprimés, paillettes, poudre ou liquide. Chacune de ces formes possède ses utilisations, ses avantages et ses inconvénients, tant pour la consommation qu'au niveau de la conservation de ses propriétés et de ses vertus.

I.5.2.1. Spiruline en comprimés

Les comprimés de spiruline sont la forme la plus répandue de cette algue dans le commerce. Et de ce fait c'est aussi la plus commercialisée. Il arrive parfois qu'elle est un peu plus chère que celle en paillettes ou en poudre mais sous cette forme, elle possède un certain nombre d'avantages non négligeables tels que l'absence de goût que certains trouvent désagréable, un mode de conservation et d'administration faciles.

C'est une forme qui a subi des transformations et classée dans la catégorie des compléments alimentaires. Par ailleurs, on observe que les comprimés bénéficient d'une moins bonne qualité nutritionnelle que la poudre ou les paillettes, notamment en raison de ces procédés de fabrication employés.

Certains processus permettent de préserver toutes les valeurs nutritives de la spiruline sans en altérer les qualités.



Figure 7 : La spiruline en comprimés.

I.5.2.2. Spiruline en paillette

La spiruline en paillette est la forme originale de la spiruline et donc la plus pure et naturelle de l'algue verte. Du fait de cette absence de transformation, elle est souvent moins chère que les autres formes du produit et contient la plus grande valeur nutritionnelle qui permet un large éventail d'utilisation en cuisine. En revanche, de par son caractère plus naturel la spiruline en paillette a l'inconvénient de présenter une odeur plus forte que les comprimés ou les gélules et parfois jugée désagréable par les consommateurs.



Figure 8 : Spiruline en paillette.

I.5.2.3. Spiruline en poudre

La spiruline en poudre est issue du broyage des paillettes de spiruline. Elle présente les mêmes avantages, les mêmes propriétés et les mêmes inconvénients que ceux présentés pour les paillettes, puisqu'elle est issue du broyage de ces dernières.



Figure 9: Spiruline en poudre.

I.5.2.4. Spiruline liquide

La spiruline liquide se présente soit sous forme d'ampoule de Phycocyanine (connue comme étant un puissant antioxydant) extrait de la spiruline ou en flacons. Dans les deux cas, la spiruline est mélangée à d'autres ingrédients, l'avantage est ici le conditionnement et la facilité d'administration. La spiruline liquide est présentée souvent comme un élixir et la plupart des revendeurs argumentent sur le fait qu'elle est fraîche et non transformée alors qu'en réalité elle est «extraite à froid» c'est-à-dire séchée comme les comprimés ou la poudre avant d'être réintroduite dans une formule liquide. Ceci exclut l'avantage de la spiruline, de plus l'ajout d'autres nutriments dégradent sa qualité et réduit sa richesse en nutriments au cours du processus de fabrication



Figure 10 : Spiruline liquide.

I.5.2.5. Spiruline en gélules

La spiruline en gélules est un conditionnement facilité de la spiruline en poudre, celle-ci étant enfermée dans une capsule. Cette forme permet de bénéficier des avantages de la spiruline en poudre et des avantages de conditionnement de la spiruline en comprimés.



Figure11 : spiruline en gélules.

I.6- Aspects toxicologiques

Dans les pays dits développés, la spiruline fut approuvée et autorisée à la consommation et la commercialisation pour ces innombrables vertus. Elle est classée GRAS (*Generally Recognized As Safe*) par la *Food and Drug Administration* aux Etats-Unis.

1.6.1. Toxiques minéraux

Dans de nombreux cas les toxines tels que certains métaux lourds (arsenic, plomb, mercure) et le fluor (SANTILLAN, 1974) étaient considérés comme négligeables voire non détectables mais une étude plus approfondie montre que dans le cas de spiruline récoltée en milieu naturel les teneurs en arsenic et surtout en fluorures peuvent être relativement élevées et cela est due

aux compositions géologique des régions concernées (BOUDENE, 1975). néanmoins ces problèmes de toxicité semblent inexistant pour la spiruline cultivée en milieu artificiel puisque les valeurs observées sont en dessous des normes de l’OMS et de la FAO.

Tableau 9: Les moyennes observées des éléments toxiques (FALQUET, 2006)

Eléments	Moyenne
Arsenic	0.06 -2 ppm
Sélénium*	0.01 -0.04 ppm
Cadmium	0.01 - 0.1 ppm
Mercure	0.01 - 0.2 ppm
Plomb	0.6 - 5.1 ppm
Fluor*	112 - 630 ppm

* Le fluor et le sélénium jouent un rôle essentiel dans l'alimentation humaine, toutefois ils présentent des dangers, en cas de surdoses, que les oligo-éléments.

1.6.2. Toxiques organiques

A fin de prévenir et d’étudier les propriétés toxiques des paraffines présentes dans la spiruline, des expériences ont été faites sur le rat et le porc (TULLIEZ, 1975) sur la rétention de l’heptadécane (constituant majeur des paraffines de la spiruline) chez ces animaux recevant de la spiruline comme seule source de protéines. Chez le rat on constatait une accumulation qui se stabilisait vers le quatrième mois, à une valeur finale qui dépend de la teneur en lipides de l’animal. Chez le porc, l’heptadécane semble beaucoup mieux métabolisé et cet hydrocarbure est très faiblement retenu. Compte tenu de ce que l’on connaît de la toxicité des hydrocarbures, aucune toxicité aiguë ou chronique n’est à craindre. (TULLIEZ 1975).

Le dosage Le 3-4-benzopyrène dans la spiruline prouve la présence des hydrocarbures polycycliques aromatiques qui sont de puissant mutagènes et cancérigènes les valeurs observées sont de l’ordre de 2-3 ppb, en dessous de la plupart des légumes courant (CHAMORRO-CEVALLOS, 1980 ; BORIES, 1975).

1.6.3. Cyanotoxines

Certaines cyanobactéries produisent de puissantes toxines agissant sur le système nerveux ou sur le foie. Aucune contamination par de tels microorganismes n'a été mise en évidence dans le cas de spiruline cultivée, ce qui semble lié à son milieu de culture très particulier (FALQUET, 2006).

1.6.4. Résidus de pesticides

L'utilisation des pesticides et herbicides n'est pas nécessaire pour la culture de la spiruline en raison de l'absence quasi-totale de ravageurs ou de parasites mais on ne peut pas exclure d'emblée une contamination provenant de l'eau utilisée pour la culture ou de l'air, sous forme d'aérosols ou de poussière

En ce qui concerne les herbicides, la spiruline reste très fragile et sensible face à la plupart de ces derniers (COHEN, 1997).

Mais aussi intrigant que cela puisse être, la spiruline est capable de dégrader les herbicides de type « RoundUp » (glyphosate) qui agissent sur la synthèse de la chlorophylle : elle les minéralise totalement et en utilise le phosphore ainsi libéré (Trzebiatowska, 2004) cela en plus de l'alcalinité du milieu de culture qui joue un rôle de protection puisqu'elle encourage l'hydrolyse des composés des herbicides.

1.6.5. Réactions allergiques

D'après des études faites aux préalables, la spiruline ne provoque aucune réaction allergique que ce soit pour les consommateurs ou pour les producteurs qui sont en contact de cette dernière.

Selon (YONG, 1997), une activité allergique semble liée à ce produit. Mais après une dizaine de signalements pour réactions allergiques et intoxication alimentaire suite à l'ingestion de compléments alimentaires contenant de la spiruline, l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du travail (ANSES, France) a étudié ces cas et, elle est arrivée à la conclusion suivante "la spiruline est susceptible de contenir divers contaminants". D'une part, des cyanobactéries d'autres genres et leurs toxines ont été mises en évidence dans des lots de spiruline. La présence d'éléments traces métalliques a été aussi mentionnée dans de la spiruline sauvage ou de culture. La présence d'autres espèces bactériennes est également possible", indique l'ANSES dans son avis rendu public le 30 novembre 2017

Afin d'éviter toute déconvenue, l'Agence recommande aux consommateurs de privilégier les circuits d'approvisionnement les mieux contrôlés par les pouvoirs publics (conformité à la réglementation française, traçabilité, identification du fabricant)

1.6.6. Risques de surdoses

La spiruline est un aliment parfaitement naturel très riche en nutriments avec de nombreuses vertus, cependant une surconsommation de cette algue bleu peut provoquer quelques effets indésirables tels que les nausées, des diarrhées ou de maux de tête dans certains cas ou pour certaines pathologies telles que la d'hémochromatose qui une maladie due à un excès de fer dans le sang et qui pourrait ensuite se transformer en intoxication à cause de la quantité importante en fer dans la spiruline ou dans le cas d'insuffisance rénale. La forte quantité de protéines qu'elle contient pourrait fatiguer les reins rapidement. Les reins doivent nettoyer les toxines présentes dans l'organisme. Mais en métabolisant une importante quantité de protéines, ils génèrent d'importants déchets et toxines dans le sang. Mais actuellement aucune étude scientifique sérieuse ne montre un danger à la consommation de la spiruline de façon raisonnable ; donc en respectant les doses recommandées la spiruline ne représente aucun danger.

I.7. Condition de culture de la spiruline

I.7.1. Bassin

Avant la construction des bassins il faut respecter quelques règles pas toujours évidentes mais qui sont primordiales pour un bon rendement de production. Pour la mettre en place et en assurer le suivi, il faut avoir fait le bon choix du site et des matériaux de construction,

Le choix du site doit tenir compte :

- Du climat : l'exposition au soleil pour un maximum d'intensité lumineuse, la température (au-dessous de 20 °C, la croissance est stoppée).
- De l'accès à l'eau (cours d'eau, fleuves, puits, mer).
- De la possibilité d'acheter les intrants.

Un terrain plat facilitera le travail de même que la proximité de l'eau etc. (CHARPY *et al.*, 2008).



Figure12 : Bassin de culture de spiruline.

I.7.1.1. Constructions des bassins de culture

Il ya plusieurs façons pour construire un bassin de culture adéquat et cela selon les conditions locales.

Le bassin ne doit pas comporter d'angles vifs, mais des formes arrondies (au moins aux extrémités dans le cas de bassins rectangulaires). Le fond doit être aussi plan que possible, avec une très légère pente vers un endroit plus creux d'accès facile (pour faciliter la vidange). Les bords du bassin doivent être au-dessus du niveau du terrain, pour réduire l'entrée des poussières et des animaux, et au moins 20 à 40 cm au-dessus du fond : mieux vaut prévoir une profondeur assez forte, pour encaisser les pluies, faciliter les transferts entre bassins et l'autoépuration biologique du milieu de culture. Les bassins, surtout les plus profonds, doivent faire l'objet de précautions pour éviter l'accès des petits enfants. Il faut aussi faire en sorte qu'on ne puisse pas confondre les bassins avec un dépotoir, mésaventure qui est malheureusement arrivée dans plusieurs pays.

I.7.1 .2 Couverture du bassin de culture

Il est en fait souvent utile, voire nécessaire, d'installer une serre ou au moins un toit sur le bassin, permettant de le protéger contre les excès de pluie, de soleil ou de froid, et contre les chutes de feuilles, fientes d'oiseaux, vents de sable et débris divers, tout en lui permettant de "respirer". Le toit peut être en toile de tente blanche ou en tissu polyamide enduit PVC blanc laissant passer une partie de la lumière mais capable d'arrêter suffisamment la pluie. Il peut aussi être en plastique translucide : film de polyéthylène traité anti-U.V. utilisé pour la construction des serres horticoles, ou plaques en polycarbonate ou fibre de verre-polyester. Si le toit est opaque, il faut le mettre suffisamment haut pour que le bassin reçoive assez de lumière par les bords. Le toit est parfois complété par une moustiquaire sur les bords et/ou les côtés. Si la pluie est tolérable, le toit peut être remplacé par un simple ombrage (filet ombrière, canisse, feuilles de palmier tressées). Le toit peut être flottant si le bassin est trop large pour qu'on puisse construire une structure fixe pour le supporter.



Figure 13 : Couverture des bassins de culture à l'aide d'une serre.

I.7.1.3. Nombre et surface du bassin

Mieux vaut construire deux ou plusieurs petits bassins qu'un seul grand : ainsi on pourra en vider un (pour le nettoyer ou le réparer par exemple) sans perdre son contenu, et si une des cultures se contamine, l'autre permettra de continuer et de réensemencer. Il peut être aussi pratique de puiser dans un bassin pour filtrer sur un autre. Un bassin de service est par ailleurs utile pour préparer les milieux de culture et effectuer des transvasements, ou pour évaporer des purges en vue de recycler les sels, ou encore pour épurer du milieu de culture, mais il n'est pas absolument nécessaire.

Un m² de bassin couvre le besoin en spiruline de 5 personnes approximativement. Le coût d'investissement au m² décroît quand on augmente la surface unitaire et le rapport surface/périmètre des bassins. Par contre des bassins étroits (largeur inférieure à 3 m) sont plus faciles à agiter et à couvrir. Une surface unitaire de 5 à 20 m² paraît pratique au niveau familial ou pour un dispensaire (selon la dose journalière de spiruline, et selon la productivité des bassins). Pour une production artisanale la surface totale des bassins ne dépassera guère 50 à 100 m², mais un niveau "semi-artisanal" est envisageable, pouvant dépasser 1000 m²

I.7.1.4. Agitation du bassin

L'agitation est nécessaire pour homogénéiser, favoriser l'élimination de l'oxygène et assurer une bonne répartition de l'éclairage parmi toute la masse des spirulines. Sauf en cas de soleil très fort, on peut se contenter d'agitations plus ou moins fréquentes (quelques minutes toutes les heures, au moins 4 fois par jour), manuelles avec un balai ou une rame, ou par pompes n'endommageant pas le produit (pompes à hélice, vis, palettes, diaphragme ou vortex). Une pompe d'aquarium à entraînement magnétique de 800 l/h, 8 Watt, fonctionnant 15 minutes par heure ou par demi-heure (programmateur à horloge), suffit pour agiter 5 à 10 m² de bassin si elle est bien positionnée et, si les bords du bassin sont réguliers et ses angles arrondis. Une chicane médiane peut faciliter la circulation, mais il faut en général la compléter par des chicanes d'angles redirigeant les flux des bords vers le centre, ce qui complique l'installation : dans un petit bassin de dimensions bien choisies la chicane centrale est totalement inutile. L'installation d'une chicane médiane dans les bassins en bêche plastique (recouvrant la chicane) pose le problème des plis qu'il faut éviter au maximum. Ce problème est minimisé si la chicane est de faible hauteur (20 cm) et ses extrémités arrondies. Mais certains préfèrent des chicanes (en bois par exemple) posées par-dessus la bêche ; dans ce cas il faut veiller à minimiser le by-pass sous la chicane. On améliore l'efficacité des pompes en faisant passer

leur jet dans un tube «Venturi», mais cela complique l'installation et n'est recommandé qu'en cas d'alimentation photovoltaïque. Mieux vaut une agitation discontinue énergique que continue mais faible. Même une agitation énergique sera plus efficace si elle est intermittente car à chaque redémarrage il se produit un brassage, alors qu'en continu la masse d'eau a tendance à se déplacer d'un bloc (sauf si des chicanes sont installées en travers du courant). C'est une bonne pratique d'agiter au balai le bassin au moins une fois par jour, surtout s'il est assez profond.

Les grands bassins industriels, très longs, sont toujours munis d'une chicane médiane et agités par roue à aubes. Leur surface unitaire maximum est de 5000 m². Un mode d'agitation nouveau a été proposé récemment (HALDEMANN, 2010): la cloche à air comprimé. Il s'applique bien aux petits bassins assez profonds, de préférence ronds. Il consiste à faire arriver un débit d'air comprimé (d'un compresseur d'aquarium) sous une cloche lourde posée au fond du bassin (un plat en Pyrex fait bien l'affaire) : la cloche se soulève d'un côté, à intervalles réguliers, en produisant une grosse bulle d'air ; en retombant la cloche provoque une certaine circulation du liquide. Un avantage important de ce mode d'agitation est l'absence de fils électriques. Dans la pratique ce mode d'agitation est limité aux bassines ou petits bassins mais peut rendre de vrais services.



Figure 14: Système d'agitation d'un bassin par roue à aubes.



Figure 15: L'homme est en train d'agiter le milieu de culture à l'aide d'un balai **TECHNAP CREDESA, 2001.**

I.7.1.5. Containers, bassines, graines

Il arrive que l'on utilise comme petits bassins des récipients translucides containers à jus de fruits (il en existe de 1000 litres). Il faut savoir que la vitesse de photosynthèse paraîtra plus rapide dans de tels récipients parce que le milieu de culture y reçoit la lumière de plusieurs côtés et s'échauffe aussi plus vite. Cela peut être avantageux, mais il faut surveiller la température et le pH de plus près que dans les bassins ordinaires. L'agitation dans de tels récipients se fait de préférence par air comprimé (compresseur d'aquarium). Il s'agit là en fait de variantes de "photobioréacteurs" à grand rapport surface/volume.

I.7.1.6. Réparation des films plastiques

Il est possible de réparer de petits trous dans les films : nettoyer et sécher une zone autour du trou puis y coller un produit mou et collant (de qualité alimentaire) vendu à cet effet, ressemblant à du chewing gum. Le PVC peut aussi être réparé par rustines collées ou soudées, ou par une bande adhésive résistant à l'eau. Certaines bandes adhésives s'appliquent aussi aux films de polyéthylène.

I.7.2. Influence du climat

Les paramètres fondamentaux qui constituent le climat sont les températures et la pluviométrie, cependant, il ne faut surtout pas négliger les vents dominants qui peuvent provoquer l'évaporation d'un bassin de culture ou la "pollution" de ce bassin par tous les débris et les poussières qu'il peut entraîner.

Il est aussi important d'évaluer certains éléments comme les haies, la présence de barres rocheuses, de forêts, etc et leur conséquences sur le sur le microclimat avant l'implantation d'un bassin.

I.7.2.1. La température

La température du milieu influence directement la vitesse de croissance de la spiruline : bien que cette dernière est assez résistante au froid (jusqu'à 3°C à 5°C), elle ne commence à croître d'une manière appréciable qu'à des températures supérieures à 20°C jusqu'à une vitesse de croissance maximale vers 35°C à 37°C (même que pour l'homme : température idéale pour pousser). La température du milieu de culture doit donc se situer entre ces deux températures. Au-delà de 44°C peut être létale au bout de quelques heures. (JOURDAN, 2006). Plus la

saison est longue, plus la période de récolte est longue. Les climats continentaux ou d'altitude sont désavantagés.

La construction de bassins sous serre est une solution pour contrôler non seulement la température mais aussi contre les insectes, les poussières, les pluies diluviennes qui peuvent provoquer une dilution du milieu de culture.

I.7.2.2. La pluviométrie

La conduite de bassins de culture nécessite un minimum de ressources en eau. Les eaux de pluie sont intéressantes car elles sont propres et minéralement neutres. La teneur en eau du milieu doit impérativement être constante. Le manque ou l'excès d'eau sont néfastes. Sous les climats à faible pluviométrie, ou à saison sèche longue, il est donc nécessaire de prévoir une citerne pour stocker de l'eau de pluie, laquelle sert à compenser l'évaporation des bassins. À l'inverse, dans les régions à fortes précipitations, la présence d'une couverture translucide au-dessus des bassins doit permettre d'éviter une dilution du milieu de culture (CRUCHOT, 2008). Là encore, il faut un "juste milieu". La carence en eau de pluie peut être compensée par l'utilisation d'eaux de provenances diverses, et plus ou moins "chargées" (rivière ou fleuve, nappe phréatique, eaux usées...). Il faudra alors tenir compte de la qualité de l'eau dans la mise au point, puis l'entretien du milieu de culture (JOURDAN, 2011).

1.7.2.3. Climat idéal :

Il existe des climats idéaux où il ne fait jamais froid et où les pluies sont harmonieusement réparties et compensent l'évaporation. Un autre type de climat idéal est le désert au pied de montagnes qui assurent un large approvisionnement en eau, comme par exemple le désert d'Atacama au Chili. L'eau consommée par un bassin sert surtout à maintenir la culture en dessous de 40 °C, par évaporation. Dans un climat désertique sans eau, la culture deviendrait impossible (sauf si l'eau est importée), alors que dans un climat frais la culture sous serre est facile avec une faible consommation d'eau (JOURDA, 2011).

1.7.2.4. Saisonnalité :

Dans les régions tempérées, l'hiver est généralement trop froid pour cultiver la spiruline, sauf avec chauffage et éclairage artificiels trop coûteux. Même dans des régions chaudes un arrêt annuel peut être rendu nécessaire par l'importance des pluies ou de la sécheresse ou par les vents de sable durant certaines saisons. La culture de spiruline sera donc souvent saisonnière.

Durant la mauvaise saison, une "souche" de spiruline devra impérativement être conservée dans son milieu de culture. Les contenants (bocaux, bonbonnes, bassines) devront laisser passer la lumière et être stockés dans un lieu clair mais à l'ombre, ou être sous éclairage électrique. Même si les cultures de spiruline survivent à des températures inférieures à 10 °C, voire à de brèves gelées, il est prudent de ne pas les stocker au-dessous de 18 °C pendant de longues périodes, car les risques de contamination augmentent. Le fait que la spiruline prospère en milieu très alcalin présente deux avantages majeurs : - meilleure absorption du gaz carbonique de l'air - protection contre les contaminations. Cette protection a été involontairement démontrée au printemps 1997. Il y avait côte à côte deux bassins de spiruline de 10 m², l'un à l'air libre, l'autre protégé de la pluie. Le bassin non protégé ayant débordé a été vidangé et s'est rempli d'eau de pluie, laquelle a été colonisée par des algues vertes unicellulaires (chlamydomonas) et nombre d'animaux (vers rouges, larves de moustiques, insectes nageurs). L'autre bassin a gardé ses spirulines sans contamination. Cependant il ne faut pas croire que seule la spiruline peut croître dans son milieu de culture : d'autres algues, des microorganismes et des animaux peuvent y vivre, d'où nécessité de surveiller les cultures du point de vue contaminants, surtout aux changements de saisons (JOURDAN, 2011).

I.7.3. Tolérances aux facteurs du milieu :

I.7.3.1. Lumière :

Les micro-algues sont des organismes réalisant la photosynthèse qui épuisent de l'énergie à partir de la lumière, la période et la durée d'ensoleillement seront donc déterminantes. Sa culture est favorisée dans les régions les plus ensoleillées.

Une très forte lumière (plein soleil) peut être dangereuse dans les cas suivants :

- une brusque illumination d'une culture froide (< 14 °C),
- une culture très chaude, (réchauffement), peut provoquer la mort de cet organisme.
- une culture très diluée

On réduit volontairement la luminosité par ombrage si l'on désire freiner la croissance de la spiruline, ou si l'on se trouve dans l'un des trois cas précédents. (JOURDAN, 2006).

I.7.3.2. pH :

Le pH optimum d'un milieu de culture neuf à confectionner dépend de son utilisation.

S'il doit être inséminé pour démarrer une nouvelle culture, son pH doit être d'au moins 9 : s'il est trop bas la culture risque de mal démarrer, avec formation de grumeaux ou précipitation de la spiruline au fond (FOX, 1999). Par contre si le milieu neuf doit servir d'appoint à une culture existante, son pH peut être de 8, ce qui contribue à maintenir le pH de la culture suffisamment bas par un apport de bicarbonate.

I.7.3.3. Salinité :

La spiruline peut être considérée comme une espèce à la fois halophile et très euryhaline, en milieu naturel les salinités tolérées vont de 8 PSU à 270PSU (BEADLE, 1943). Les limites de la salinité et de l'alcalinité permises sont assez larges, 13 g/litres pour la salinité et une alcalinité de 0,1 molécule-gramme/litre. (JOURDAN, 2006)

I.8. Récolte

Il est conseillé de faire la récolte le matin et cela pour différentes raisons :

La teneur de la spiruline en protéine est généralement plus élevée le matin que le soir, nécessité de mettre la récolte à sécher dès que possible (surtout en cas de séchage solaire). Par temps couvert cette obligation de récolte tôt le matin est évidemment moins impérieuse, et par beau temps on peut toujours ombrer le filtre. Quel que soit le temps, si l'on opère en plein air, il faut couvrir le filtre pour éviter que la biomasse récoltée ne se dégrade et ne se salisse (JOURDAN, 2006).

I.8.1. Filtration

La récolte consiste à filtrer une partie de la culture sur une toile fine (maille 25 à 50 μ), en recyclant le filtrat dans le bassin, directement ou à travers un système de purification (filtre à sable, décantation, oxydation biologique). La culture est envoyée au filtre à travers un tamis de maille 300 μ destiné à intercepter les corps étrangers tels qu'insectes, larves, feuilles, boues ou grumeaux de spirulines. Un tamis de maille plus fine peut être nécessaire pour arrêter d'éventuels rotifères. Après arrêt de l'envoi de culture sur le filtre, on laisse égoutter, puis on rassemble la pâte verte obtenue, dite "biomasse". La biomasse de spirulines contenant moins de 75% de spirulines droites et provenant d'une culture en bon état, de pH et teneur en ammonium pas trop élevés, se filtre facilement et s'essore facilement par pressage. Une toile

de filtre en monofilaments polyamide (Nylon) ou polyester (Tergal) est préférable à une toile en coton parce qu'elle facilite le décollage de la biomasse récoltée et se lave ensuite plus facilement (JOURDAN, 2006)



Figure 16 : Filtration de la spiruline.

1.8.2. Lavage et Essorage (pressage)

D'une manière générale il est recommandé de ne laver la biomasse que si :

- on doit récolter une culture sale ou malodorante,
- ou trop riche en nitrates,
- si l'essorage est impossible,
- ou pour produire de la biomasse pour régimes sans sel à consommer fraîche.

Si certaines spirulines supportent le lavage à l'eau douce, d'autres se décolorent ou éclatent à son contact et ne peuvent être lavées qu'à l'eau salée ou avec du milieu de culture neuf à la même salinité (ou plus exactement à la même force ionique) que le bassin récolté. En effet les spirulines mises en contact avec un milieu de salinité différente de leur milieu d'origine réagissent quasi instantanément en absorbant ou perdant de l'eau pour se mettre en équilibre

osmotique avec le milieu, ce qui peut faire éclater leur paroi. Les ondulées (Paracas) résistent mieux à l'éclatement que les spiralées (Lonar). Le lavage risque aussi de causer des contaminations microbiennes. Il faut noter aussi que la spiruline lavée à l'eau douce est très fade au goût (JOURDAN, 2006). L'essorage peut se pratiquer avec uneessoreuse ou sur filtre à vide (trompe à eau ou pompe à vide), mais plus simplement par pression de la manière suivante : la biomasse égouttée est placée dans une toile du même type que celle utilisée pour la filtration, et elle est pressée entre deux nattes ou planches rainurées : la majeure partie de l'eau libre est exprimée par la pression (0,2 kg/cm² suffit mais on peut monter à 1 kg/cm²). L'essorage/pressage doit se faire rapidement et il faut surtout éviter que la biomasse souffre de la chaleur en attendant. Le pressage dure au moins 15 minutes, car il faut du temps au liquide pour cheminer à travers les très fins interstices ou capillaires entre les spirulines comprimées. La biomasse essorée ou pressée doit être refroidie le plus tôt possible pour qu'elle ne s'abîme pas. Même si elle doit être séchée, on a intérêt à la mettre au frigo en attendant l'extrusion, sinon des odeurs désagréables peuvent se dégager lors de l'extrusion (JOURDAN, 2006).

1.8.3. Extrusion et Séchage

Le séchage est le seul moyen sûr de conserver et de distribuer la spiruline sans chaîne de froid. Dans l'industrie, la spiruline est classiquement séchée par « atomisation » (spray-drying), dans un courant de gaz de combustion à très haute température mais pendant un temps très court (c'est en fait le jus de spiruline broyée que l'on sèche). Dans la production artisanale, au contraire, ce sont les filaments de spiruline entiers que l'on sèche : le temps de séchage est plus long, mais l'intérieur des cellules n'est pas soumis au contact direct avec des gaz chauds. Si la spiruline pressée ne peut être séchée de suite, il faut la conserver en récipient fermé au réfrigérateur bien froid et pas trop longtemps (sinon elle dégage une odeur désagréable lors de l'extrusion). La biomasse lavée ne peut se conserver, même au réfrigérateur (sauf si elle a été lavée avec de l'eau salée isotonique), à l'exception des souches Paracas qui supportent bien le lavage à l'eau douce (JOURDAN, 2006).

- Extrusion

Le séchage doit être suffisamment rapide pour que le produit sèche sans fermenter. La biomasse issue du pressage est d'abord répartie par extrusion en "spaghetti" sur un plateau, si la biomasse est trop fluide, on l'étale en couche mince sur un film de polyéthylène (méthode "Indienne"). La biomasse est séchée au soleil ou dans un courant d'air à faible humidité relative et forte capacité d'absorption d'eau (séchoir solaire indirect, ou électrique, ou à gaz,

ou déshumidificateur), jusqu'à ce qu'elle ne soit plus molle du tout, dans ce cas elle se détache facilement du support, et se broie facilement. L'extrusion en spaghetti peut se faire à l'aide d'un décorateur de gâteau ou avec un instrument de cuisine courant ou à l'aide d'une boîte à fond percé de petits trous et d'un piston, ou à l'aide d'un pistolet à colle silicone modifié (bouchon PVC de 50 mm percé de trous de 2 mm), ou avec un poussoir à saucisses, etc. (JOURDAN, 2006).



Figure 17 : extrusion de la biomasse en "spaghetti" sur un plateau.

- Séchage

On peut sécher à l'ombre simplement dans un courant d'air à température ambiante, sous moustiquaire (il suffit que l'air soit à température nettement supérieure à son point de rosée). On peut sécher facilement la spiruline dans une armoire métallique munie d'un déshumidificateur et d'un ventilateur recyclant l'air à travers les plateaux de séchage. Le déshumidificateur doit être capable d'abaisser l'humidité relative de l'air à 30%. Le séchage au plein soleil en plein air est le plus rapide et le moins coûteux, mais il a des inconvénients : le produit est exposé aux poussières et aux animaux, et il risque de bleuir en surface par destruction de la chlorophylle par les ultra-violets (JOURDAN, 2006).

Le temps de séchage varie selon :

- l'épaisseur de la biomasse fraîche sur chaque plateau,
- le nombre de plateaux superposés,
- le % de sec dans la biomasse,
- la souche (les spiralées sèchent un peu plus vite),
- la température et l'humidité de l'air,
- le débit d'air.

Dans la pratique, en général, le séchage se déroule en 4 heures, mais il est possible de sécher le substrat pendant une heure. Une biomasse de bonne qualité, pressée et bien ferme, sèche sans que les cylindres des spaghettis ne se déforment : ils restent cylindriques, mais évidemment de diamètre réduit (rétréci) (JOURDAN, 2006). Le séchage peut se faire en deux stades, surtout lorsque l'air est humide :

a) un séchage à basse température (40-50 °C) mais à gros débit d'air (vitesse d'air de 1 m/s) autorisant une charge élevée de biomasse.

b) un séchage à débit d'air faible mais à plus haute température (65-80 °C), assurant à la fois une certaine pasteurisation et l'extraction de l'eau jusqu'à 4% d'eau en une heure (ou même beaucoup moins) (JOURDAN, 2006).



Figure 18 : Le séchage de la biomasse.

1.8.4. Broyage

La spiruline bien séchée est craquante, se détache toute seule du support de séchage et se laisse facilement piler ou broyer au moulin à café en une poudre plus ou moins fine selon le

goût de chacun. La spiruline doit contenir moins de 9% d'eau pour bien se conserver (JOURDAN, 2006).



Figure 19 : Le broyage de la spiruline séchée.

1.8.5. Conditionnement

La spiruline sèche peut se conserver longtemps sans perdre trop de ses qualités à condition d'être stockée en sachets bien remplis et étanches, à l'abri de la lumière, de l'air, et des fortes chaleurs. Des sachets en plastique aluminisés multicouches, thermoscellables, conviennent très bien, il est préférable de faire le vide dans les sachets, dans ce cas le produit peut se conserver 5 ans. Si l'on ne peut pas sceller sous vide, l'absorption de l'oxygène restant dans le sachet convenablement scellé provoquera souvent sa mise en "sous vide" spontanée en quelques jours (JOURDAN, 2006).

I.9. Différents secteurs d'activités utilisant la spiruline

Le marché de la spiruline se développe avec une utilisation chez l'homme, chez l'animal, et sous forme d'extrait comme la phycocyanine.

I.9.1. Dans la Santé humaine

La spiruline destinée à l'alimentation humaine a été autorisée à la vente depuis de nombreuses années dans les pays industrialisés. Les qualités nutritionnelles exceptionnelles de la spiruline en font d'elle un complément alimentaire particulièrement « bénéfique pour la santé

humaine », la spiruline attire de plus en plus l'attention des scientifiques, elle est vendue dans le secteur des produits dits « Bio ».

Diverses utilisations sont proposées par les négociants, avec des arguments basés sur la composition de cet organisme et les études sur les activités de ses composants. Nous présentons ci-dessous certaines utilisations, sans pouvoir juger de leur efficacité. La spiruline n'est pas un médicament donc pas soumise à l'obligation de test d'efficacité (CHARPY *et al.*, 2008).

La spiruline est vendue pour :

- ✓ une alimentation équilibrée : par ses apports en micronutriments ;
- ✓ Dans les régimes amaigrissant : pour ses taux importants en protéines et en phénylalanine, qui réguleraient l'appétit ;
- ✓ une alimentation des sportifs : par ses teneurs en fer, en vitamines B12, et en β carotène qui faciliteraient la récupération ;
- ✓ lutter contre l'asthénie par son apport en oligoéléments et vitamines ;
- ✓ ses effets sur la sénescence : par les propriétés antioxydantes du β carotène de la phycocyanine et de la vitamine E, elle serait un frein au vieillissement des cellules ;
- ✓ son activité antioxydante liée à la phycocyanine ;
- ✓ son activité anti coagulante liée au Spirulane (Sp-Ca) et au spirulane sodique (Sp-Na) ;
- ✓ renforcer le système immunitaire grâce aux polysaccharides ;
- ✓ son activité antivirale : liée au sulfoquinovosyldiacylglycerol riche en sulfolipides ;
- ✓ sa activité antitumorale à la phycocyanine ;
- ✓ sa capacité à diminuer le cholestérol grâce aux acides gras polyinsaturés oméga-3 et oméga-6 ;
- ✓ une diminution du diabète chez l'homme (PARIKH *et al.*, 2001) ;
- ✓ une activité anti-inflammatoire sur les articulations (REMIREZ *et al.*, 2002)
- ✓ une hépato protection ; un effet possible de la molécule Spirulane sodique dans la prévention de l'athérosclérose (YAMAMOTO *et al.*, 2006) ;
- ✓ En médecine dans la recherche génétique : la spiruline contient beaucoup d'enzymes dont trois endonucléases de restriction ont été découvertes. Elles agissent comme des ciseaux pour couper l'ADN des microbes envahisseurs. Ces enzymes sont utilisées

dans des expériences de recombinaison génétique *in vitro* pour introduire des séquences d'ADN d'origine diverses dans des plasmides (CRUCHOT,2008)

I.9.2. Dans l'agroalimentaire

Elle est utilisée comme colorant naturel (la phycocyanine est l'un des rares pigments naturels de couleur bleue) dans les chewing-gums, sorbets, sucreries, produits laitiers, boissons non alcoolisées. Toute fois de nombreux autres pigments sont également retrouvés dans la spiruline comme la chlorophylle ou les caroténoïdes. Elle apparaît également dans une gamme de produits algaux mélangée à des sels, des tagliatelles ...etc. En Suisse et au Japon, il existe depuis longtemps du pain à la spiruline (CHARPY *et al* .,2008).

L'oxydation des lipides représente un problème majeur pour certaines industries telle que l'industrie des corps gras, elle entraîne une baisse de la qualité et la diminution des temps de conservation des produits alimentaires qui induit leur détérioration (PENCHEV, 2010)

Maîtriser l'oxydation est indispensable en particulier dans le cas des aliments dont la

Dégradation peut avoir des conséquences en sécurité alimentaire (MARC *et al*., 2004).

La conséquence la plus perceptible de celle-ci est l'apparition d'odeurs désagréables. Ces odeurs conduisent souvent au rejet du produit par le consommateur (HIMED & BARKAT, 2013). Ainsi, l'addition des antioxydants est une solution pour protéger de tels produits de l'oxydation.

Les antioxydants synthétiques sont utilisés depuis de nombreuses années. Cependant, beaucoup d'études ont porté sur leur toxicité élevée.

Le besoin de réduire leur utilisation impose d'orienter le marché vers des antioxydants d'origine naturelle et stimule la recherche dans ce domaine. Plusieurs antioxydants naturels ont été proposés pour servir d'additifs alimentaires. Ces antioxydants posent le problème de leur efficacité, leur utilisation dans les formulations doit apporter une valeur ajoutée aux aliments sans être préjudiciable à la santé humaine (PENCHEV, 2010). Les antioxydants contenus dans les Cyanobactéries, genre *Spirulina platensis* pourront être une bonne alternative (SGUERA, 2008).

I.9.3. Dans le cosmétique

Elle est utilisée dans les masques cryogéniques et crèmes anti-âge ,par son action sur le renouvellement cellulaire et la tonicité des tissus (SPOLAORE *et al.*,2006).Elle est aussi utilisée pour la variété de couleurs qu'elle peut donner lors de son mélange avec d'autres composés (HENRIKSON, 2007).Son usage en complément d'une alimentation équilibrée, rend la peau plus nette et fraîche ,les cheveux retrouvent vigueur et brillance ,tandis que les angles fortifiés se cassent moins facilement (ALGOSOPHETTE, 2007).

Sa richesse en acide linoléique exerce une action thérapeutique importante sur le derme : atténuation de certains phénomènes inflammatoires et amélioration de la quantité des cicatrisations cutanées (CRUCHOT, 2008).



Figure 20: Crème pour visage à base de spiruline.



Figure 21 : Savon a base de spiruline.



Figure 22: Savon de MARSEILLE à la spiruline.



Figure 23: Savon liquide à la Spiruline.

I.9.4. Dans l'aérospatiale

L'agence spatiale européenne (ESA) s'est intéressée à la spiruline dans le cadre de son programme MELISSA (Micro-ecological Life Support System Alternative). Ce projet, prévoit d'utiliser dans l'espace un écosystème artificiel fermé composé de plantes supérieures et de micro-organismes, en vue des voyages de longues distances (Terre-Mars par exemple). Depuis 1989, ce programme implique à présent une dizaine d'équipes dans toute l'Europe et au Canada (CHARPY *et al.*, 2008).

I.9.5. Autres utilisations

Le groupe des cyanobactéries produit une variété de métabolites secondaires dans leur milieu de culture (HARRIGAN & GOETZ, 2002). Beaucoup de ces produits naturels ont des activités antibiotiques, algicide, antiviral, fongicide (HARRIGAN *et al.*, 1999 ; JAKI *et al.*, 1999 ; MUNDT *et al.*, 2003).

I.9.6. Dans l'alimentation animale

La croissance démographique qui ne cesse de se développer et les niveaux de revenus croissants entraînent une augmentation de la demande des produits d'origine animale et par conséquent l'accroissement de la demande des ressources en aliments pour animaux.

Le soja est une plante largement utilisée comme source de protéines dans l'alimentation de volaille et des animaux d'élevage, cependant ces dernières années sa culture développe des inquiétudes telles que sa durabilité de sa production et sa place sur le marché mondial.

L'union Européenne est fortement dépendante des importations de soja comme source de protéines pour l'alimentation animale.

Une étude (ALTMAN *et al.*, 2018) axée sur la qualité de la viande de volaille visait à déterminer si des solutions de remplacement du soja peuvent être menées à des fins de production de viande sans nuire à la qualité globale du produit. Deux solutions ont été proposées pour réduire le déficit de protéines et compenser les importations du soja : une source de micro-algue et une source de protéines d'insectes. La *Spirulina arthrospira platensis* a été choisie pour sa forte teneur en protéines et sa facilité de la cultiver.

Ils ont constaté que la qualité de la viande pourrait être améliorée lorsque la spiruline remplace 50% de la protéine de soja dans l'alimentation des poulets de chair ; sans détériorer la qualité de la viande

La spiruline notamment de second choix (grumeaux, balayures), peut se valoriser dans l'alimentation des animaux (poules pondeuses, poulets, vaches, chevaux de course, poisson, crustacés, larves de crevette ...etc.).Elle améliore leur santé (renforce les défenses immunitaires), leur apparence (augmente la pigmentation), leur qualité (favorise la croissance et la fertilité) ou leurs performances.

pour montrer l'intérêt nutritionnel de la spiruline et, pour favoriser la croissance et la fertilité, des études ont été effectuées sur les poissons d'aquarium tels que le *Xiphorus helleri* (JAMES et al, 2006) et la crevette (*Fenneropenaeus chinensis*) (KIM et al., 2006), lesquelles ont montrés les effets bénéfiques de l'utilisation de la *Spirulina platensis*.Pour les poissons, elle peut être donnée en l'état, frais ou sec ou, mieux, être incorporée aux granulés. Pour les poules, on peut ajouter jusqu'à 10 % de spiruline dans la ration : la qualité des œufs est améliorée (jaune plus coloré) (JOURDAN ,2006 ; CHARPY et al., 2008).

Pour renforcer les défenses immunitaires : En aquaculture, les poissons d'élevage sont beaucoup plus fragiles que les poissons sauvages et sont souvent soumis à des infections virales et/ ou bactériennes. A cet effet, (WATANUKI et al., 2006) ont mis en évidence, l'effet immunostimulant de *Spirulina platensis* chez la carpe (*Cyprinus carpio*).Des vétérinaires préconisent aussi d'administrer la spiruline à des animaux domestiques affaiblis

I.9.7. Spiruline sous forme d'extraits :

Des extraits de spiruline sont commercialisés en combinaison avec des extraits d'algues vertes, pour leurs vertus cicatrisantes, antiseptiques et régénératrices cellulaires. La commercialisation porte soit sur l'extrait brut actif stabilisé, soit sur le produit fini (gels, shampooings) (CHARPY et al., 2008).

Un extrait aqueux de spiruline particulièrement riche en calcium et en soufre empêcherait la pénétration de la membrane cellulaire par certains virus comme le VIH-1, le Herpès simplex, le virus de la grippe de type A et le virus de la rougeole (HAYASHI, 1996).

Un extrait liquide de spiruline fraîche titrée en phycocyanine à été mis au point par la société Alpha Biotech (JAOUEN et al., 1999).son usage est autorisé en Europe.

La phycocyanine extraite de la spiruline est vendue entre autres comme enzyme. Le résidu d'extraction de la phycocyanine conserve une valeur nutritive et thérapeutique (CHARPY *et al.*, 2008)

II. La génoise fourrée à la crème

II.1. Définition de la génoise

La génoise est un aliment à humidité intermédiaire, ayant subi un ou plusieurs traitements technologiques. Cuite au four, elle devient une pâte souple, légère et moelleuse de couleur brune dorée en surface et jaune à l'intérieur. Sa conservation en l'état est assurée pendant plusieurs mois, sans stérilisation thermique, ni congélation ou surgélation, mais par un ajustement adéquat de sa formulation : composition, pH, additifs et surtout l'activité de l'eau qui doit être comprise entre 0,6 et 0,84 (DELACHARLERIE et *al.*, 2008). La génoise contient de la farine, des œufs, du sucre, de la matière grasse, parfois du lait et est associée à des crèmes préparées et des fruits frais, secs ou confits (VOYSEY & LEGANE, 1999).



Figure 24: Génoise fourrée à la crème.

II.2. Historique de la génoise

La pâte à génoise qui entre dans la composition de nombreux desserts plus élaborés (comme le moka par exemple) date du 19^e siècle. Elle tire son nom de la proximité avec une autre recette, inventée par Fauvel: le pain de Gènes.

Un autre jeune chef pâtissier de la même maison, Auguste Jullien, adapte ce pain en retirant les amandes. La pâte à génoise est née. Elle est d'une grande légèreté et sert souvent à mettre en

valeur les mousses ou crèmes dont on la fourre. On la parfume aussi souvent au chocolat, au café, aux amandes (FAVRE, 1905).

II.3. Pâte à génoise

Le rôle de la pâte « génoise » a une telle réputation et diffusion qu'il fait de cette dernière une pâte fondamentale, dont il est impossible de se passer. Elle sert comme fond pour les entremets, les petits gâteaux à la pièce, ainsi que certains petits fours (FEILLET, 2000 ; GLATRE, 2007), la « génoise » tient en pâtisserie industrielle la même place que le feuilletage, les pâtes levées ou la pâte à choux. Les génoises se montent exactement comme les boudoirs et les champagnes, mais avec un pourcentage très supérieur en œufs (CHABOISSIER & LERIGRE, 2003).

II.4. Matières premières utilisées dans la fabrication de la génoise et leurs rôles

Au cours du processus de fabrication de la génoise, les différents constituants interagissent pour former une matrice continue contenant une dispersion de fines cellules gazeuses : la pâte. L'eau sert à l'hydratation et à la formation de cette pâte. L'ensemble des ingrédients utilisés participent ensuite à l'établissement d'une structure bien texturée et à l'amélioration de ses propriétés.

II.4.1. Farine

La farine est le produit de mouture de blé tendre. Elle doit être de type pâtissier ayant une teneur faible en protéines (8%) et en cendres (0,36%) et une granulométrie uniforme de 10 mm (MENARD *et al.*, 1992; DESROCHERS *et al.*, 2004). Elle doit contenir un gluten qui forme des réseaux extensibles et pas trop élastiques afin d'éviter la rupture et la rétraction de la pâte. On emploie donc des farines renferment le moins de protéines de façon à obtenir des mélanges qui peuvent être travaillés mécaniquement. L'utilisation des farines à teneur protéique trop élevée provoque une résistance trop forte à la levée de la pâte, ce qui donnerait une génoise aux alvéoles trop serrées, à volume réduit et à texture ferme (MATZ, 1992 ; FEILLET, 2000 ; DESROCHERS *et al.*, 2004 ; FIGONI, 2008). La couleur, la pureté de la farine (taux d'extraction) et la taille de ses particules agissent au niveau de l'aspect de la pâte (couleur et lissité), ainsi, la farine doit être blanche extra, pure et ayant de petites particules (MENARD *et al.*, 1992 ; DESROCHERS *et al.*, 2004).

Il faut aussi utiliser les farines ayant une faible capacité d'absorption d'eau donc une teneur en pentosanes et en amidon endommagés faible. Ce qui permet une bonne extensibilité de la pâte (DESROCHERS *et al.*, 2004; FIGONI, 2008).

II.4.2. Matière édulcorante

La matière édulcorante utilisée est, soit le sucre, soit le sirop du glucose pour prévenir la cristallisation du sucre. En plus de son pouvoir sucrant connu, c'est un agent humectant qui affaiblit la pâte et la rend plus fluide, il affecte la texture et contribue à la formation d'une mie tendre dans le produit fini (MENARD *et al.*, 1992). Au fait, la nature hygroscopique du sucre abaisse la quantité d'eau libre dans la pâte et retarde la gélatinisation de l'amidon. Ainsi, la pâte devient plus souple (MATZ, 1992; MANLEY, 2000; FIGONI, 2008).

Le sucre est un agent conservateur qui retarde le rancissement de la matière grasse et inhibe les microorganismes indésirables (FEILLET, 2000; DESROCHERS *et al.*, 2004; FIGONI, 2008). C'est aussi un stabilisant qui évite l'écroulement de la pâte et stabilise l'émulsion des œufs fouettés (MATZ, 1992; MANLEY, 2000). Le sucre peut aussi être considéré comme un agent colorant puisqu'il contribue dans l'apparition de la couleur dorée appréciée de la génoise, grâce à la réaction de Maillard lors de la cuisson (EDWARD, 2007; FIGONI, 2008).

II.4.3. Matière grasse

La matière grasse utilisée est la graisse de palme. Elle enrobe les protéines du gluten et des œufs ainsi que les particules de l'amidon et empêche leur hydratation et la formation d'un réseau continu structuré (DESROCHERS *et al.*, 2004 ; FIGONI, 2008)). Elle émulsifie les liquides dans la pâte ce qui augmente l'humidité de la mie. Ces deux fonctions contribuent à une texture douce et tendre (BENNION *et al.*, 1997 ; FEILLET, 2000 ; FIGONI, 2008).

II.4.4. Œuf

Les œufs sont incorporés sous forme de poudre. Ils contribuent dans l'augmentation de volume et l'amélioration du goût. Au fait, les protéines de l'albumen coagulent lors de la cuisson et agissent comme un agent agglomérant en formant un réseau complexe avec le gluten (MATZ, 1992; DESROCHERS *et al.*, 2004). De plus, ils apportent de la légèreté et du « moussant » aux recettes. Ils ont l'aptitude d'incorporer une quantité importante d'air lors du battage et de prévenir la coalescence des bulles d'air dans la pâte. Ainsi, les œufs aident à former une mousse stable résultant en une mie à texture désirable (DESROCHERS *et al.*, 2004; FIGONI, 2008) . Les œufs ajoutent à la génoise une saveur douce, une couleur dorée et une valeur nutritionnelle remarquable. En plus, le jaune d'œuf a un effet émulsifiant à cause du taux du lipide présent, notamment la lécithine (MATZ, 1992 ; BENNION *et al.*, 1997 ; FIGONI, 2008).

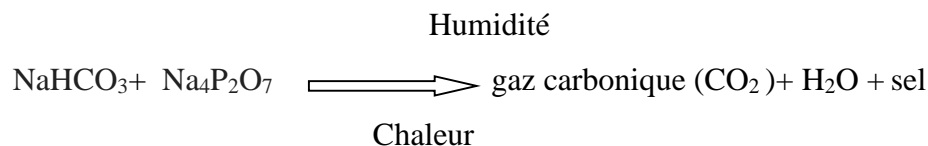
II.4.5. Produits laitiers

Ces produits sont le lactosérum et le lait en poudre, ils sont utilisés pour améliorer la valeur nutritive et la qualité organoleptique du produit (BENNION et *al.*, 1997). De plus, le lactosérum augmente l'élasticité de la pâte et joue un rôle de fixateur de l'humidité en plus de sa saveur lactée (FIGONI, 2008).

II.4.6. Agents chimiques de levée

Les substances utilisées sont le bicarbonate de sodium (NaHCO_3) et le pyrophosphate de sodium ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$). Elles réagissent pour faire lever la pâte, varier le pH et donner une structure alvéolaire développée sous l'action conjuguée de l'humidité et de la chaleur (RANKEN et *al.*, 1997). Ce développement est dû au dégagement gazeux qui a pour résultat final de transformer le milieu compact en une pâte légère et agréable à déguster (MENARD et *al.*, 1992 ;BENNION et *al.*, 1997; FIGONI, 2008).

La réaction chimique responsable du dégagement gazeux est la suivante (FIGONI, 2008):



II.4.7. Sel

Le sel est un agent humectant qui joue un rôle dans la conservation des produits et un exhausteur du goût qui développe la saveur des pâtes. De plus, il augmente l'élasticité du gluten et améliore les propriétés plastiques des pâtes (BENNION et *al.*, 1997; RANKEN et *al.*, 1997 ; MOLL & MOLL, 1998).

II.4.8. Eau

L'eau permet de dissoudre les ingrédients en poudre (farine, sucre, sel, œufs et lait en poudre...) et de les rassembler pour donner une pâte lisse et homogène. Elle permet l'hydratation de la farine, gonfle les grains de l'amidon et donne de l'élasticité au gluten. (MATZ, 1992 ; EDWARD, 2007 ; CAUVAIN , 2008). La qualité microbiologique et la teneur en sels de l'eau influencent la qualité de la pâte d'où il faut veiller à contrôler les caractéristiques de l'eau.

II.4.9. Additifs alimentaires

Les additifs utilisés dans la fabrication de la génoise fourrée sont présentés dans le Tableau 1. Ils sont ajoutés dans le but d'améliorer les caractéristiques organoleptiques de la pâte, de prolonger

la durée de conservation et de réduire les risques d'altération susceptibles de toucher le produit lors du stockage (MOLL & MOLL, 1998).

Tableau 10: Additifs alimentaires utilisés (RANKEN et *al.*, 1997; LABUZA & HYMAN, 1998; MOLL et MOLL, 1998; SAHI & ALAVA, 2003; FIGONI, 2008)

Nom	Classe	Fonction
Glycérol: E422 Sorbitol: E420	- Humectants - Affermissants - Stabilisants	- Evitent le dessèchement dû aux migrations d'eau et assurent une texture moelleuse (LABUZA & HYMAN, 1998). - Augmentent la viscosité de l'aliment. - Homogénéisent et stabilisent les mélanges hétérogènes (MOLL & MOLL, 1998).
Mono et di-glycéride: E471, E475 Lécithines: E322	- Emulsifiants	Se sont des molécules qui possèdent une extrémité hydrophile et une extrémité hydrophobe. Elles facilitent ainsi l'homogénéisation dans les denrées alimentaires de plusieurs constituants non miscibles, et forment des émulsions stables (MOLL & MOLL, 1998; SAHI & ALAVA, 2003). Elles contribuent à donner une mie moelleuse et limitent le rassissement de la mie car elles retardent le processus de rétrogradation de l'amidon en prévenant sa gélatinisation (RANKEN et <i>al.</i> , 1997; FIGONI, 2008).
Sorbate de potassium : E202	- Conservateur	Prolonge la durée de conservation des aliments en les protégeant contre les altérations dues aux micro-organismes (MOLL & MOLL, 1998; FIGONI, 2008).
Acide citrique : E330	- Correcteur d'acidité - Antioxydant	- Modifie l'acidité de l'aliment. - Prolonge la durée de conservation des aliments en les protégeant contre les altérations dues à l'action de l'oxygène telles que le rancissement des matières grasses et les modifications du couleur (RANKEN et <i>al.</i> , 1997; MOLL et MOLL, 1998).

II.4.10. Produits «annexes»

Ces produits sont ajoutés pour fourrer et décorer la génoise, se sont des crèmes aromatisées selon l'article (arôme abricot, vanille, fraise...), du cacao en poudre ou encore du sirop du glucose (MATZ, 1992; FIGONI, 2008).

II.5. La crème

II.5.1. Définition

Les crèmes sont à la base des desserts les plus savoureux, elles apportent aux gâteaux une sensibilité et un raffinement gustatif incomparables qui en ont fait leur réputation. Toutefois, leur préparation est particulièrement délicate.

Les crèmes sont surtout utilisées pour fourrer ou garnir, pour masquer ou napper, pour accompagner ou pour décorer les différents produits de pâtisserie (CHABOISSIERh & LERIGRE, 2003).

La dénomination «crème» désigne tout un ensemble de préparations très variées, essentiellement réalisées à partir de produits laitiers (lait et crème), d'œufs, de matières édulcorantes (saccharose, sirop de sucre inverti, etc.), de matières grasses (beurre, margarine) et de matières aromatiques (arômes naturels, fruits, alcools, liqueurs) (CHABOISSIERh & LERIGRE, 2003).

III.5.2. Les ingrédients de la crème

III.5.2.1. Matière grasse végétale

La matière grasse joue les rôles de miscibilité, de plasticité, texturisant et -aromatisant.

III.5.2.2. Produits sucrants

La matière sucrante joue le rôle d'agent de conservation (humectant), aromatisant, texturisant et colorant.

La matière sucrante aide à retarder le rancissement de la matière grasse et la multiplication microbienne dans la crème, la haute teneur en matière sucrante d'une crème favorise une pression osmotique élevée et diminue l'activité de l'eau, ce qui prolonge la durée de conservation et en plus la matière sucrante est utilisée pour son effet sur la saveur de produit. D'ailleurs plus les grains de sucre sont fins, plus l'incorporation d'air sera élevée.

III.5.2.3. Sirop de glucose

Le sirop de glucose joue un rôle retardateur de la dessiccation des produits, et assure ainsi une plus longue durée de conservation.

III.5.2.4. Lait en poudre

Le lait en poudre est additionné à la crème dans le but d'obtenir une crème légère et d'améliorer son volume.

II.5.3. La crème fouettée

La véritable crème fouettée est une préparation particulièrement légère obtenue en fouettant à froid de la crème fraîche jusqu'à obtention d'une mousse ferme et très aérée. Il arrive que cette crème soit aromatisée, gélatinée et sucrée.

La crème à fouetter doit être très visqueuse, contenir entre 32 et 40% de matière grasse. La fabrication de crème à fouetter consiste à introduire de l'air ou un gaz dans la crème par un battage approprié à basse température afin d'obtenir une mousse stable. Un compromis est recherché entre la libération de la matière grasse liquide, le rassemblement et la coalescence des globules gras autour de la bulle d'air. Le fouettage se fait à 10 °C pour une crème à 30% de matière grasse.

L'addition de matière sèche (protéines) et une légère acidification augmentent la fermeté des crèmes fouettées.

La qualité du fouettage se juge par la rapidité de la crème à gonfler, par la consistance et la permanence du foisonnement et par son rendement (CHABOISSIER & LERIGRE, 2003).

II.6. Diagramme technologique de fabrication de la génoise fourrée

Le diagramme de fabrication de la génoise est présenté dans la **Figure 24**. Les étapes déterminantes quant à la qualité organoleptique et microbiologique du produit fini sont le foisonnement, la cuisson et le refroidissement-conditionnement.

II.6.1. Le foisonnement

Est une opération qui consiste à homogénéiser le mélange et à intégrer de l'air dans la préparation pour obtenir un produit léger, volumineux et aéré. Par ailleurs, elle permet d'avoir une pâte bien développée par la mise en place d'interactions entre les constituants et la création de structures protéiques orientées (MATZ, 1992 ; MENARD, 1992 ; FEILLET, 2000 ; EDOURA-GAENA, 2005).

II.6.2. La cuisson

C'est un traitement thermique de stabilisation, il permet de rallonger la durée de vie du produit et de faire passer le mélange de l'état mousseux à l'état spongieux. Au cours de cette étape plusieurs phénomènes se produisent :

- La coagulation des matières albuminoïdes (gluten, blanc d'œufs...) qui constitue le réseau tridimensionnel responsable du développement du produit.
- La réaction du Maillard entre les sucres réducteurs et les acides aminés responsable de la coloration de la génoise.
- Le dégagement gazeux généré par la chaleur sous l'action des agents de levée responsable de la structure alvéolaire du produit (MATZ & MENARD, 1992 ; FEILLET, 2000 ; EDWARD, 2007 ; DELACHARLERIE et *al.*, 2008).

II.6.3. Le refroidissement, la manipulation et le conditionnement

Sont les principales étapes responsables des altérations. En général, les produits pâtisseries sont stables de point de vue microbiologique mais le contact du produit avec l'air ambiant et les surfaces du travail ainsi que la manipulation par le personnel accentuent le risque des contaminations secondaires qui déprécient la qualité microbiologique du produit et risquent de l'altérer au cours de stockage (MATZ & MENARD, 1992 ; FEILLET, 2000 ; DELACHARLERIE et *al.*, 2008).

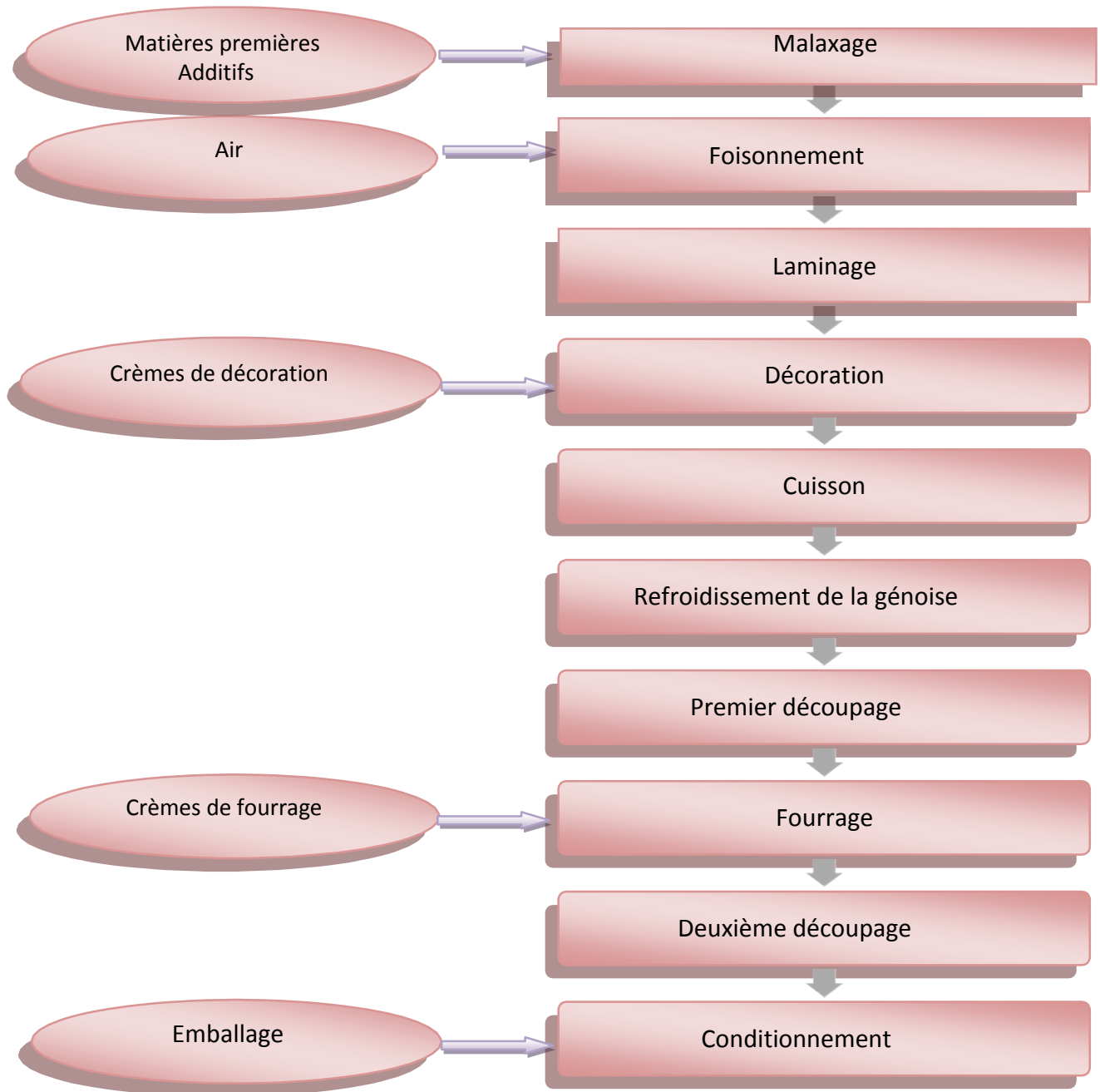


Figure 25: Diagramme de fabrication de la génoise fourrée (MATZ & MENARD, 1992 ; FEILLET, 2000 ; DELACHARLERIE et *al.*, 2008).

II.7. Conservation de la qualité de la génoise fourrée

La conservation consiste à préserver la qualité d'origine de l'aliment le plus longtemps possible et à empêcher les altérations susceptibles d'être provoquées par divers facteurs d'altérations.

Selon la norme ISO 9000 version 2000 : la qualité est définie comme étant: "l'aptitude des propriétés et des caractéristiques d'un produit ou d'un service à satisfaire les exigences des consommateurs (ROUX, 1994; BRANGER *et al.*, 2007)".

La qualité est une notion multidimensionnelle qui comprend six composantes comme le montre la **Figure 25**: des qualités alimentaires intrinsèques (hygiénique, nutritionnelle et organoleptique), des qualités en rapport avec l'industriel (technologique), mais également des notions plus complexes qui mettent en jeu les relations du consommateur avec son alimentation (qualités psychosociales, qualités d'usage et de service) (BRANGER *et al.*, 2007).

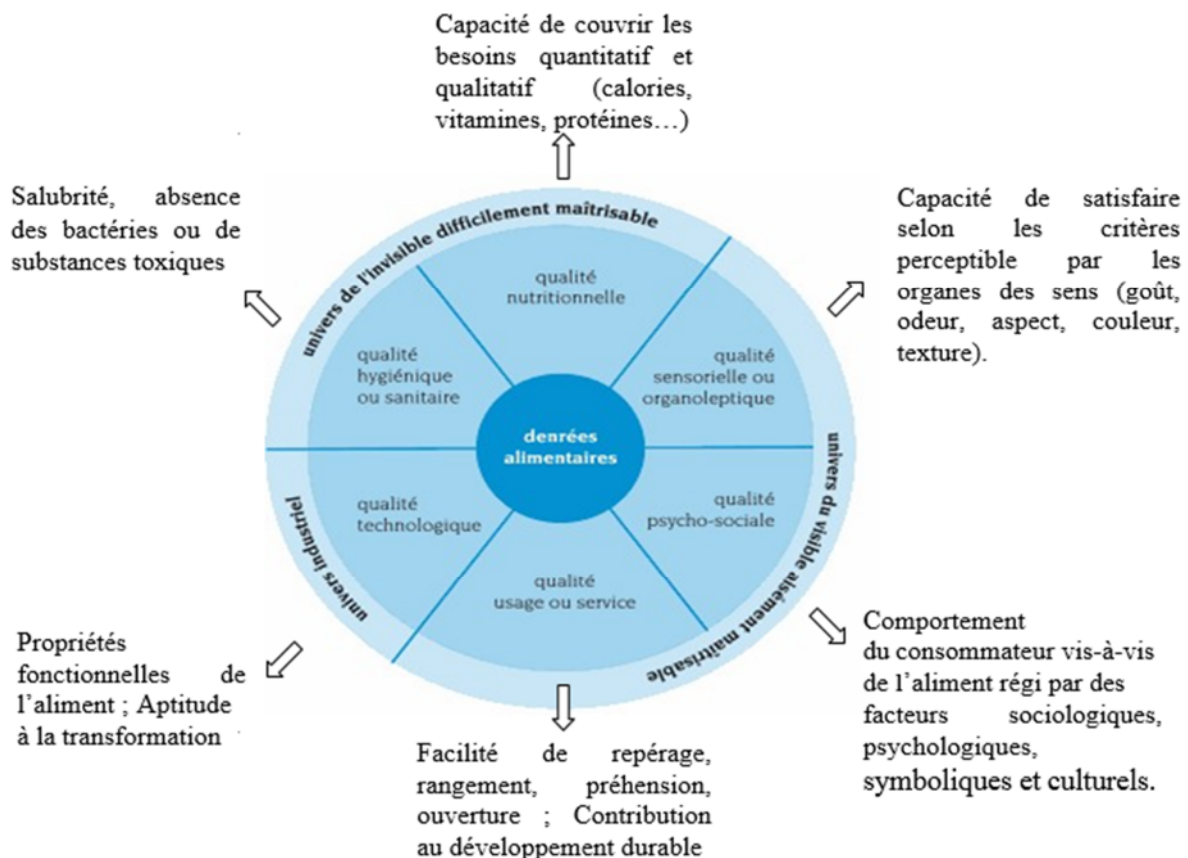


Figure 26: Les composants de la qualité (ISO 5492,1992 ; Roux, 1994; Branger *et al.*, 2007)

II.7.1. Facteurs d'altération

La vitesse d'altération dépend des conditions extrinsèques liées à l'environnement (durée de stockage, température, composition de l'atmosphère, lumière) et des caractéristiques intrinsèques liées à l'aliment (potentiel d'oxydoréduction, pH, quantité d'eau) (ROUX, 1994).

II.7.1.1. Durée de stockage

Ce facteur introduit la notion de vitesse de réaction, il détermine la durée maximale probable de conservation. Il se traduit par la date limite de consommation ou d'utilisation optimale indiquée sur l'emballage (BOURGEOIS, 1991 ; KILCAST & SUBRAMANIAM, 2000).

II.7.1.2. Température d'entreposage

Ce facteur accélère la vitesse de détérioration de l'aliment selon la Loi d'Arrhenius. De plus, les variations brusques de température et en sens variable, surtout lorsque les emballages ne sont pas hermétiques, mènent à des dépôts de buée en surface favorisant le développement des microorganismes. La température d'entreposage est souvent indiquée sur l'emballage et doit être respectée pour limiter les altérations (BOURGEOIS, 1991 ; KILCAST & SUBRAMANIAM, 2000 ; TAOUKIS & GIANNAKOUREOU, 2004).

II.7.1.3. Composition de l'atmosphère (oxygène, gaz carbonique, humidité de l'air)

Ce facteur joue un rôle dans la prolifération des micro-organismes et affecte les oxydations enzymatiques et non enzymatiques. En outre, en l'absence d'un équilibre hygrométrique, l'humidité relative (HR) intervient dans le dessèchement de la génoise. Ce paramètre dépend des possibilités d'accès des gaz et de la vapeur d'eau à l'intérieur de l'emballage. Le rôle de l'emballage est de limiter ces transferts (SUBRAMANIAM, 2000 ; EDWARD, 1 2007).

II.7.1.4. Lumière

L'exposition à l'énergie photonique, catalyse les altérations des lipides et plus précisément l'oxydation (DJENANE et al., 2001,2003 ; DJENANE, 2005). Pour limiter l'accès de la lumière, il suffit d'utiliser des emballages opaques (KILCAST & SUBRAMANIAM, 2000 ; GORDON, 2004).

II.7.1.5. Potentiel d'oxydoréduction

Dans l'aliment, ce potentiel varie en fonction de la teneur en oxygène et de la concentration en substances réductrices (additifs antioxydants, glucose, polyphénols...). Il est nécessaire d'abaisser ce potentiel pour limiter les réactions d'oxydation et d'inhiber la croissance des microorganismes aérobies stricts (CUQ & GUILBERT, 1992 ; KILCAST & SUBRAMANIAM, 2000 ; GUIRAUD, 2003).

II.7.1.6. pH

Le pH de l'aliment agit directement sur le développement microbien et par conséquent sur la qualité du produit. Si le produit est riche en glucides et a un pH > 6 il y aura tendance à la fermentation lactique et par suite à la diminution du pH et à l'apparition d'un goût acide désagréable. L'acidophilie est une propriété que l'on rencontre surtout chez les levures, les moisissures et chez certaines bactéries qui sont classées en fonction de la nature de l'acide qu'elles produisent (bactéries acétiques, lactiques, propioniques, ...). Dans les aliments dont le pH est compris entre 4,5 et 9,5, de nombreuses altérations sont susceptibles de se produire et la plupart des bactéries pathogènes cultivent dans ces conditions (GUIRAUD, 2003 ; CUQ, 2007).

II.7.1.7. Quantité de l'eau dans l'aliment

C'est le facteur intrinsèque déterminant quant aux dégradations. Il est présenté par la teneur en eau et l'activité de l'eau. La teneur en eau correspond à la totalité de l'eau contenue dans la denrée. Alors que l'activité de l'eau représente l'eau disponible dans l'aliment pour la réalisation des réactions métaboliques. Ainsi, La capacité de conservation des aliments, la stabilité des couleurs, le goût, l'arôme et les conditions favorables à la croissance des micro-organismes sont directement influencés par la valeur a_w . L' a_w est le facteur déterminant quant à la vitesse de détérioration des aliments comme le montre la **Figure 26** (ROUX, 1994 ; ESSE & SAARI, 2004 ; EDWARD, 2007 ; CAUVAIN & YOUNG, 2008).

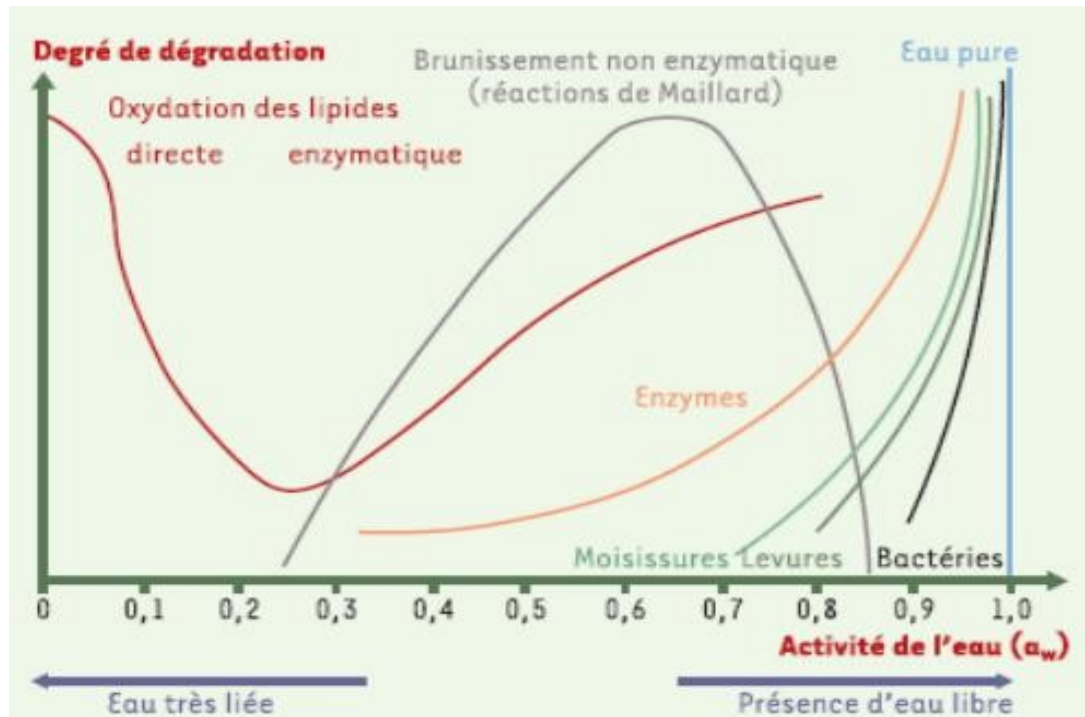


Figure 27 : Vitesse de détérioration des aliments en fonction de a_w (LABUZA, 1971. Cité par : NELSON & LABUZ, 1994).

La génoise fourrée est un produit céréalier de cuisson humide d' a_w avoisinant 0,8 (VIERLING, 2008). D'après la **Figure 26**, les altérations susceptibles de toucher la génoise sont d'ordre microbiologique, physico-chimique et enzymatique. Elles résultent en une diminution de la qualité organoleptique et de la sécurité de l'aliment (KILCAST et SUBRAMANIAM, 2000 ; GUIRAUD, 2003 ; SINGH & ANDERSON, 2004).

II.7.2. Réactions d'altération

II.7.2.1. Altérations microbiologiques

La prolifération microbienne est conditionnée par l'activité de l'eau car celle-ci exerce une influence sur la pression osmotique qui contrôle les échanges à travers les membranes des micro-organismes (ROUX, 1994 ; ESSE & SAARI, 2004). D'après la **Figure 26**, les génoises fourrées, ayant une a_w proche de 0,8, sont exposées au risque de croissance de levures, de moisissures et de bactéries. Les conséquences de ce développement sont diverses :

- Altération d'odeur : odeur caractéristique de moisi.
- Altération d'aspect : changement de consistance, apparition des mycéliums blanchâtres et

cotonneux, des points noirs, des colonies poudreuses vertes, ...

- Altération du goût : goût de rance à cause de certaines levures et moisissures lipolytiques qui provoquent une cétonisation d'acides gras aboutissant aux méthylcétones.
- Intoxication : biosynthèse des toxines par certaines moisissures (*Aspergillus*) (KILCAST & SUBRAMANIAM, 2000 ; GUIRAUD, 2003 ; BRANGER *et al.*, 2007).

II.7.2.2. Altérations physico-chimiques

II.7.2.2.1. Oxydation directe des lipides ou auto-oxydation

L'oxydation des lipides s'accélère pour une $a_w = 0,75$ (Figure 26), car l'eau permet la mobilisation des substances pro-oxydantes. C'est une fragmentation des chaînes d'acides gras insaturés sous l'action de l'oxygène. Elle est accélérée par la lumière et elle se déroule selon un mécanisme radicalaire en chaîne qui comporte trois groupes de réactions :

- Initiation : formation des radicaux libres
- Propagation : fixation de l'oxygène sur les radicaux libres et formation des hydroperoxydes.
- Arrêt : Dégradation des hydroperoxydes instables en composés plus stables (aldéhydes, cétones, esters...). Ces produits sont responsables d'odeur de rance et peuvent affecter les fonctions essentielles des protéines et des enzymes ce qui réduit la qualité nutritionnelle du produit (DAVIES, 2004 ; GORDON, 2004 ; SINGH & ANDERSON, 2004).

II.7.2.2.2. Rassisement

Le processus de rassisement commence dès le refroidissement après la cuisson. Petit à petit, la génoise perd sa fraîcheur, elle devient plus sèche et friable et les qualités gustatives se détériorent pendant sa durée de conservation. Ce phénomène est causé par la recristallisation de l'amidon. Les propriétés de solubilisation, gélification et rétrogradation de l'amidon jouent un rôle prépondérant dans la texture de la génoise. Dans la pâte l'amidon se trouve en présence d'eau. Lors de la cuisson, l'amidon se solubilise et gélatinise. Lors du refroidissement, une partie de l'amidon (l'amylose) entame sa rétrogradation, ce qui confère à la mie sa fermeté. Après, au cours du stockage, le reste de l'amidon, poursuit la rétrogradation. Celle-ci provoque le rassisement de la mie (MENARD *et al.*, 1992; SINGH & ANDERSON, 2004 ; DELACHARLERIE *et al.*, 2008 ; VIERLING, 2008).

II.7.2.2.3. Transferts d'eau

Les transferts d'eau sont à l'origine de la perte du caractère moelleux et le développement des microorganismes dans les génoises fourrées. Ces transferts sont régis par une tendance à l'équilibre thermodynamique, c'est-à-dire que ces migrations vont tendre à équilibrer les quantités d'eau. Ils peuvent prendre place entre le produit et l'atmosphère ou entre différentes

phases du produit composite (LABUZA & HYMAN, 1998; ESSE et SAARI, 2004; EDWARD, 2007 ; CAUVAIN & YOUNG, 2008).

II.7.2.3. Altérations enzymatiques

L'activité enzymatique s'accroît avec l'augmentation de la température et l' a_w , qui favorisent la dissolution et la diffusion des substances réactives et des enzymes. Ces altérations sont régies par deux réactions :

- Une oxydation enzymatique : elle est assurée par des lipoxygénases qui catalysent l'insertion de l'oxygène sur les acides gras insaturés ce qui aboutit à la formation des hydroperoxydes.
- Une hydrolyse enzymatique : elle est le résultat de la scission de la liaison ester entre l'acide gras et le glycérol, sous l'action des lipases et de la chaleur, elle libère ainsi des triglycérides, des diglycérides et des monoglycérides (ROUX, 1994; SINGH & ANDERSON, 2004).

En inhibant ces différents types d'altération, les techniques de conservation servent à prolonger la durée de vie de l'aliment, mais leur action est temporaire. Par conséquent, il est nécessaire d'établir des règles limitant le temps de consommation des denrées alimentaires (BOURGEOIS, 1991 ; ROUX, 1994; KILCAST & SUBRAMANIAM, 2000).

II.8. Durée de vie de l'aliment

II.8.1. Notion de durée de vie

Les aliments vivent, vieillissent et meurent selon des cycles biologiques naturels. La durée de vie est la période pendant laquelle la denrée conserve les propriétés compatibles avec l'usage qui leur est destiné (KILCAST & SUBRAMANIAM 2000 ; BREMAUD et *al.*, 2006 ; DJENANE et al., 2016).

Dans le cas des denrées alimentaires préemballées, tant que l'emballage n'a pas subi une ouverture ou une modification et que les conditions de conservation sont respectées, la denrée doit :

- rester saine, sûre et sans danger ;
- conserver ses qualités organoleptiques, chimiques, physiques et microbiologiques caractéristiques ;
- être conforme à toute déclaration de données nutritionnelles sur les étiquettes (quantité de vitamines, de protéines, de lipides...) (BOURGEOIS, 1991 ; KILCAST & SUBRAMANIAM 2000).

En parlant de durée de vie, on distingue deux termes, DLC (Date limite de consommation) et DLUO (Date limite d'utilisation optimale), explicités dans le **Tableau 11**.

Tableau 11: Les différences entre DLC et DLUO (ROUX, 1994; KILCAST & SUBRAMANIAM 2000; BREMAUD *et al.*, 2006)

	Date Limite de Consommation (DLC)	Date Limite d'Utilisation Optimale (DLUO)
Définition	Une fois cette date dépassée, l'aliment ne peut plus être consommé car le niveau de risque de nature microbienne n'est plus négligeable, l'aliment devient dangereux pour la santé.	Elle indique que l'aliment a vieilli et ne présente plus forcément les caractères organoleptiques et physico-chimiques recherchés, sans pour autant constituer un danger.
Valeur	Impérative	Indicative
Détermination	se base sur le suivi des paramètres microbiologiques (évolution quantitative et qualitative).	se base sur le suivi des paramètres physico-chimiques et sensoriels durant le stockage.

II.9. Réglementation et étiquetage

Selon la norme générale pour l'étiquetage des denrées alimentaires préemballées du Codex Stan 1-1985 ; l'article 3 de la Directive 2000/13/CE du Parlement Européen et du Conseil du 20 mars 2000 et Décret exécutif n° 13-378 du 5 Moharram 1435 correspondant au 9 novembre 2013 publié dans le JORA, 2013, l'étiquetage des denrées alimentaires préemballées comporte les mentions obligatoires suivantes:

- 1) la dénomination de vente ;
- 2) la liste des ingrédients ;
- 3) la quantité de certains ingrédients ou catégories d'ingrédients ;
- 4) la quantité nette ;
- 5) la date de fabrication ;
- 6) le nom ou la raison sociale et l'adresse du fabricant ou du conditionneur ;
- 7) l'indication du lot ;
- 8) le lieu d'origine ou de provenance ;

- 9) un mode d'emploi au cas où son omission ne permettrait pas de faire un usage approprié de la denrée alimentaire ;
- 10) la date de durabilité minimale ou, la date limite de consommation ; ainsi que les conditions particulières de conservation, notamment de température, dont le respect permet d'assurer la durabilité indiquée. Selon l'article R112-22 du code de la consommation (2010), l'inscription de cette date est sous la responsabilité du conditionneur et elle s'exprime par les mentions présentées dans le tableau 3.

Tableau 12: Expression de la date limite sur l'emballage (R112-22 du code de la consommation)

	DLC	DLUO
Cette date s'exprime par la mention	« A consommer jusqu'au... » « A consommer jusqu'à la date figurant... »	« à consommer de préférence avant.. » lorsqu'elle comporte l'indication du jour. « à consommer de préférence avant fin.. » dans les autres cas.
	Cette mention est suivie soit de la date elle-même, soit de l'indication de l'endroit où elle figure dans l'étiquetage. La date se compose de l'indication, en clair et dans l'ordre, du jour, du mois et, éventuellement, de l'année.	

Dans le cas des produits céréaliers à humidité intermédiaire on parle plutôt de DLUO car ces produits s'altèrent au plan organoleptique bien avant de présenter un risque pour la santé (DELACHARLERIE, et *al.*, 2008).

I. Présentation de l'unité

L'entreprise ISO 9 International a été créée en 2000 et mise en production en 2002 sous la forme juridique d'une SARL (Société à Responsabilité Limitée). Elle est spécialisée dans la fabrication de génoise et de biscuits secs. Elle est située à ISSER, à 15 Km du chef-lieu de la wilaya de Boumerdes (Algérie) et est implantée sur une superficie de 20.000 m², abritant les ateliers de production et de stockage, les bâtiments administratifs ainsi que les laboratoires d'analyses sur le Contrôle de qualité et le département recherche et développement. Elle a un effectif de 274 employés. Sa capacité de production moyenne de 640 kg/heure pour la génoise et de 350 kg/heure pour les biscuits secs.

La SARL ISO 9 International est le leader national dans la fabrication de la génoise fourrée. Afin d'élargir sa gamme de produits et répondre aux exigences du marché, ISO 9 International a acquis une deuxième ligne ultra moderne de fabrication de biscuits secs (Biscuits sablés, Petit Four, Cookies et autres).

Afin d'assurer une qualité constante de ses produits, l'entreprise veille constamment au choix de ses matières premières, effectue un contrôle systématique du processus de production et a mis en place une politique de respect des normes d'hygiène par la formation et la sensibilisation permanente de son personnel. Cet ensemble de mesures vise à l'obtention de la certification ISO 22000 permettant ainsi à l'entreprise de fournir un gage de conformité internationale à ses clients et lui permettre d'envisager le marché de l'export.

L'entreprise, connue sous la marque commerciale « ISSER DELICE » a su évoluer de manière exponentielle et être reconnue comme leader incontournable dans son secteur, en ce qui concerne le marché national et comme à partenaire à part entière en ce qui concerne ses clients à l'export, Afin de maintenir sa croissance et son développement, l'entreprise compte élargir son réseau commercial, diversifier sa gamme et monter en cadence de production. La devise de l'entreprise est 4 S (Santé, Sécurité, Saveur et Service).

II. La gamme de production au niveau de l'unité

La production au niveau de l'unité ISSER DELICE est variée avec une grande capacité de production qu'on peut résumer dans le **Tableau 13** suivant:

Tableau 13: Les différents produits et la capacité de production au niveau de la biscuiterie ISO-9 International

Gammes de produits	Capacité de production
<u>Génoise Isser Délice:</u> - Génoises chocolatées - Génoises fruitées	144000-168000 pièces /jour 144000-168000 pièces /jour
<u>Génoise Grandios:</u> - Génoises chocolatées - Génoises fruitées	93000-100000 pièces /jour 93000-100000 pièces /jour
Génoise «SmartBig» Génoise «Koolday»	180000-190000 pièces /jour 180000-190000 pièces /jour
<u>Biscuits secs Isser Délice:</u> - Cookies - Biscuits sablés	3200 kg de pâte /jour 3200 kg de pâte /jour

III. Champs de l'étude

Dans cette étude et parmi les produits de la biscuiterie ISO 9 International, nous avons choisi «la génoise» fourrée à la crème fouettée à base de spiruline préparée à froid dans le souci de préserver sa valeur nutritionnelle.

III.1. Objectif du travail

L'objectif de ce travail est l'incorporation de la spiruline dans la crème de fourrage des biscuits de type génoise et la mise en valeur des éléments nutritionnels de ce produit tels que: le fer, le calcium et les protéines.

III.2. Intérêt du travail

Cette étude a pour but la valorisation de la spiruline par son incorporation dans un biscuit de type Génoise pour la conception d'un nouveau produit dit «fonctionnel»

IV. Matériel utilisé pour la fabrication de la crème

IV.1. Matériel biologique

- **La spiruline**

La spiruline utilisée est une spiruline en poudre originaire du Chili.

- **Le lait**

Le lait utilisé est un lait écrémé en poudre déshydraté à 0% MG, la méthode de séchage qui a été utilisée est le SPRAY DRIED.

- **La matière grasse**

La matière grasse utilisée est une matière grasse végétale schortonnig à base de palme pure : rafined blached desodorised (RBD) avec un point de fusion de 38-40 °C.

- **Le dextrose**

Le Dextrose utilisé est un dextrose monohydrate (monosaccharide). Le dextrose équivalent (DE) est le résultat d'une hydrolyse totale de l'amidon. Plus le DE est élevé, plus l'hydrolyse est poussée, et donc plus la proportion en sucres simples à chaîne courte est élevée.

- **Le sucre**

Le sucre utilisé est un saccharose cristallisé d'origine (La Belle - Ouled Moussa - Boumerdès)

- **L'arôme**

L'arôme utilisé pour la fabrication de nos génoises était celui de *Pistacia lentiscus* liposoluble d'origine Turque (AROMSA).

IV.2. Appareillages (annexe 1)

- PH mètre
- Balance analytique
- Dessiccateur
- Batteur
- a_w mètre
- Mixeur
- Pétrin
- La haute
- Four ventilé
- Les étuves d'incubation
- Mélangeur sac Stomacher
- Plaque chauffante
- Récipient à double paroi
- Appareil de KJELDAHL

V. Technologie de la génoise

Notre travail consiste à fabriquer une génoise fourrée à la crème, enrichie avec de la poudre de spiruline; cette étude a été réalisée en trois étapes:

V.1. Préparation de la pâte génoise

V.1.1. Formule de fabrication de la pâte génoise

Les génoises sont des produits résultant d'un mélange de farine, sucre, matière grasse, œufs, poudres à lever, arômes et sel.(Figure annexe 2)

Tableau 14 : Composition de la formule de la pâte à génoise

Matières premières	Taux d'incorporations en (g)
œufs	315
Sucre cristallisé	100
Beurre fondu	125
Poudres levantes	20
Gousse de vanille	10
Sel	3

Première étape

Dans un récipient, les œufs ont été mélangés avec le sucre cristallisé, le beurre, le sel et la vanille. Le mélange est homogénéisé à l'aide d'un batteur à vitesse maximale durant 5 minutes.

Deuxième étape

La vitesse du batteur a été réduite durant 5 minutes pour rajouter la farine et la poudre levant.

Troisième étape

Cuisson de la pâte dans un four à 200 °C pendant 30 minutes.

V.2. Préparation de sirop d'imbibition

V.2.1. Formule du sirop d'imbibition

25% d'eau

75% de sucre

0,4% d'acide citrique

Chauffage à 85 °C

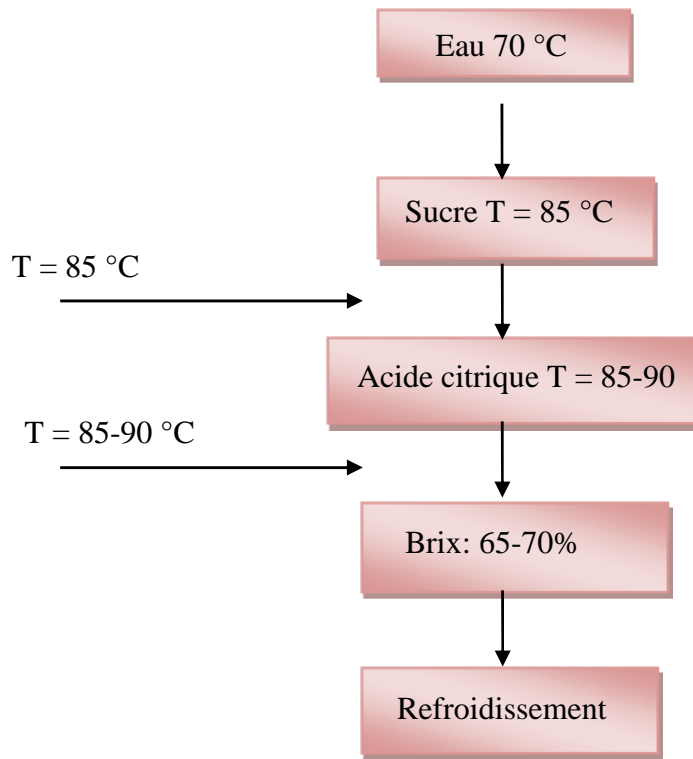


Figure 28: Diagramme de préparation du sirop d’imbibition

V.3. Préparation de la crème de fourrage

V.3.1. La pesée des ingrédients

Le taux des ingrédients sont cités dans le **Tableau 15** ci-dessous:

Tableau 15: Composition de différentes crèmes en fonction des pourcentages relatifs de sucre.

	T		5%	10%	15%	20%	25%
	%	[g]					
Sucre	48,98	146,94	146,94	146,94	146,94	146,94	133,16
Graisse végétale	30,61	91,84	91,84	91,84	91,84	91,84	91,84
Lait	10,20	30,61	23,11	15,61	8,11	0,61	0
Dextrose	10,20	30,61	23,11	15,61	8,11	0,61	0
Spiruline	0	0	15	30	45	60	75
	100	300	300	300	300	300	300

V .3.2. Préparation

Cette phase consiste à préparer la crème de fourrage aérée en introduisant la poudre de spiruline à des pourcentages croissants (Annexe 3)

Première étape

La matière grasse liquide avec le sucre ont été versés dans un récipient, puis mélangés à l'aide d'un batteur pendant 7 minutes.

Deuxième étape

Ajout de dextrose (fiche technique en annexe 4), puis mélanger pendant 2 minutes

Troisième étape

Ajout de la poudre de lait (fiche technique en annexe 5) et mixer pendant 2 minutes

Quatrième étape

Ajout de quelques gouttes de l'arôme goût pistachier

Cinquième étape

- Incorporation de la spiruline en poudre dans le mélange (5,10, 15, 20, et 25%).
- Ajout d'un colorant alimentaire (chlorophylle) pour le témoin et mélanger jusqu'à obtention d'une couleur uniforme.

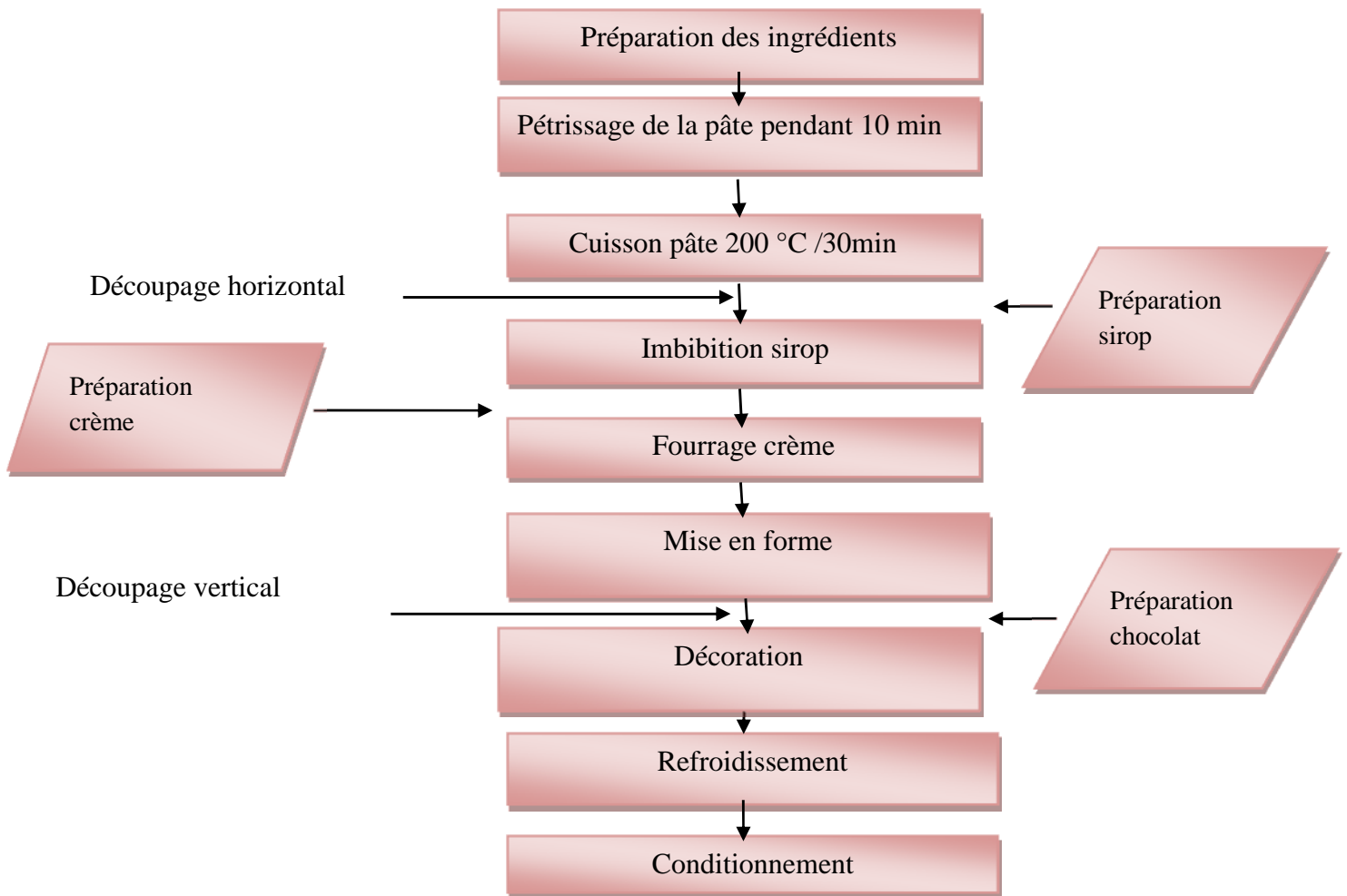


Figure 29 : Diagramme de fabrication de la génoise fourrée

VI. Analyses biochimiques

Les analyses biochimiques sur le produit fini se portent sur la détermination de trois paramètres suivants :

VI.1. Détermination du pH

Le potentiel d'hydrogène mesure l'activité chimique des ions hydrogènes en solution

Principe

Cette analyse consiste à mesurer la différence de potentiel entre l'électrode en verre et l'électrode de référence immergée dans la prise d'essai. Pour y parvenir, l'électrode du pH-mètre étalonné, est immergée dans l'échantillon préalablement broyé. La valeur du pH est lue directement sur

l'appareil une fois stabilisé (HANNA instruments Inc .Woonsocket.RI-USA made in Romania).(Annexe1)

Méthode

Une quantité de chaque échantillon a été broyé puis subit une dilution décimale avec de l'eau distillées comme suit :

Témoin \longrightarrow 7,8 \longrightarrow 78 g
 (5%) \longrightarrow 8,8 \longrightarrow 88 g
 (10%) \longrightarrow 9,1 \longrightarrow 91 g
 (15%) \longrightarrow 9,5 \longrightarrow 95 g
 (20%) \longrightarrow 9,4 \longrightarrow 94 g
 (25%) \longrightarrow 9,3 \longrightarrow 93 g

Chaque mélange a été dans un agitateur magnétique pour faire monter un peu la température. La valeur du pH est lue directement sur le pH mètre une fois stabilisé.

VI.2. Détermination de l'humidité

L'humidité est la teneur en eau correspondant à la totalité de l'eau contenue dans la denrée.

Principe

La mesure de l'humidité a été réalisée à l'aide d'un dessiccateur infrarouge (Annexe1), par le calcul des pertes d'eau d'un échantillon à une température de 120 °C/ 3 à 15 min.

Méthode

5 g de l'échantillon ont été broyés, puis placés dans un dessiccateur préalablement taré, au bout de quelques minutes le résultat a été apparu sur l'écran de l'appareil.

La même opération a été refaite pour tous les échantillons.

VI.3. Détermination de l'activité de l'eau

Principe

La mesure de l'activité de l'eau se fait par un a_w mètre (Annexe 1).

L'activité de l'eau d'un aliment égale au rapport de la pression partielle de vapeur d'eau de cet aliment par la pression partielle de vapeur de l'eau pure à la même température.

Méthode

5 g de l'échantillon broyé ont été introduits dans la cuvette de l' a_w -mètre préalablement étalonné. Une fois l'appareil stabilisé, la valeur de l' a_w est affichée directement sur l'écran de l' a_w mètre. La

même opération a été refaite pour tous les autres échantillons. Les limites seuils des critères physico-chimiques sont présentées dans le **(Tableau 16)**.

Tableau 16 : Les limites et seuils interne à l'unité des critères physico-chimiques

Critère	Limite seuil
Activité de l'eau (a_w)	0,70 – 0,80
Humidité (H %)	11 – 15%
Ph	6,40 – 7

VI.4. Détermination de la teneur en protéines de la génoise

Elle a été réalisée selon la norme : **NA 1185 farines et semoules**

Contrairement aux sucres et aux lipides, les protéines contiennent de l'azote. Cette propriété sera exploitée dans la méthode de détermination de la teneur en protéines dans les aliments.

La méthode Kjeldahl est la méthode de référence pour la détermination des protéines dans les aliments. Il existe deux versions de la méthode qui utilisent le même principe : la méthode macro-Kjeldahl et la méthode micro-Kjeldahl. Elles diffèrent seulement par l'appareillage utilisé et les quantités d'échantillon ; la masse d'échantillon analysée par la méthode macro-Kjeldahl est environ 5 fois plus élevée que celle analysée par la méthode micro-Kjeldahl.

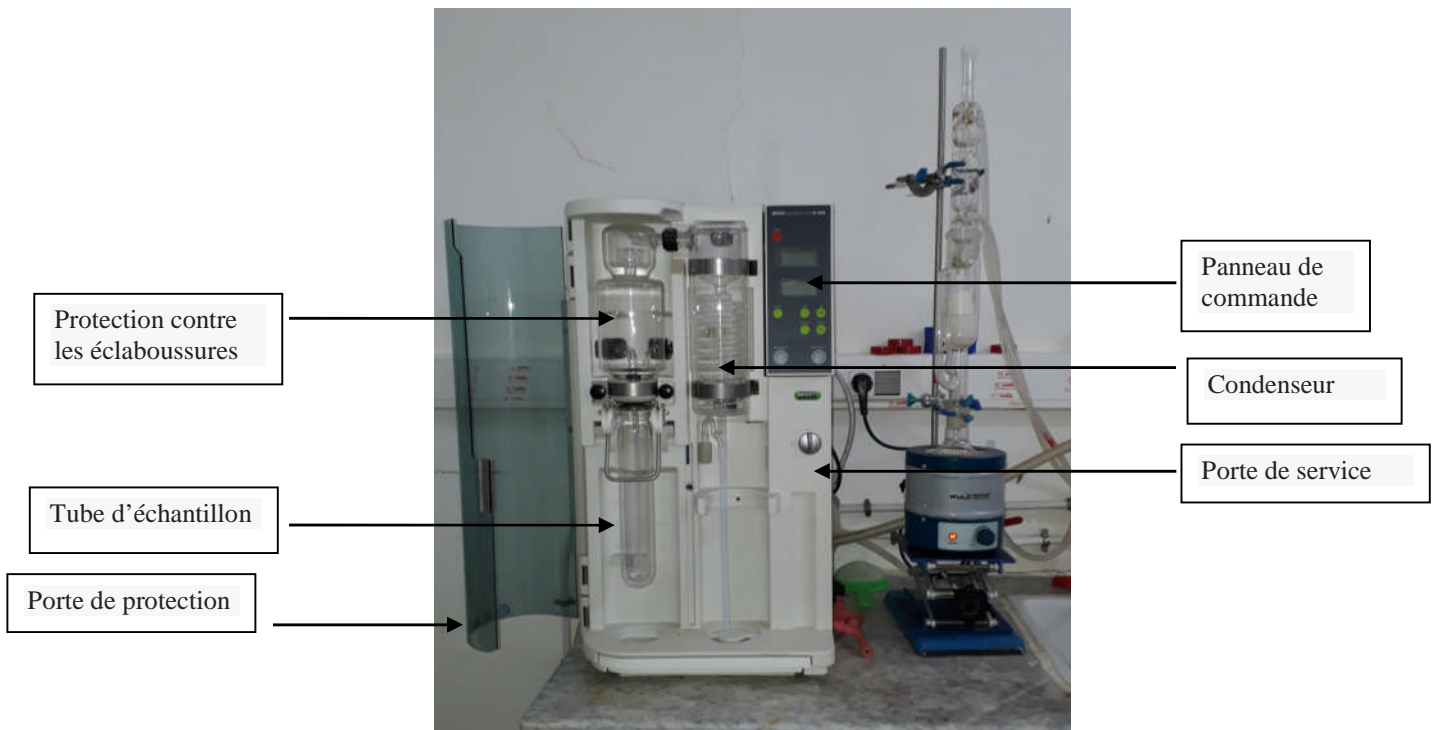


Figure 30 : appareil de distillation à la vapeur Kjeldahl, K-350

VI.4.1. Principe de la méthode

La détermination des protéines par la méthode Kjeldahl s'effectue en trois étapes :

Étape 1 : Digestion ou minéralisation de l'échantillon

Pendant l'étape de la digestion, l'azote protéique est transformé en azote ammoniacal par oxydation de la matière organique dans l'acide sulfurique concentré à haute température, en présence d'un catalyseur et d'un sel.

- L'acide sulfurique concentré a pour but d'oxyder la matière organique et de transformer l'azote protéique en ammoniac NH_3 . Il sert également à piéger l'ammoniac gazeux sous la forme de sulfate d'ammonium, par action de la base avec l'acide.
- L'addition de sel (K_2SO_4) a pour but d'élever le point d'ébullition de la solution pour accélérer la réaction de minéralisation de la matière organique
- Le catalyseur utilisé peut être de nature Hg (HgO), Cu (CuSO_4) ou Se.

Étape 2: Distillation de l'ammoniac

Avant de distiller l'ammoniac à la vapeur d'eau, on doit libérer l'ammoniac sous la forme du sel $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ par l'addition d'une solution concentrée de NaOH en excès. L'ammoniac est ensuite distillé par la vapeur d'eau et piégée dans une solution d'acide borique (H_3BO_3). L'ammoniac réagit avec l'acide borique pour former des sels borates d'ammonium ($\text{NH}_4\text{HB}_4\text{O}_7$).

Étape 3: Titrage de l'ammoniac

L'ammoniac sous la forme de borates d'ammonium est titré directement à l'aide d'une solution standardisée d'acide, tel HCl ou H_2SO_4 , et d'un indicateur.

- un blanc a été préparé en mettant tous les réactifs sauf l'échantillon, pour soustraire l'ammoniac contenu dans les réactifs.

Calcul du % de protéines dans l'échantillon

Le % de protéines dans l'échantillon a été obtenu en multipliant le % d'azote par un facteur F dépendant du type d'aliment analysé.

$$\% \text{ protéines} = \% \text{ N} \times \text{F} = \frac{(\text{V}_E - \text{V}_B) \times \text{C}_N \times 14,01 \times \text{F}}{\text{M}}$$

N= Azote totale

F= Facteur de conversion

V_E : Volume de chute de l'échantillon

V_B : Volume de chute de blanc

M: Masse de la prise d'essai

VI.5. Dosage du fer**VI.5.1. Principe du dosage**

Lorsque on se situe en milieu tamponné ($3,5 < \text{pH} < 5,5$), un complexe de couleur orangée se forme entre le fer et la phénanthroline. Une fois formé, l'absorbance a été mesurée à l'aide du spectromètre à une longueur d'onde où l'absorption est maximale $\lambda = 508 \text{ nm}$. Les absorptions

observables dans le domaine des ondes visibles sont dues aux électrons occupant les orbitales d du fer complexé.

VI.5.2. Préparation des solutions d'étalonnage

A partir de la solution étalon à 1 g Fe/l, une solution à 10 mg Fe/l est préparée. Deux dilutions successives de la solution de départ sont effectuées à l'aide d'une pipette jaugée de 25 ml et de fioles jaugées de 250 ml :

- 25 ml de la solution étalon ONT ETE prélevés et placés dans une fiole de 250 ml à laquelle ONT ETE rajoutés 225 ml d'eau déminéralisée pour obtenir une solution A'.
- 25 ml de la solution A' sont ensuite prélevés et placés dans une autre fiole de 250 ml puis sont complétés à nouveau avec 225 ml d'eau déminéralisée afin d'obtenir la solution désirée qu'on appellera solution A.

7 solutions distinctes contenant toutes les mêmes réactifs mais dans des proportions différentes ont été réalisées

Ces solutions préalablement homogénéisées ONT ETE conservées à l'obscurité dans une boîte en carton pendant 15 minutes avant d'effectuer les mesures.

VI.5.3. Utilisation du spectromètre UV-visible OPTIZEN

Cet appareil permet d'obtenir l'absorbance de différentes solutions avec un seuil d'erreur évaluée à 0.002.



Figure 31: Spectromètre UV-visible OPTIZEN.

Mode opératoire réalisé

Après mise à zéro du spectromètre, deux petites éprouvettes à quartz auxquelles a été associée la valeur zéro qui remplies d'eau déminéralisée.

- Une de ces deux éprouvettes qui A servi de témoin « blanc » a été laissée dans le porte-cuve. Un échantillon de la solution précédemment préparée a été placé dans la seconde cuve. Cette manipulation a pour but de déterminer la longueur d'onde pour laquelle l'absorption est maximale.
- Pour cet échantillon, le spectromètre a fait varier la longueur d'onde du faisceau incident entre 350 nm et 650 nm et a mesuré en retour l'absorbance propre à chacune de ces longueurs d'onde. Une table traçante reliée au spectromètre a tracé simultanément le graphe de l'absorbance de la solution en fonction de la longueur d'onde, permettant ainsi de déterminer la longueur d'onde recherchée : $\lambda=508 \text{ nm}$
- Un étalonnage a été ensuite effectué en sélectionnant cette longueur d'onde d'absorption de 508 nm permettant de réaliser les mesures de l'absorbance des différentes solutions préparées.

Les résultats suivants ont été obtenus (**Tableau 17**)

Tableau 17 : Absorbance des différentes solutions préparées

Numéro Solution	Absorbance
0*	0,002
0	0,001
1	0,101
2	0,395
3	0,406
4	0,753
5	0,890

La droite d'étalonnage du fer représente l'absorbance de chacune des solutions en fonction de sa concentration en fer. Les concentrations obtenues sont citées dans le tableau ci-dessus.

Tableau 18: La concentration des différentes solutions.

Solution	0*	0	1	2	3	4	5
Fe (mg/L)	0	0	1	2	3	4	5

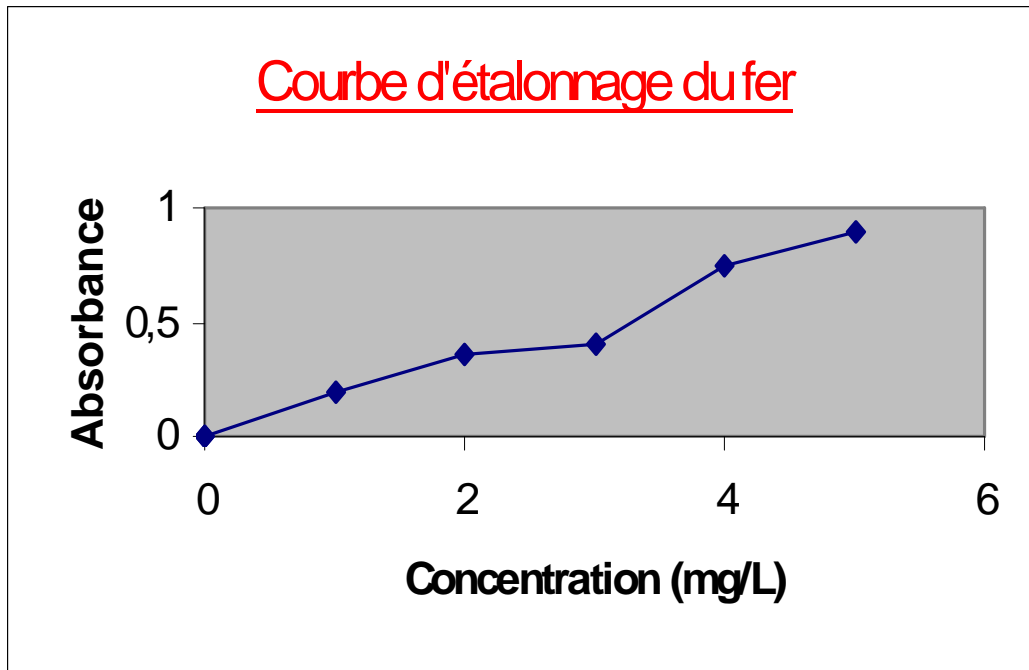


Figure 32 : Courbe d'étalonnage du Fer : l'absorbance de chacune des solutions en fonction de sa concentration en fer

On remarque qu'il y a un problème avec la solution 3 car on était censé obtenir une vraie droite ce qui n'était évidemment pas le cas. Il y avait probablement eu un problème lors de la préparation de la solution (manque d'homogénéisation par exemple). On tient . Cette valeur n'a pas été prise en compte pour le calcul de la pente « a » de cette droite d'étalonnage :

$$A = (0,395 - 0,101)/(2 - 1) = 0,294$$

L'ordonnée à l'origine est $b = 0,002$

D'où l'équation de cette droite d'étalonnage :

$$\text{Abs} = (0,294 * \text{Conc}) + 0,002$$

VI.5.4. Préparation et mesure des solutions d'échantillon à tester

Sept échantillons à tester ont été préparés afin de déterminer les concentrations en fer(II) et en fer(III) de chacune de ces solutions.

Dans un premier temps leur absorbance a été vérifiée en fixant la longueur d'onde à 508 nm avant de déterminer à l'aide de l'équation de la courbe d'étalonnage leur concentration en Fe(II) due à la réduction des anions Fe^{2+} et Fe^{3+} .

VI.6. Dosage du calcium

VI.6.1. Principe du dosage

La concentration des ions calcium dans une solution peut être déterminée par titrage (dosage). Un volume de la solution à analyser, contenant les ions calcium Ca^{2+} a été mesuré, ce volume appelé prise d'essai a été placé dans un erlenmeyer dans lequel une solution tampon (qui stabilise le pH) et un indicateur coloré, le NET, ont été rajoutés. Dans cette prise d'essai, une solution d'EDTA (l'éthylène diammine tetraacétique) a été versée à l'aide d'une burette graduée jusqu'au virage (changement de couleur) de l'indicateur du violet-rose au bleu.

Le V_E le volume de solution d'EDTA a été versée est alors noté.

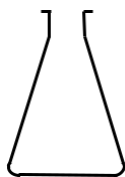
Avec les réactifs choisis, il suffit de multiplier le volume versé exprimé en mL par 80 pour obtenir la concentration en mg/L :

$$\text{Taux } \text{Ca}^{2+} = 80 \cdot V_E$$

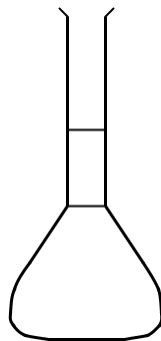
Matériel utilisé



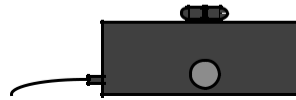
Burette graduée



Erlenmeyer



Fiole jaugée



Agitateur



Pipette jaugée

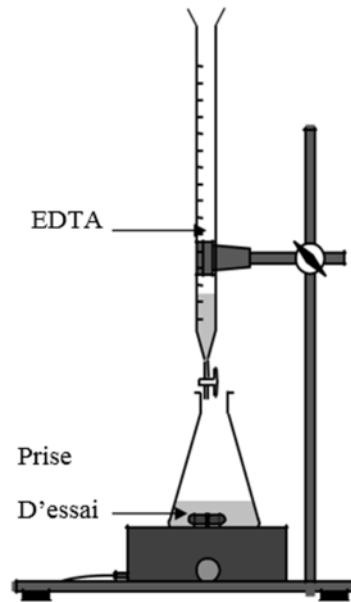
Expériences préliminaires

2 mL de solution tampon pH = 10 ont été introduites dans 3 tubes à essais.

La couleur a été notée après avoir ajouté 2 gouttes de NET, le premier tube a été gardé comme témoin.

2 gouttes de chlorure de calcium en solution ont été rajoutées dans les tubes 2 et 3, Le deuxième tube a été gardé comme témoin ensuite la couleur a été notée. Une solution d'EDTA **acide éthylènediaminetétraacétique** ($C_{10}H_{16}N_2O_8$) a été versée goutte à goutte dans le tube 3 qui a été réservé en observation.

Une solution d'EDTA a été préparée (Annexe 6).



a./ 100 mL de solution à titrer ont été mesurés à l'aide d'une fiole jaugée de 100 ml (Le bas du ménisque formé par la solution à la surface de l'eau devant être au niveau du trait de jauge) puis versé dans un erlenmeyer (prise d'essai).

b./ 10 mL de solution tampon ont été rajoutés dans la prise d'essai (ils ont été mesurés à l'aide d'une éprouvette graduée) et dans laquelle ont été adjointes 10 gouttes de NET avec une pipette.

c./ Après avoir fermé le robinet de la burette, elle a été remplie avec la solution d'EDTA. La bulle d'air située sous le robinet a été chassée et le volume du liquide ajusté au zéro en faisant couler le trop plein par le robinet dans un béccher en plastique (poubelle). (Le bas du ménisque formé par la solution doit être sur la graduation zéro).

d. La prise d'essai a été alors placée sur un agitateur magnétique en-dessous de la burette (cf schéma ci-contre). Avant de mettre en marche l'agitateur, un aimant a été introduit dans la prise d'essai.

e. La solution d'EDTA a été versée dans la prise d'essai jusqu'au virage du violet-rose au bleu. Le virage a lieu à une goutte près !

La valeur du volume d'EDTA versé a été notée : V_E en mL

f. Calcul : le taux d'ions calcium dans la solution en $\text{mg/l} = V_E \text{ en mL} \cdot 80$

VII. Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de contrôle de qualité de la biscuiterie ISO 9 «ISSER DELICE ». Nos échantillons ont été prélevés des génoises fabriqués au laboratoire, l'analyse concernait la recherche des coliformes totaux, levures et moisissures et flore mésophile aérobie.

Ces analyses microbiologiques ont été basées sur plusieurs étapes fondamentales qui sont : la préparation du matériel et des milieux de culture, l'échantillonnage, la préparation des suspensions mères et des dilutions décimales, l'ensemencement et l'incubation et finalement le dénombrement des colonies.

V II.1. Préparation du matériel

Le matériel utilisé (pipettes, boîtes de pétri...) a été lavé puis stérilisé

VII.2. Les milieux de culture

La nature du milieu de culture utilisé dépend en effet de la nature des germes à dénombrer :

Les coliformes totaux : le milieu de culture utilisé pour le dénombrement de ces colonies est : VRBD (VIOLET RED BILE GLUCOSE AGAR W/O LACTOSE).



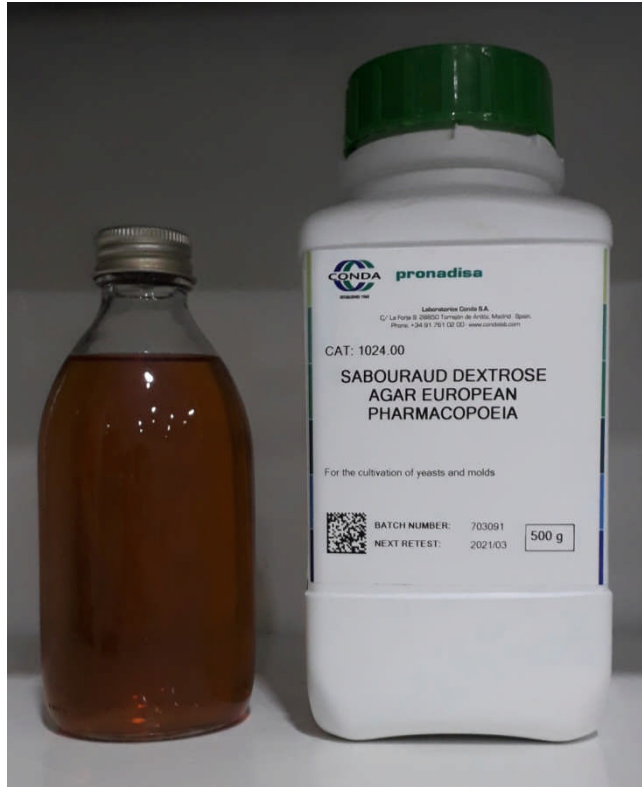
Préparation : 38,53mg de ce milieu de culture ont été dissous dans 1000 ml d'eau distillée. Le mélange a été chauffé doucement pour dissoudre complètement le milieu, sans le mettre dans l'autoclave. Ensuite il a été bien mélangé et refroidi à 45-50°C enfin, le mélange a été versé dans des boîtes de pétri stériles.

La flore mésophile aérobie : le milieu de culture utilisé pour le dénombrement de ces colonies est PLATE COUNT AGAR (PCA)



Préparation : 20,5 g du milieu ont été dissous dans 1L d'eau. Le mélange a été Chauffé à 95-100C° pour dissoudre complètement le milieu, qui ensuite était versé dans des Tubes à essais. Enfin il a été stérilisé à l'aide d'un autoclave pendant 15 minutes à 121°C et refroidi avant son utilisation.

Les levures et moisissures : le milieu de culture utilisé est : SABOURAUD (SABOURAUD DEXTROSE AGAR EUROPEAN PHARMACOPEIA)



Préparation : 65g du SABOURAUD ont été versés dans 1L d'eau distillée et chauffés durant 1 minute pour le dissoudre complètement, enfin le mélange a été stérilisé à l'autoclave à 118-121°C pendant 15 minutes, en évitant de trop chauffer car cela facilite l'hydrolyse des composants et le milieu de culture reste mou.

Eau peptonée



Préparation : 15mg d'eau péptonée ont été dissous dans 1000 ml d'eau distillée, puis chauffés doucement pour dissoudre complètement le milieu et enfin stérilisé à l'aide d'un autoclave pendant 15 minutes à une température de 121°C. La solution a été laissée refroidir avant utilisation.

VII.3. Échantillonnage, préparation des suspensions mères et des dilutions décimales

L'échantillon composé de $n = 6$ paquets de génoise fait maison a été broyé et homogénéisé dans un sac en plastique stérile à l'aide d'un homogénéiseur de laboratoire *Stomacher* (annexe 7).

Dans un flacon contenant 100 ml de diluant (eau peptonée), une prise d'essai de 10 g de l'échantillon broyé a été introduite et homogénéisée afin de réaliser une suspension mère de 10^{-1} .

La préparation des dilutions décimales s'est faite en mélangeant un volume déterminé de la Suspension mère avec un volume 9 fois égal de diluant, et en répétant cette opération sur Chaque dilution ainsi préparée, jusqu'à obtention d'une gamme de dilutions décimales appropriée pour l'inoculation des milieux de culture.

VII.4. Ensemencement et incubation

Les conditions d'incubation (température et durée) sont spécifiques pour chaque micro-organisme et sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 19 : Conditions d'incubation des germes recherchés

Le germe	Le milieu de culture utilisé	La température d'incubation	Le temps d'incubation
Les coliformes totaux	Double couche de VRBD	30 °C	24 à 48 h
Flore mésophile aérobie	PCA	30 °C	48 à 72 h
Levures et moisissures	Gélose Sabouraud	25 °C	72 h à 5 jours

VII.5. Recherche et dénombrement des colonies (coliformes totaux, levures et moisissures et flore mésophile aérobie)

Un volume de 1 ml de chaque dilution préparée préalablement a été stérilement ensemencé dans divers milieux nutritifs gélosés spécifiques pour chaque micro-organisme coulés dans des boîtes de pétri (annexe 8)

Pour bien mélanger la gélose des mouvements circulaires de va-et-vient en forme de 8 ont été effectués assurant ainsi une homogénéité parfaite.

Les boites ont été laissées se solidifier dans la haute (annexe 8)

Les boites ont été incubées en couvercle en bas, à des temps et températures spécifiques (annexe 8).

Pour chaque micro-organisme, deux boites de Pétri par dilution ont été préparées pour tester la reproductibilité de l'essai (annexe 8).

VIII. Détermination des caractères organoleptiques

Les attributs de la qualité les plus importants dans les aliments sont les caractéristiques sensorielles : la texture ; la flaveur, l'arôme, la taille et la couleur.

La qualité du biscuit, se traduit par une maîtrise rigoureuse des caractéristiques physiques (dimensions, couleur, humidité), apparence de la surface et de la texture (densité, dureté, résistance aux bris) (FUSTIER, 2006). Cette qualité est gouvernée par la nature et la quantité des ingrédients utilisés (MAACHE-REZZOUG *et al.*, 1998a).

Dans le cas des génoises, la couleur, la texture et la saveur sont des paramètres importants dont on doit contrôler.

Les caractéristiques organoleptiques déterminées sur le produit fini sont :

✓ **Couleur**

La couleur est un facteur déterminant dans la définition de la qualité de n'importe quel aliment et elle est un trait que le consommateur remarque immédiatement comme elle influence l'impression sensorielle subjective (LARA *et al.*, 2011).

✓ **Texture**

Elle est déterminée principalement par la teneur en humidité, en gras et les types et les quantités des carbohydrates structurales (cellulose, amidons ; pectines...etc.) et les protéines présentes (FELLOWS, 2000). Elle influe considérablement la perception du consommateur.

La texture est un critère de qualité important, ou la formation d'une mie tendre et flexible est désirée (LARA *et al.*, 2011), Les propriétés de texture des aliments:

- une évaluation initiale de la dureté ; la friabilité.
- une perception de la mastication et l'adhésion, l'humidité, si le produit est gras, avec une évaluation de la taille et la géométrie des particules de l'aliment.
- une perception de la vitesse de fracturabilité de l'aliment pendant la mastication, la libération de l'eau ...etc. (FELLOWS, 2000)

✓ **Saveur**

Les attributs du goût sont le salé, le sucré, l'amère et l'acidité. Les composants volatiles d'arôme sont produits sous l'effet de la chaleur, l'oxydation, l'activité non enzymatique sur les protéines, la matière grasse et les carbohydrates (ex. réaction de Maillard) (FELLOWS, 2000).

VIII.1. Modalités d'évaluation sensorielle et traitement statistique

Le consommateur désire des génoises qui correspondent à son goût et qui lui procurent des satisfactions sensorielles.

Pour déterminer l'acceptabilité du produit, Les échantillons des génoises ont été présentés et codé avec des numéros différents à 14 panélistes qui ont été invités à évaluer chaque attribut sensoriel (de laboratoire de contrôle de qualité de la Biscuiterie Sarl ISO 9 International). Les génoises ont été évaluées pour la couleur de la surface, la texture, la saveur et la qualité globale sur une échelle hédonique de 9 points (HOODA & JOOD, 2005).

Cette notation est fonction de l'appréciation personnelle de celui qui juge ou apprécie le produit, et les résultats obtenus ne peuvent pas être considérés comme absolus.

Le traitement des données pour le test hédonique a été réalisé en se servant du test de Friedman et de tables statistiques pour un niveau de signification de 5%. Alors que pour le test descriptif nous avons réalisés une analyse de variance l'Office 2007 (Excel statistique) servira pour l'analyse.

Le test de NEWMAN et KEULS servira pour classer la génoise en fonction de chaque critère d'appréciation.

VIII.2. Méthodes d'analyses sensorielles

La méthode d'analyse sensorielle a consisté essentiellement à la désignation du panel, au codage des échantillons, à la préparation des échantillons et à la réalisation proprement dite de l'épreuve.

VIII.3. Panel de dégustation

Le test hédonique a nécessité un panel de 14 dégustateurs tout sexe et âge confondus

VIII.4. Codage des échantillons

Les échantillons ont été codés par des lettres : T, A, B, C, D, E .allant du témoin par ordre Croissant de la richesse en spiruline.

VIII.5. Préparation des échantillons

Les échantillons qui ont fait l'objet des différentes épreuves sensorielles ont été produits dans les mêmes conditions et préparés suivant la même méthode afin de limiter les modifications au sein des produits. Ils ont été mis dans des assiettes en verre par combinaison. Six (06) échantillons de génoise ont fait l'objet du test hédonique.

VIII.6. Conduite des tests de dégustation

Un test de dégustation à été réalisé. Chaque dégustateur a reçu une combinaison d'échantillons, une fiche d'évaluation et un verre d'eau pour se rincer la bouche entre deux échantillons. Les dégustateurs ont été invités à apprécier les échantillons sur la fiche d'évaluation. Les fiches dûment remplies par les dégustateurs ont été retirées à la fin de l'évaluation et les données ont été organisées puis traitées. Une formation minimale est faite à l'intention des dégustateurs : principe de notation ou d'appréciation, remplissage de la fiche de notation, nature de l'échantillon, les paramètres à évaluer. Notons que les fiches de dégustations sont conçues en fonction des épreuves sensorielles à réaliser test hédonique.

IV.1. Analyses physico-chimiques

La génoise est un produit de biscuiterie qui est un aliment à humidité intermédiaire nécessitant une maîtrise efficace de l'humidité, l'activité de l'eau et le pH pour préserver la qualité du produit fini. A cet effet, les trois paramètres ont été mesurés pour montrer l'effet de l'ajout de la spiruline dans la crème de fourrage et son influence sur la qualité de la génoise.

IV.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

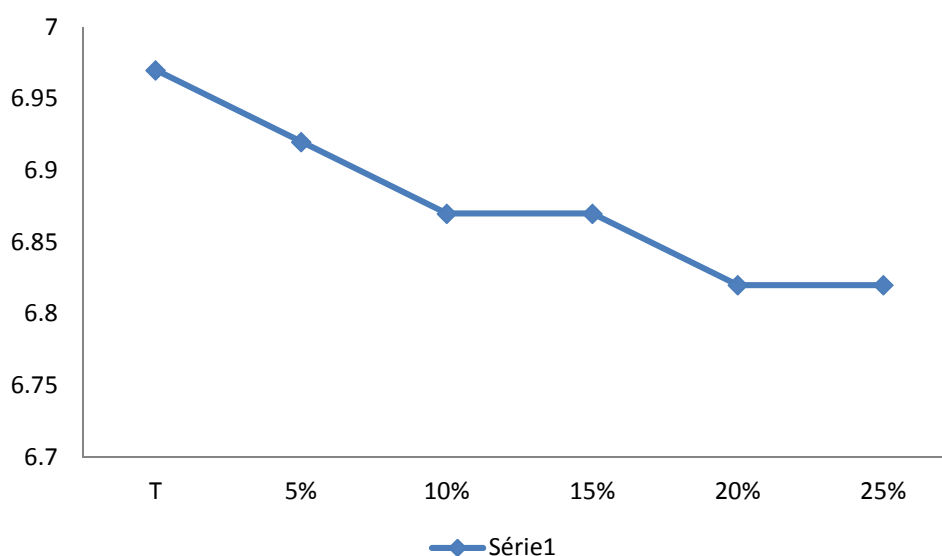


Figure 33: pH des différents échantillons de la génoise.

Le pH de l'aliment agit directement sur le développement microbien et par conséquent sur la qualité du produit. Si le produit est riche en glucides et a un $\text{pH} > 6$ il y a tendance à la fermentation lactique et par suite à la diminution du pH et à l'apparition d'un goût acide désagréable. L'acidophilie est une propriété que l'on rencontre surtout chez les levures, les moisissures et chez certaines bactéries. Dans les aliments dont le pH est compris entre 4,5 et 9,5, de nombreuses altérations sont susceptibles de se produire et la plupart des bactéries pathogènes cultivent dans ces conditions (GUIRAUD, 2003; CUQ, 2007).

On remarque d'après cette figure que les valeurs du pH varient très peu elles oscillent entre 6,8 et 7. Ces dernières respectent les seuils et normes internes à l'unité de production ISSER DELICE. Néanmoins, le contrôle de ce dernier est de vigueur afin de surveiller la prolifération de levures et moisissures qui pourrait être due à la richesse de la spiruline en glucides.

IV.1. 2. Activité de l'eau

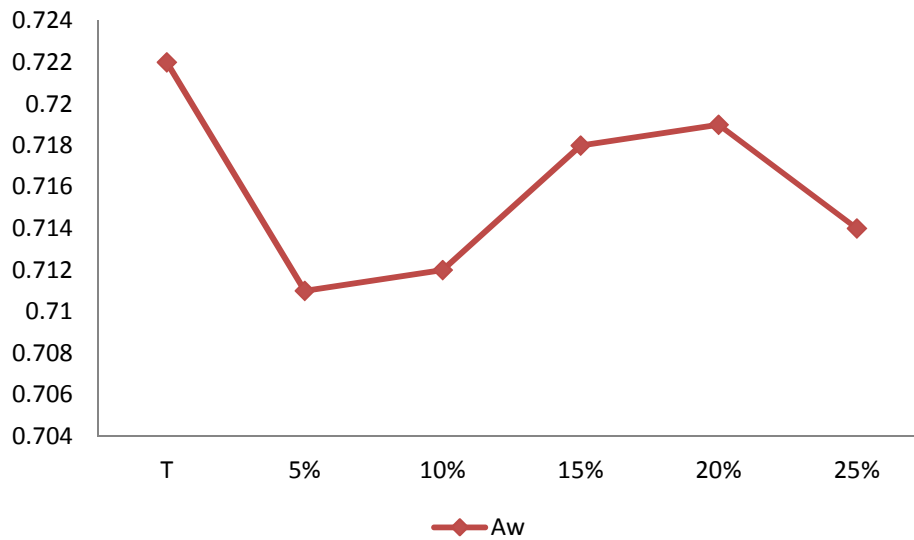


Figure 34: L'activité de l'eau des différents échantillons.

L'activité de l'eau est l'un des principaux paramètres influençant la conservation des aliments, elle représente la pression de vapeur d'eau d'un produit humide divisée par la pression de vapeur saturante à la même température.

Selon LESSAGE et MOLARD (1991), les valeurs de l'activité de l'eau comprises entre 0,60 et 0,80 sélectionnent les microorganismes, source d'altération. La plupart des microorganismes exigent pour leur développement une a_w supérieure.

On peut déduire que plus l'activité de l'eau est élevée, plus la quantité d'eau libre est grande et plus les micro-organismes se développeront. D'après cette figure les valeurs a_w varient entre 0,70 et 0,73 et qui restent acceptables selon LESSAGE ET MOLARD (1991). Ces valeurs sont aussi dans les limites et seuils internes acceptables au niveau de l'unité de fabrication des génoises ISSER DELICE (**Tableau 16**).

IV.1.3. Humidité

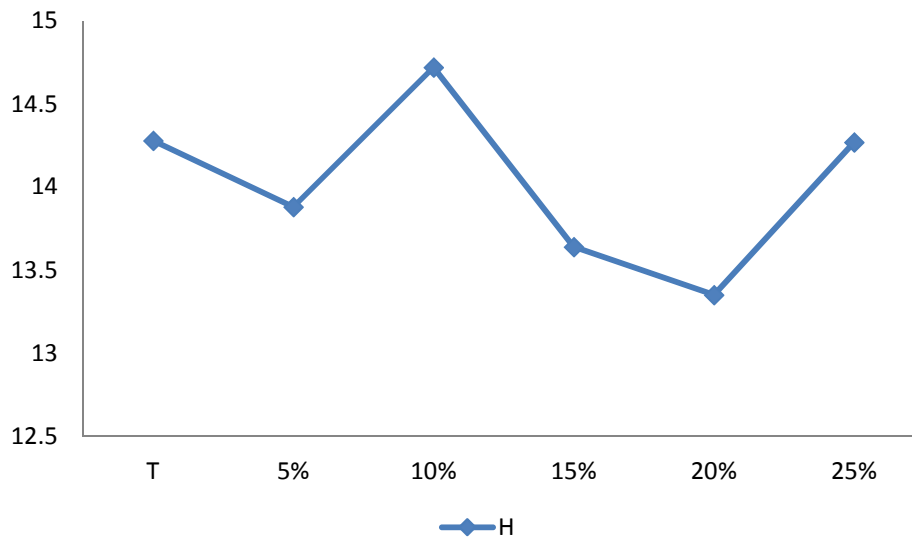


Figure 35: Le taux d'humidité dans les différents échantillons.

L'humidité représente le facteur de détérioration prépondérant quant à la perte du moelleux des produits de pâtisserie. Il est vrai que l'altération de la fraîcheur est la conséquence de la rétrogradation de l'amidon. Mais, il faut noter que la rétrogradation est une redistribution de l'eau. Au fait, plus la génoise est rassise, plus l'humidité en migrant vers l'extérieur favorise la rétrogradation de l'amidon (VIERLING, 2008). **La Figure 35** montre des taux en humidité variables entre 13 et 14 dans tous les échantillons de la génoise.

La teneur en humidité fait partie des paramètres les plus importants mesurés dans les produits alimentaires car elle influe sur la stabilité et la qualité du produit.

On remarque que l'ajout de spiruline n'influence pas sur la qualité de la génoise, ces valeurs qui varient entre 13 et 14 s'inscrivent dans les limites et seuils internes fixés par l'unité de production ISSER DELICE.

Les industries alimentaires nécessitent un pourcentage minimum ou maximum de l'humidité sur certains aliments afin qu'ils soient emballés et étiquetés. Si elles ne correspondent pas à ces normes, les aliments ne peuvent pas être vendus.

IV.1.4. Résultats d'analyses physico-chimiques du produit fini (Tableau 21)

Paramètre recherché	unité	Témoin	5%	10%	15%	20%	25%	Norme et méthode
Protéine	%	6,16	9,1	12,04	14,99	17,93	20,87	NF EN ISO 5983/1
Calcium	mg	32,25	48,33	110,42	175	230	285	Spectrophotomètre
Fer	mg	0,8	9,5	17	22,5	32,55	39	Spectrophotomètre

IV.1.4.1. Teneur en protéines (%)

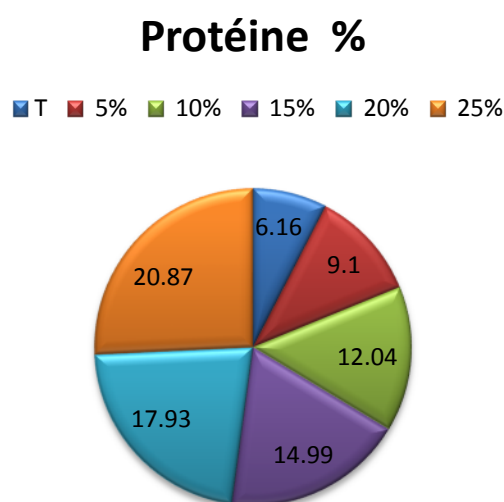


Figure 36: Teneurs en protéine dans les différents échantillons.

Les résultats consignés dans cette figure selon la méthode NF EN ISO 5983/1 indiquent que les échantillons étudiés présentent des teneurs appréciables en protéines et, qui augmentent en fonction du taux de spiruline additionnée dans chaque échantillon.

La teneur en protéine chez la génoise témoin est de 6,16%, celle-ci a augmenté de 2,94% chez la génoise enrichie à 5% de spiruline. Cette valeur n'est pas très éloignée de celle rapportée par (BOUDAUD, 2016) concernant le couscous témoin (9,9%) et dont l'augmentation était de 1,06 pour une incorporation en spiruline de 2%.

Cette augmentation serait due à la richesse de la spiruline en protéines et qui pourrait être derrière ces résultats.

IV.1.4.2. Teneur en calcium

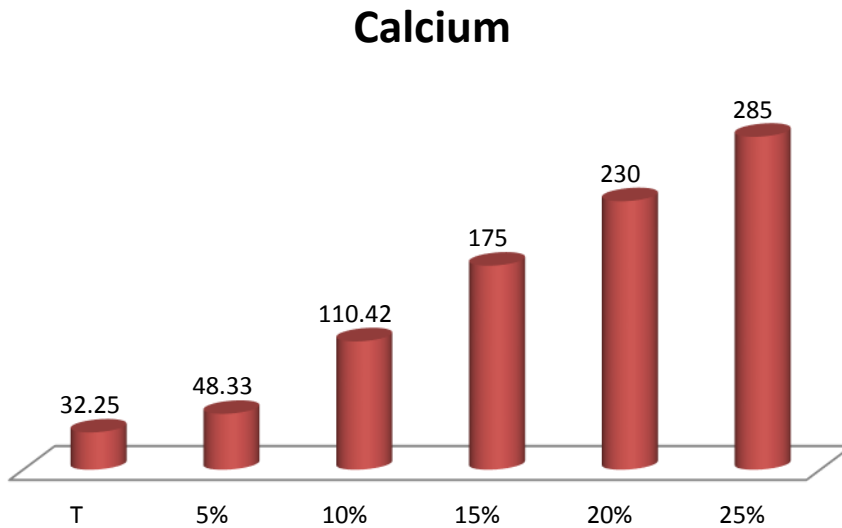


Figure 37: Teneur en calcium dans les différents échantillons de la génoise.

Cette figure nous renseigne sur le taux de calcium en fonction des différentes concentrations en spiruline additionnée au produit. Il s'avère que ce taux est proportionnel à la quantité en spiruline additionnée.

IV.1.4.3. Teneur en fer

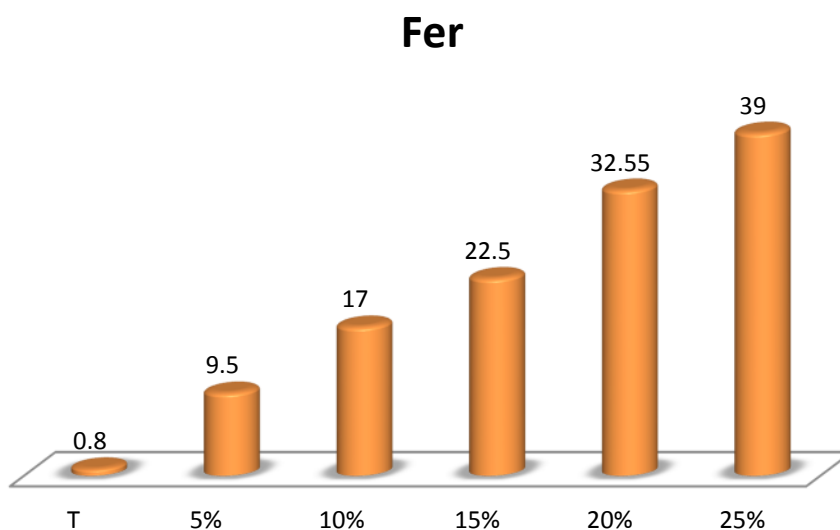


Figure 38: La quantité de fer dans les génoises enrichies à la spiruline.

La très haute teneur en fer de la spiruline cultivée (550-6000 mg/kg) est à souligner ((FALQUET & HURNI, 2008). Par comparaison, les céréales complètes, classées parmi les meilleures sources de fer, n'en contiennent que 150 à 250 mg/kg; de plus le fer d'origine végétale ne présente qu'une très faible biodisponibilité, seul environ 5% de ce fer est réellement absorbable, à cause de la présence de facteurs anti-nutritionnels (comme les phytates et les tanins) qui empêchent la métabolisation du fer (FALQUET & HURNI, 2008). Dans le cas de la spiruline, la biodisponibilité élevée du fer a été démontrée tant chez le rat (JOHNSON, 1986; KAPOOR *et al.*, 1993) que chez l'homme (PUYFOULHOUX *et al.*, 2001). Cette dernière étude démontre que le fer de la spiruline est mieux absorbé que celui de la viande, ce qui est exceptionnel pour un fer non-héminique. Selon les mêmes travaux, le taux de formation de ferritine après digestion de spiruline serait plus de six fois plus élevé que dans le cas d'une même quantité de fer apporté par digestion de viande.

IV.2. Analyses microbiologiques

Parmi les obligations de règles à observer en agro-alimentaire, les organismes internationaux (OMS, FAO...) insistent sur le respect des règles d'hygiène et de sécurité, seules garantes de la santé du consommateur. Par conséquent, le contrôle de la qualité d'un produit destiné à la consommation humaine ne pourrait se faire sans évaluation de la qualité microbiologique. En effet, les micro-organismes sont les agents les plus fréquemment rencontrés dans les aliments responsables des troubles de la santé (FAO, 1994).

Tableau 20 : Résultats d'analyses microbiologiques de la génoise

Echant.	Lecture	Flore Mésophile Aérobie	Coliformes totaux 30 °C	Levures	Moisissures	Observation
A: Témoin	24 h	$1,1 \times 10^2$	00	30	00	
	48 h			90		
	72 h					
B: 5%	24 h	$1,6 \times 10^2$	00	10	10	
	48 h			10	10	
	72 h					
C: 10%	24 h	$1,7 \times 10^2$	00	10	10	
	48 h			40	20	
	72 h					
D: 15%	24 h	$1,8 \times 10^2$	00	40	20	
	48 h			40	30	
	72 h					
E : 20%	24 h	$2,1 \times 10^2$	00	20	40	
	48 h			30	50	
	72 h					
F : 25%	24 h	$2,3 \times 10^2$	00	20	40	
	48 h			20	60	
	72 h					

Les analyses microbiologiques des différents échantillons de la génoise, ont été portées sur les levures, moisissures, coliformes totaux et flore mésophile aérobie.

En comparant les résultats d'analyses microbiologiques des différents échantillons de la génoise avec les valeurs limites, on constate que la qualité microbiologique de la génoise est satisfaisante, à défaut de la réglementation nationale, les normes internationales ont été utilisées pour fixer les valeurs seuils des différents échantillons de la génoise.

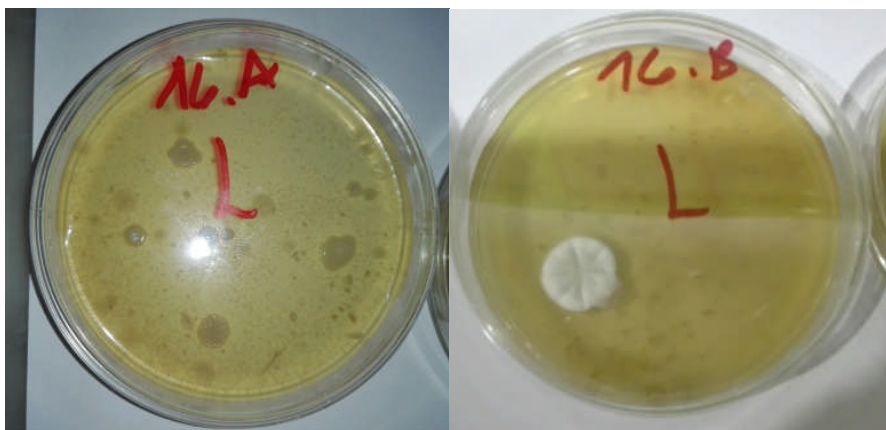
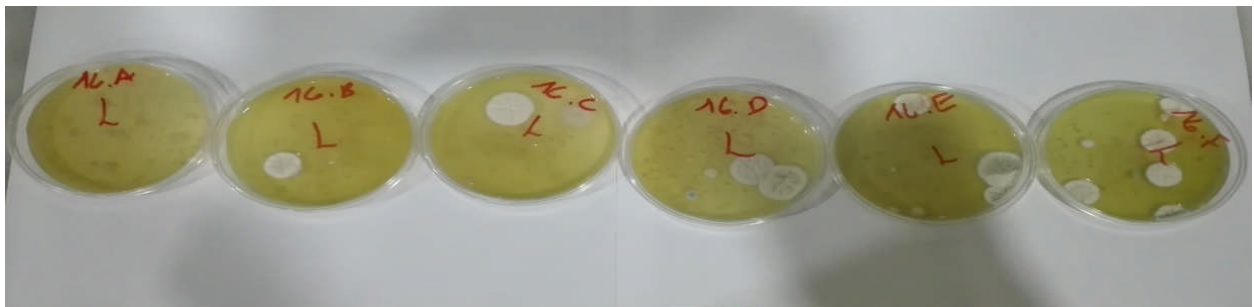
Ces résultats indiquent une charges en flore mésophile aérobie qui selon (ROZIER *et al.* 1985) nous renseigne sur l'état de propreté de manipulation et les conditions de conservations.

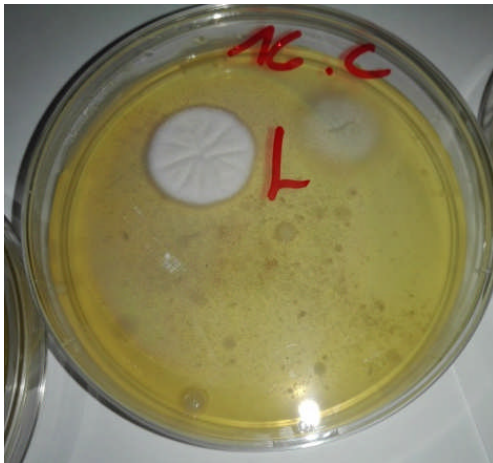
Cette flore croit avec l'enrichissement de l'échantillon en spiruline mais qui reste acceptable ($\leq 10^5$). **Figure 1 en annexe 7**

La présence de levures dans le produit fini est très proche dans tous les échantillons. **Figure 2 en annexe 7**. Alors que les moisissures augmentent à chaque fois que le taux de spiruline augmente dans l'échantillon. **Figure 3 en annexe 7**. cela est due à la forte teneur en protéines de la spiruline: La plupart des moisissures assimilent l'ammoniaque sous forme de sels (NH_4^+) dont la présence réprime l'utilisation d'autres sources azotées (nitrate, acides aminés, protéines). L'ammoniaque est transformée en acide glutamique, en glutamine ou en d'autres acides aminés par transamination (BOIRON, 1996). Les valeurs obtenues ($\leq 10^2$) restent acceptables pour les levures et moisissures.

Nous avons noté une absence totale des coliformes totaux 30°C qui peut nous renseigner sur les conditions d'hygiène du personnel et du matériel.

Photos des analyses microbiologiques (levures).





IV.3. Evaluation sensorielle des génoises

Suite à l'analyse des résultats de l'évaluation de la qualité de la génoise fourrée à la crème à base de spiruline par un jury de dégustation, il a été constaté que les échantillons de génoise enrichis en spiruline ont été jugés acceptables voire préférables par rapport aux génoises sans spiruline. En outre, le goût et la saveur des génoises ont été améliorés par l'incorporation de l'arôme *Pistacia Lentiscus* qui lui a donné un goût agréable et typique.

Tableau 21 : Influence de la spiruline sur l'acceptabilité de la génoise (moyenne \pm Ecart type).

La spiruline	La couleur	La texture	La saveur
Témoin	7,28 \pm 0,91	7,71 \pm 0,61	6,92 \pm 1,44
5%	7,78 \pm 1,05	7,64 \pm 0,50	7,35 \pm 0,74
10%	7,85 \pm 0,95	7,57 \pm 0,51	7,42 \pm 0,51
15%	6,92 \pm 1,73	7,5 \pm 0,52	7,71 \pm 0,61
20%	6,28 \pm 1,98	7,57 \pm 0,51	6,5 \pm 1,02
25%	6,35 \pm 1,60	7,57 \pm 0,51	6,07 \pm 0,83

IV.4.1. Couleur

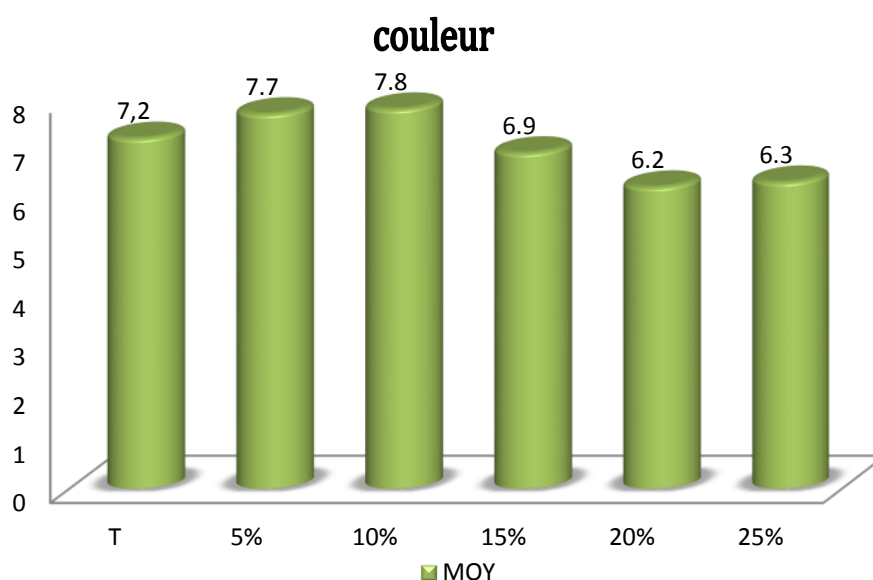


Figure 39: L'influence de la spiruline sur la couleur de la génoise.

Les études d'évaluation sensorielle ont montré que la couleur de la crème et l'apparence de la génoise contenant de la spiruline étaient acceptables à tout les pourcentages mais plus appréciable au niveau d'incorporation de 10 et 15% **Figure 39**. Au-dessus de ces niveaux, la couleur de la génoise était relativement sombre, par conséquent, moins appréciable par les membres du jury de dégustation. La couleur sombre est due au pourcentage élevé de spiruline dans la crème qui induit une présence importante en chlorophylle sachant que la spiruline contient 0,6 g de ce pigment au bien fait innombrable.

IV.4.2. Texture

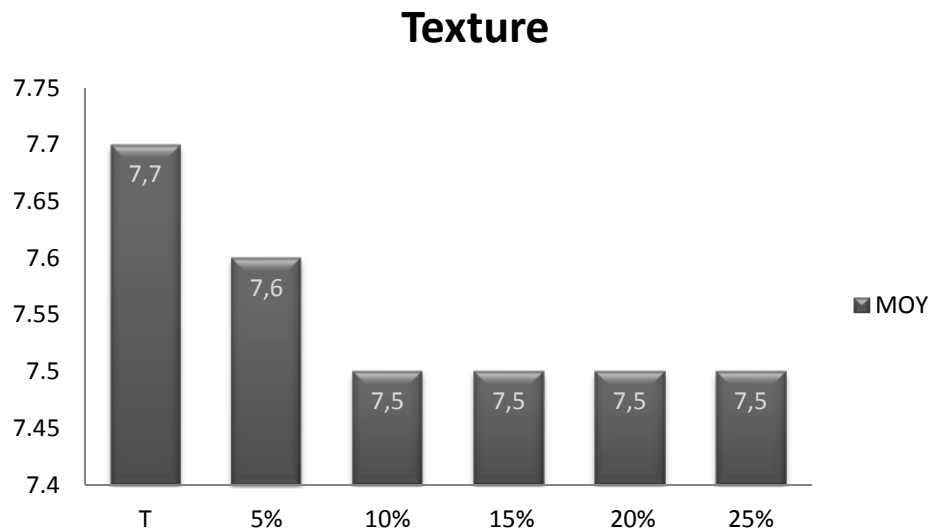


Figure 40: Moyenne attribués pour le caractère texture par le panel de dégustateurs.

Les résultats de l'évaluation sensorielle ont montré que la texture était très appréciable à tous les niveaux. La spiruline incorporée à la crème n'avait aucune influence sur la texture de la génoise ce qui explique la stabilité des moyennes à des pourcentages différents.

IV.4.3. Saveur

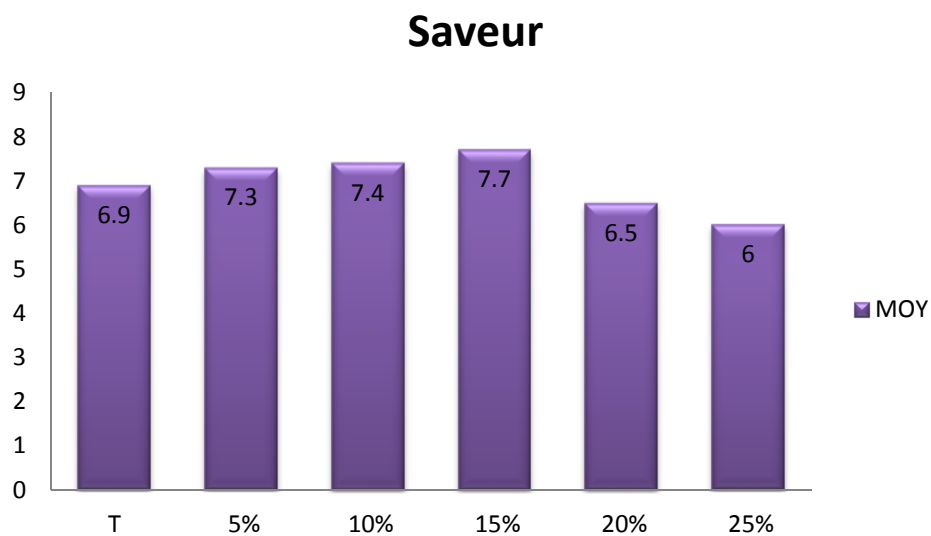


Figure 41: La moyenne des notes donnée par les panélistes pour le critère saveur.

D'après les analyses de l'évaluation sensorielle, les pourcentages les plus appréciés en termes de goût et de saveur sont le 5 ; 10 et 15% décrits comme savoureux et délicieux. Le goût umami de la génoise correspond à celui du mono-glutamate de sodium un acide aminé non essentiel présent dans la spiruline à un taux élevé. Au delà de 20% la génoise aurait un goût légèrement sucré est moins appréciée et cela est dû au taux de glucide élevé à un certain niveau de pourcentage de spiruline dans la crème de fourrage.

Conclusion

L'objectif de ce travail consiste à la détermination des caractéristiques physicochimiques et les effets de l'incorporation de la spiruline dans une crème de fourrage préparée à froid dans le but d'obtenir une nouvelle génoise enrichie. L'appréciation de cette dernière se manifeste dans ses propriétés nutritionnelles et organoleptiques. En effet, les résultats obtenus sont satisfaisants et en accord avec les retombées attendues puisque les données ont permis de prendre en considération tous les paramètres essentiels pour l'obtention d'un nouveau produit très riche en nutriments tout en gardant les mêmes caractéristiques d'une génoise standard.

A l'achèvement de ce travail, sur la valorisation de la spiruline après son introduction dans une crème fouettée, nous avons tiré les conclusions suivantes : le teste organoleptique révèle que les génoises les plus appréciées par les panelistes sont là de 5% ; 10 % et 15%. Les analyses physico-chimiques effectuées sur le produit fini (génoise) confirment son enrichissement en protéines, calcium et fer.

- Protéines (5% = 9, 1%; 10% =12, 04%; 15% = 14,99%) ;
- Calcium (5% = 48, 33 mg 10%=110, 42 mg; 15% =175 mg) ;
- Fer (5% = 9, 5 mg; 10% =17 mg; 15% = 22, 5 mg).

Enfin, nous jugeons que d'autres études sembleraient nécessaires pour compléter cette étude et expliquer l'effet bénéfique de la spiruline non seulement dans l'amélioration de la qualité de la génoise, mais aussi dans d'autres produits alimentaires. Aussi, des études microscopiques et physico-chimiques approfondies demeurent intéressantes pour expliquer le phénomène par lequel la spiruline agit sur les caractéristiques culinaires de la génoise et de ses différents constituants biochimiques. Il serait également intéressant par ailleurs, comme perspectives : **1.-** L'industrialisation des génoises enrichies par la spiruline tout en validant sa qualité nutritionnelle et technologique. **2.-** Encourager et promouvoir la culture de spiruline 100 % naturelle en Algérie afin de réduire l'usage de produits de synthèse dans l'industrie agroalimentaire.

Références bibliographiques

A

ALGOSOPHETTE. (2007). La peau, les cheveux et les ongles avec la spiruline.

Arrêté du 21 décembre 1979, JORF du 19 janvier 1980 numéro complémentaire, relatif aux critères microbiologiques auxquels doivent satisfaire certaines denrées animales ou d'origine animale.784-789.

Article R112-22 du code de la consommation. [24/02/2010] .Available from Internet. <URL: <http://www.legifrance.gouv.fr> >

B

BOUDENE, C., COLLAS, E. & JENKINS, C. (1975). Recherche et dosage de divers toxiques minéraux dans les algues spirulines de différentes origines, et évaluation de la toxicité à long terme chez le rat d'un lot d'algues spirulines de provenance mexicaine. *Ann.Nutr.Aliment.* 29, 577-87.

BEADLE, L. C. (1943). An ecological survey of some inland saline waters of Algeria. *Journal of the Linnean Society: Zoology*, 41(278), 218-42

BENNION, E., BAMFORD, G.S.T. & BENT, A. J. (1997). The technology of cake making (6ème édition). Blackie Academic and Professional, Boundary Row. pp 421.

BELAY, A. (1997). Mass culture of *Spirulina platensis* - The Earthrise farms Experience *In* "Spirulina platensis (Arthrospira)" Ed. Avigad Vonshak, Taylor & Francis, Londre, pp.131-158.

BORIES, G. & TULLIEZ, J. (1975). Détermination du 3-4-benzopyrène dans les algues spirulines produites et traitées suivant différents procédés. *Ann. Nutr. Aliment.* 29, pp. 573-575.

BOUDAUD, S. (2016). L'incorporation de la spiruline sur les qualités nutritionnelles, organoleptiques et technologiques du couscous artisanal. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master en agronomie. pp. 102.

BOURGEOIS, C.M. (1991). Prédiction de la durée de conservation des produits. *In: Techniques d'analyses et de contrôles dans les industries Agro-alimentaires: le contrôle microbiologique* (2^{ème} édition). Bourgeois C.M. et Leveau J.Y. Techniques et Documentation Lavoisier, Paris. pp123-134

BRANGER, A., RICHER, M.M. & ROUSTEL, S. (2007). Alimentation et processus technologique. Educagri Editions, Dijon. p293.

C

CASTENHOLZ, R.W., RIPPKA, R., HERDMAN, M. & WILMOTTE, A. (2001). Form-genus I. *Arthrospira* Stizenberger 1852. D. R. Boone & R.W. Castenholz, eds. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. New York, USA: Springer. 1, pp.542-543.

CASTENHOLZ, R.W., RIPPKA, R., HERDMAN, M. & WILMOTTE, A. (2001). Phylum BX. cyanobacteria. *In Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology* pp. 473-599.

CAUVAIN, S.P. & YOUNG, L.S. (2008). Bakery food manufacture and quality: Water control and effects (2^{ème} édition). Blackwell Publishing, Oxford : p289.

CHABOISSIER, D & LEBIGRE, D. (2005). Compagnon et maître pâtissier. Editions Jérôme Villette , Tome 2 Technologie de la pâtisserie. pp206.

CHARPY, L., LANGLADE, M. J. & ALLIOD, R. (2008). La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique. Institut de Recherche pour le Développement. Marseille. Rapport d'expertise pour le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. pp49.

CHARPY, L., MARIE, J., LANGLADE, S & ROMAIN, A. (2008). La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique? Marseille. Page: 6-7-12-28-19-20.

COHEN, Z. (1997). Chemicals from *Spirulina* in "*Spirulina platensis*: Physiology, cell-biology and biotechnology". Ed. A. Vonshak, Taylor & Francis Ltd.

CHAMORRO-CEVALLOS, C. (1980). *Toxicological Studies on Spirulina Alga: Sosa Texcoco SA Pilot Plant for the Production of Protein from Spirulina Alga*. United Nations Industrial Development Organization.

CIFERRI, O. (1983). Spirulina, the Edible Microorganism. *Microbiological reviews*, 47(4), p.551.

CUQ, J.L. (2007). Microbiologie Alimentaire : Les relations microorganisms/ aliments/ consommateurs, Département Sciences et Technologies des Industries Alimentaires 4^{ème} année. *Université Montpellier II Sciences et Techniques du Languedoc*, pp.2-17.

CUQ, J.L. & GUILBERT, S. (1992). Cuisson et conservation des aliments. *In* : Alimentation et nutrition humaine. Dupin H., Cuq J.L., Malewiak M.I., Leynaud Rouaud C. et Berthier A.M. ESF Editeur, Issy-les-Moulineaux .1183-1231.

CRUCHOT, H. (2008). La Spiruline, Bilan et Perspective. Thèse docteur en pharmacie. Faculté de médecine et de pharmacie de Besançon. Université de France-Comite.

D

DARGENT, L. (2009). *Spirulina plaensis* et ses constituants intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques. 175p Thèse disponible sur : [http://docnum.univlorraine.fr/public/SCDPHA_T_2009_LAURENT-DARGENT_JONATHAN .pdf](http://docnum.univlorraine.fr/public/SCDPHA_T_2009_LAURENT-DARGENT_JONATHAN.pdf)

Décret exécutif n° 13-378 du 5 Moharram 1435 correspondant au 9 novembre 2013 fixant les conditions et les modalités relatives à l'information du consommateur

DELACHARLERIE, S., DE BIOURGE, S., CHENE, C., SINDIC, M. & DEROANNE, C. (2008). HACCP organoleptique : Guide pratique. Presses Agronomiques de Gembloux, Belgique. 176p.

DELPEUCH, F., JOSEPH, A. & CAVELIER, C. (1975). Consommation alimentaire et apport nutritionnel des algues bleues (*Oscillatoris platensis*) chez quelques populations du Kanem (Tchad). *Annales de la Nutrition et de l'Alimentation*. 29, 497-515.

DESROCHERS, J.L., SEITZ, K.D., WALKER, C.E. & WRIGLEY, C., (2004). Cakes: Chemistry of manufacture. *In*: Encyclopedia of grain science. Wrigley C., Corke H. et Walker C.E. Academic Press, Burlington.129-133p.

Directive 2000/13/CE du Parlement européen et du conseil du 20 mars 2000, JOCE du 06 mai 2000, relative au rapprochement des législations des États membres concernant l'étiquetage et la présentation des denrées alimentaires ainsi que la publicité faite à leur égard .29-42p.

DJENANE, D. (2005).Antioxydants et limitation des UV : pour prolonger la durée de vie commerciale commerciale des viandes fraîches Vigie-viande, 354p

DJENANE, D., BELTRAN, J.A., CAMO, J., & RONCALES, P. (2016). Influence of vacuum-ageing duration of whole beef on retail shelf life of steaks packaged with oregano (*Origanum vulgare* L.) active film under high O₂. *Journal of Food Science and Technology*. 53, 4244-4257.

DJENANE, D., SANCHEZ, A., BERTRAN, J.A. & RONCALES, P. (2001). Extension of display life of fresh beef packaged in modified atmosphere by varying lighting conditions. *Journal of Food Science*. 66 (1), 181-185.

DJENANE, D., SANCHEZ, A., BELTRAN, J.A & RONCALES, P. (2003). Extension of the shelflife of beef steaks packaged in a modified atmosphere by treatment with Rosemary and display under UV-Free lighting. *Meat Science*. 64, 417-426.

DOUMENGE, F., DURAND-CHASTEL, H., TOULEMONT, A. (1993c). Spiruline, algue de vie/ Spirulina, algae of life. *Bulletin de l'Institut Océanographique*, 7-11.

E

EDOURA-GAENA, R.B. (2005). Analyse et aide à la conduite de l'opération de foisonnement dans un procédé de production biscuitier : Exploitation de l'expertise des opérateurs. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal, France : p186.

EDWARD, W.P. (2007). The science of bakery products. The Royal Society of Chemistry, Cambridge. p259.

F

FALQUET, J. (2006). Une réponse durable à la malnutrition : la production locale de spiruline. *Antenna Techn.*, Genève, n 3, 12 p.

FALQUET, J. & HURNI, J.P. (2006). Spiruline : aspects nutritionnels. Edition. Antenna Technologies, Genève, Suisse 4-19.

FAVRE, J. (2006). Dictionnaire universel de cuisine pratique. Edition : Omnibus. Paris.pp 1905,1942

FEILLET, P. (2000). Biscuits, pâtes alimentaires et autres produits dérivés du blé. *In* : Le grain du blé : Composition et utilisation. Feillet P. INRA, Paris.175-208.

FELLOWS, P. (2000). Food Processing Technology Principles and Practice. 2 nd Edition. WoodheadPublishing, Cambridge England. p575.

FIGONI, P. (2008). How baking works: Exploring the fundamentals of baking science (2ème édition). John Wiley and Sons, Hoboken : 399p.

FOX, R.D. (1999). La spiruline : technique, pratique et promesse.Aix-en provence :Edisud

FUSTIER, P.J. (2006). Influence des fractions de mouture de blé tendre (farine patente, Decoupeure et basse) sur les propriétés rhéologiques des pâtes et caractéristiques des biscuits. Thèse de Doctorat, Option Sciences en Technologies des Aliments, Département des Sciences des aliments et de Nutrition, Faculté des sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Université Laval, Québec : 54 p.

G

GEITLER, L. (1932). Cyanophyceae. In: Rabenhorst's Kryptogamenflora von Deutschland, Österreich und der Schweiz, Leipzig, Akad. Verslagsges. 1932. Reprinted 1971, New York, Johnson.1-1196.

GIRARDIN-ANDREANI, C. (2005). Spiruline : système sanguin, système immunitaire et cancer. *Phytothérapie*; **4**. 158-161p.

GORDON, M.H. (2004). Factors effecting lipid oxidation. *In*: Understanding and measuring the shelf life of food. Steele R. Woodhead publishing limited, Cambridge.128-140.

GUIRAUD, J.P. & ROSEC, J.P. (2004). Pratique des normes en microbiologie alimentaire. AFNOR, Saint Denis La Plaine. p300.

H

HARRIGAN, G.G., LUESCH, H., YOSHIDA, W.Y., MOORE, R.E., NAGLE, D.G & PAUL, V.J. (1999). Symplostatin 2: à dolastatin 13 analogue from the marine cyanobacterium *Symploca hydnoidea*. *J. Nat. Prod.* 62, 655-658.

HAYASHI, T.(1996). « calcium spirulan,an inhibitor of enveloped virus replication .From a blue green alga spirulina. »in *quel avenir pour la spiruline institut national des sciences et technique de la mer.* 7p.

HENRIKSON, R. (2007). Natural colors for food and cosmetics.

HIMED, L & BARKAT, M. (2012). Elaboration d'une nouvelle margarine additionnée des huiles essentielles de citrus limon. Laboratoire de biotechnologie et qualité des aliments (bioqual), département de biotechnologie alimentaire, inataa, université constantine 1, Constantine, 67.

HOODA, S. & JOOD, S. (2005). Organoleptic and nutritional evaluation of wheat biscuits supplemented with untreated and treated fenugreek flour. *Food Chemistry.* 90, 427–435.

I

TABUTIN, I., GOUESIN, P.Y. & MOLLO, P. (2002). La spiruline contre la malnutrition. (Madurai - Inde). 11 ; 14 ; 12 ; 13 ; 19 ; 20p.

J

JAKI, B., ORJALA, J. & STICHER, O. (1999). A novel extracellular diterpenoid with antibacterial activity from the cyanobacterium *Nostoc commune*. *Journal of natural products*, 62(3). 502-503.

JAOEN, P., LEPINE, B., ROSSIGNOL, N., ROYER R & QUEMENEUR, F. (1999). Clarification and concentration with membrane technology of a phycocyanin solution extracted from *spirulina platensis*. *Biotechnology techniques*.

JOHNSON, P. & SHUBER, E. (1986). Availability of iron to rats from spirulina, a blue-green algae *Nutrition Research* 6, 85-94.

JOURDAN, (2006). Manuel de culture artisanale de spiruline. Edition 2006, Révision mars 2013

K

KAPOOR, R & MEHTA, U. (1993) Utilization of beta-carotene from *Spirulina platensis* by rats *Plant-Foods-Hum-Nutr.* 43(1): 1-7

KILCAST, D. et SUBRAMANIAM, P. (2000). Introduction. *In: The stability and shelf life of food.* Kilcast, D. & Subramaniam, P. Woodhead Publishing Limited, Cambridge. 1-19.

KIM, C .J., YOON, S.K ., KIM, H., PARK, Y., & OH, H.(2006). Effect of spirulina platensis and probiotics as feed additives on growth of shrimp *fenneropenaeus chinensis* ; *Journal of microbiology and biotechnology*, 16(8), 1248.

KONIG , C.(2015). Les algues : première lignée végétale.

L

LABUZA, T.P. & HYMAN, C.R. (1998). Moisture migration and control *in* multidomain foods. *Trends in Food Science and Technology*, 9(2), 47-55.

LARA, E., CORTES, P., BRIONES, V. & PEREZ, M. (2011). Structural and physical modification of corn biscuits during baking process. *LWT- Food Science and Technology*, 44(3), 622-630.

M

MAACHE-REZZOUG, Z., BOUVIER, J. M., ALLAF, K. & PATRASC. (1998). Effect of Principal Ingredients on Rheological Behavior of Biscuit Dough and on Quality of Biscuits. *Journal of Food Engineering*, 35(1), 23-42.

MANET, A. (2016). La spiruline. Indications thérapeutiques, risques sanitaires et conseils thérapeutiques, risques sanitaires et conseils de l'officine. Thèse en vue de l'obtention du titre de docteur en pharmacie.104p.

MANLEY, D.J.R. (2000). Technology of biscuits, crackers and cookies (3ème édition). Woodhead publishing limited, Cambridge. 499p.

MARC, F., DAVIN, A., DEGLENE BENBRAHIM, L., FERRAND, C., BACCAUNAUD M & FRITSCH, P. (2004). Méthodes d'évaluation du potentiel antioxydant dans les aliments
Studies of several analytical methods for antioxidant potential evaluation in food *médecine sciences, 20(4)*, 458-463.

MATZ, S.A. (1992). Bakery technology and engineering (3ème édition). Van Nostrand Reinhold, New York. 853p.

MUNDT, S., KREITLOW, S. & JANSEN, R. (2003). Fatty acids with antibacterial activity from the cyanobacterium *Oscillatoria redekei* HUB 051. *Journal of Applied Phycology, 15(2-3)*, 263-267p.

MENARD, G., EMOND, S., BOLDOC, R., MARCOUX, D. & BOUDEAU, A. (1992). La pâtisserie industrielle. In : Le blé : Eléments fondamentaux et transformation. Boudereau A. et Ménard G., Les presses de l'Université de Laval, Sainte-Foy .349-390.

MOLL, M. & MOLL, N. (1998). Additifs alimentaires et auxiliaires technologiques (2ème édition). Dunod, Paris. 218p.

N

NELISSEN, B., WILMOTTE, A., NEEFS, J.M. & De Wachter, R. (1994). Phylogenetic relationships among filamentous helical cyanobacteria investigated on the basis of 16S ribosomal RNA gene sequence analysis. *Systematic and Applied Microbiology, 17(2)*, 206-210.

NELSON, K.A. & LABUZA, T.P. (1994). Water Activity and Food Polymer Science: Implications of State on Arrhenius and WLF Models in Predicting Shelf Life. *Journal of Food Engineering, 22*. 271-289.

P

PANIAGUA-MICHEL, J., DUJARDIN, E. & SIRINAVAL, C. (1993). Le Tecuitlal, concentré de spirulines source de protéines comestibles chez les Aztèques. *Cahiers de l'Agriculture; 2*. 283-7.

PARIKH, P., MANI, U. & IYER, U. (2001). Role of *Spirulina* in the control of glycemia and lipidemia in type 2 diabetes mellitus. *Journal of Medicinal Food, 4(4)*.193-199.

PENCHEV, P. I. (2010). Étude des procédés d'extraction et de purification de produits bioactifs à partir de plantes par couplage de techniques séparatives à basses et hautes pressions. Thèse l'obtention du doctorat de l'université de toulouse

PUYFOULHOX, G., ROUANET, JM, BESACON, P., BAROUX, B., BACCOU, JC. & CAPORICCIO, B. (2001). Iron availability from iron-fortified spirulina by an in vitro digestion/Caco-2 cell culture model *J Agric Food Chem* 49:1625-9

R

REMIREZ, D., GONZALEZ, R., MERINO, N., RODRIGUEZ, S & ANCHETA, O. (2002). Inhibitory effects of Spirulina in zymosan-induced arthritis in mice. *Mediators of Inflammation* 11(2), 75-79.

RANKEN, M.D., KILL, R.C. & Baker, C. (1997). Cereals and cereal products.in: *Food industries manuals*. Ranken M.D, Kill R.C. et Baker C. Blackie Academic and Professional, Boundary Row.172-210p

ROUX, J.L. (1994). Conserver les aliments : Comparaison des méthodes et des technologies. Technique et Documentation Lavoisier, Paris. p705.

S

SAHI, S.S. & ALAVA, J.M. (2003). Functionality of emulsifiers in sponge cake production. *Journal of Food and Agriculture*, 83(14), 1419-1429.

SALL, M.G., DANKOKO, B., BADIANE, M., EHUA, E. & KUAKUWI, N. (1999). La spiruline : une source alimentaire à promouvoir. *Médecine d'Afrique Noire*. Vol. 46 (3), 140-141.

SANTILLAN, C. (1974). Cultivation of the Spirulina for Human Consumption and for Animal Feed. In *International Congress of Food Science and Technology*. Madrid (Spain).

SAUTIER, C. & TREMOLIERES, J. (1976). Food value of spirulina algae to man. In *Annales de la Nutrition et de l'Alimentation* (Vol. 29, No. 6, pp. 517-534).

SGUERA, S. (2008). Spirulina platensis et ses constituants : *intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques*. Thèse docteur en pharmacie. Faculté de pharmacie. Université de France-Comite.

SINGH, R.P. & ANDERSON, B.A. (2004). The major types of food spoilage: An overview. In: *Understanding and measuring the shelf-life of food*. Steele R. Woodhead publishing limited, Cambridge.3-23.

SPOLAORE, P., JOANNIS-CASSAN, C., DURAN, E. & ISAMBERT, A.(2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of bioscience and bioengineering*, 101(2), 87-96.

SUDHA, S., KARTHIC, R.J., RENGARAMANUJAM. & ATHULYA. (2011). Antimicrobial activity of spirulina platensis and aphanothece sp. on selected clinical bacterial isolates and its antioxidant activity. 93p.

T

TAOUKIS, P.S. & GIANNAKOUROU, M.C. (2004). Temperature and food stability analysis and control. In: *Understanding and measuring the shelf-life of food*. Steele R. Woodhead publishing limited, (pp. 42-68).

TULLIEZ, J., BOREIS, G., FEVRIER, C., BOUDENE, C. (1975). Les hydrocarbures des algues spirulines : nature, étude du devenir de l'heptadécane chez le rat et le porc In *Annales de la nutrition et de l'alimentation*. 29, 563-71.

V

VIERLING, E., 2008. Les céréales. In: *Aliments et boissons: Filières et produits* (3ème édition).

VICAT, J. P., DOUMNANG MBAIGANE, J. C., DINGAMTAR NDJADODE, N., GUIDEAL R & BELLION, Y. (2016). Teneurs en éléments majeurs et traces de spirulines (*Arthrospira platensis*) (*Arthrospira platensis*) originaires de France, du Tchad, du Togo, du Niger, du Mali, du Burkina-Faso et de République centrafricaine. *Comptes Rendus Biologies*, 337(1), 44-52.

VON DER WIED, D. (2011). Potential of Spirulina Platensis as a Nutritional Supplement in Malnourished HIV-Infected Adults in Sub-Saharan Africa: A Randomised, Single-Blind Study. Department of Physiological Sciences and Biochemistry, Faculty of Medicine and Biomedical Sciences, University of Yaounde 1, Cameroon.V

VOYSEY, P.A. & LEGAN, J.D. (1999). Confectionery products-cakes and pastries. *Encyclopedia of Food Microbiology*, 474-480.

W

WATANUKI H., OTA , K., TASSAKKA , A ., KATO, T. & SAKAI, M . (2006). Immunostimulant effects of dietary Spirulina platensis on carp, Cyprinus carpio. *Aquaculture*, 258(1-4), 157-163.

Y

YAMAMOTO, C., FUJIWARA, Y. & KAJIA, T. (2006). The biological effects of depolymerized sodium spirulan and sulfated colominic acid on vascular cells are beneficial in preventing atherosclerosis. *Journal of health science*, 52(3), 205-210.

YANG, LEE EH & KIM, HM. (1997). Spirulina platensis inhibits anaphylactic reaction. *Life Sciences*, 61(13), 1237-1244.

Z

ZARROUK, C. (1966). Contribution a l'etude d'une Cyanophycee. Influence de Divers Facteurs Physiques et Chimiques sur la croissance et la photosynthese de Spirulina mixima. *Thesis. University of Paris, France.*

Annexe 01: Appareillage utilisés



Déssicateur



Aw mètre



Mélangeur sacs stomacaires



La haute



Balance analytique



Mixeur



PH mètre



Récipient a double paroi



plaque chauffante



Pétrin



incubateur



Autoclave

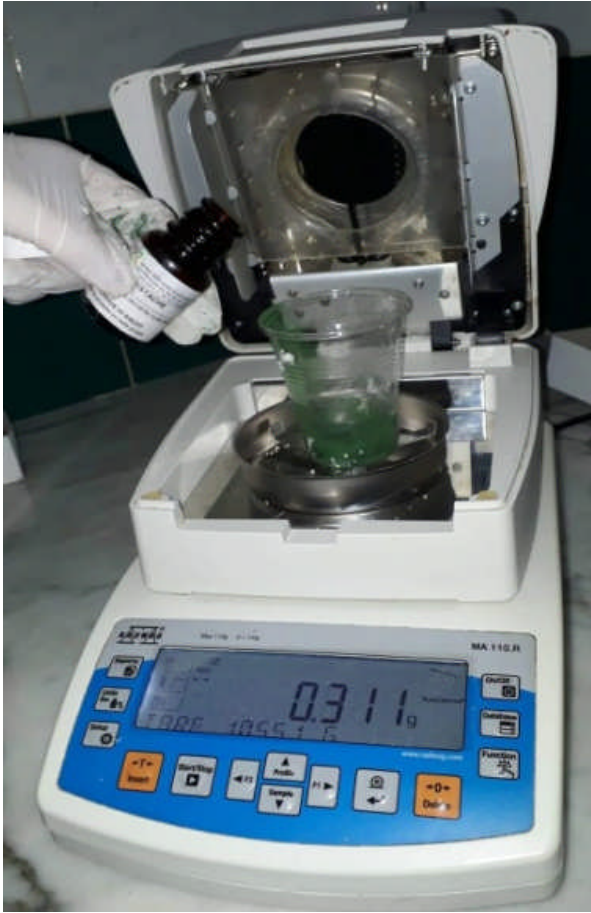
Annexe 02: Préparation de la génoise





Annexe 03: Préparation de la crème à la spiruline





Préparation 06: EDTA à 2,0.10⁻¹ mol/L

Réaction chimique

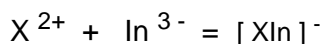
En milieu assez basique (pH = 10), l'EDTA, que l'on notera plus simplement YH₄, réagit selon l'équation : $YH_4 + 4 OH^- = 4 H_2O + Y^{4-}$ l'ion Y⁴⁻ est **incolor**

En présence de Ca²⁺ ou Mg²⁺ (X²⁺), on obtient les complexes [CaY]²⁻ ou [MgY]²⁻ ([XY]²⁻) très stables et **incolors**, selon l'équation :



D'autre part le noir d'ériochrome T (N.E.T.) est **bleu** à pH = 10 ; on le notera In³⁻.

En présence d'ions Ca²⁺ ou Mg²⁺, il forme un autre complexe **rose** [CaIn]⁻ ou [MgIn]⁻ ([XIn]⁻) moins stable que les précédents, selon l'équation :



bleu rose

Utilisation du NET comme indicateur de fin de réaction

Par conséquent, à pH = 10, dans un mélange composé de très peu de NET + Ca²⁺ et / ou Mg²⁺, il se forme un complexe [XIn]⁻ **rose**, on ajoute de l'EDTA qui forme un complexe plus stable et **incolor** [XY]²⁻ avec X²⁺.

A l'équivalence, X²⁺ a disparu, alors l'EDTA détruit le complexe [XIn]⁻ **rose** peu stable, ce qui régénère In³⁻ qui est **bleu**. (réaction 2)

A l'équivalence, les quantités de matière de réactifs mis en présence sont en proportions stœchiométriques :

$$n_0(Ca^{2+} + Mg^{2+}) = V_e \cdot c$$

En considérant qu'il n'y a pas de Mg²⁺

$$[Ca^{2+}]_0 = V_e \cdot c_{EDTA} / V_{\text{prise d'essais}} = V_e \cdot 2,0 \cdot 10^{-1} / 0,10 = V_e \cdot 2,0 \text{ mol/L} \text{ Soit un taux de calcium} =$$

$$[Ca^{2+}] \cdot M_{Ca^{2+}} = V_e \cdot 80 \text{ g/L avec } V_e \text{ en L ou alors}$$

$$\text{un taux de calcium} = V_e \text{ (en mL)} \cdot 80 \quad \text{en mg/L}$$

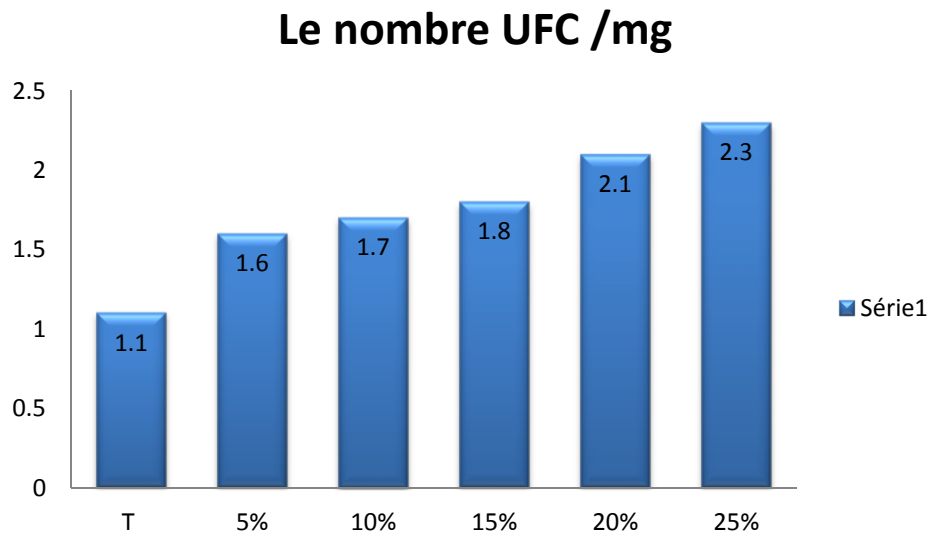


Figure 01: La flore mésophile aérobie des différents échantillons de la génoise

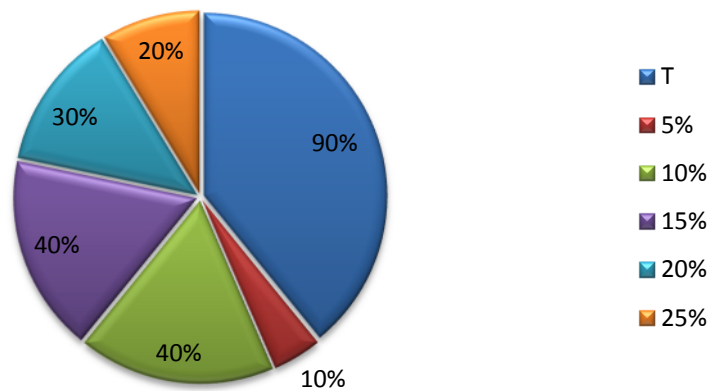


Figure 02: Les colonies de levures dénombrées dans les différents échantillons de la génoise

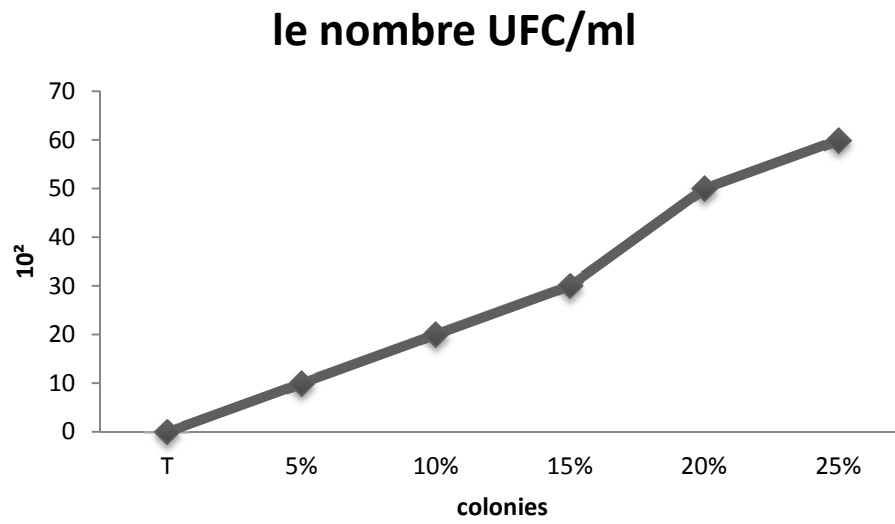


Figure 03: Les colonies des moisissures de différents échantillons de génoise.

Annexe 08: Les étapes de dénombrement des colonies







Management de la Qualité

Code : DA2-22

Version : 00

Rapport d'analyses

Date : 14/07/2018

Page : 1/4

Laboratoire de contrôle de la qualité et de conformité ESAFAA
Azouza, Chabet El Aneur-Boumerdes
Agrément N° 005 du 04/04/2013- R.C. N° 3654276 A 11
A.I. N° 35140687080-M.F. N° 284350501166181
contact@laboratoiresafaa.com

Fait à Azouza le : 10 / 06 / 2019

Rapport d'analyses (*)

Réf. : Physico/ 0932 / 2019

Client : SARL ISO 9 INTERNATIONAL

Adresse : Bd du 1^{er} Novembre, BP10 Les Isser W. Boumerdes, Algérie.

Echantillon :

Objet : **Génoise fourrée à la crème goût pistache**

Dénomination commerciale : **ISSER GRANDIOS.**

Date prélèvement : **07/05/2019**

Date de réception : **07/05/2019**

Date de production affichée : **/.**

Date d'expiration affichée : **/.**

Poids : **55g.**

N° du lot affichée : **/.**

Analyses effectuées le : **08 / 05 / 2019** Sous les conditions : **NRML**





RESULTATS

Paramètre recherché	unité	Témoin	5%	10%	15%	20%	25%	Normes et Méthodes
Protéine	%	6.16	9.1	12.04	14.99	17.93	20.87	NF EN ISO 5983/1
Calcium	mg	32.25	48.33	110.42	175	230	285	Spectrophotomètre
Fer	mg	0.8	9.5	17	22.5	32.55	39	Spectrophotomètre

Supervision : Mme Hamel,
Directrice technique et gérante

(Signature)

(1) Détermination de la teneur en azote et calcul de la teneur en protéine brutes.

(*)Le présent rapport d'analyses fait, également, office de bon de livraison

Les résultats ci-dessus ne se rapportent qu'aux objets soumis à l'essai et au(x) lot(s) spécifié(s) ci-haut. Le Laboratoire ESAFAA ne se porte garant que des résultats inhérents à l'échantillon analysé sans extension de responsabilité à l'ensemble du lot dont fait partie l'échantillon analysé.
Ce rapport d'analyses ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Si autorisée sa reproduction doit être intégrale.

Résumé

Ce travail a pour but d'étudier l'impact de l'incorporation d'une cyanobactérie riche en protéines sur la qualité nutritionnelle, organoleptique d'un biscuit humide de type génoise.

L'ajout d'un minimum de biomasse de spiruline a augmenté le taux de protéines dans le produit fini à des taux croissant en fonction de la quantité de spiruline introduite. Il apparaît que la génoise témoin et celles enrichies avec 5%, 10% et 15% de spiruline ont presque le même degré d'acceptation. Le test sensoriel a permis de conclure que l'acceptabilité de la génoise enrichie à la spiruline ne fait pas défaut par la couleur, ni par sa saveur. Les échantillons de génoise enrichis en spiruline (5%, 10% et 15%) ont été jugés acceptables voire préférables pour certains panelistes. Des analyses microbiologiques ont été effectuées sur les échantillons. Ces analyses ont montré les présences normales des levures, moisissures, coliformes totaux et flore mésophile totale dans tous les cas d'enrichissement effectués.

Mots clés: Spiruline, crème, génoise, qualité.

Abstract

This work aimed to study the impact of protein-rich cyanobacteria incorporation on nutritional and sensory quality of a genoise-type wet biscuit. The results obtained demonstrated that addition of a minimum of spirulina biomass increased the rate of protein in end-product depending on spirulina amount used. It appears that the control of sponge cake and those enriched with 5%, 10% and 15% spirulina have almost the same degree of acceptance. The sensory test revealed that acceptability of spirulina-enriched sponge cake was not reduced in terms of color and flavor attributes. Indeed, samples of spirulina-enriched sponge cake (5%, 10% and 15%) were shown acceptable or even preferable by some panelists. Additionally, microbiological analyzes showed normal presence of yeasts, molds, total coliforms and total mesophilic flora in all cake samples added with spirulina.

Keywords : Spirulina, sponge cake, quality creams.

Annexe 01: Appareillage utilisés



Déssicateur



Aw mètre



Mélangeur sacs stomacaires



La haute



Balance analytique



Mixeur



PH mètre



Récipient a double paroi



plaque chauffante



Pétrin



incubateur



Autoclave

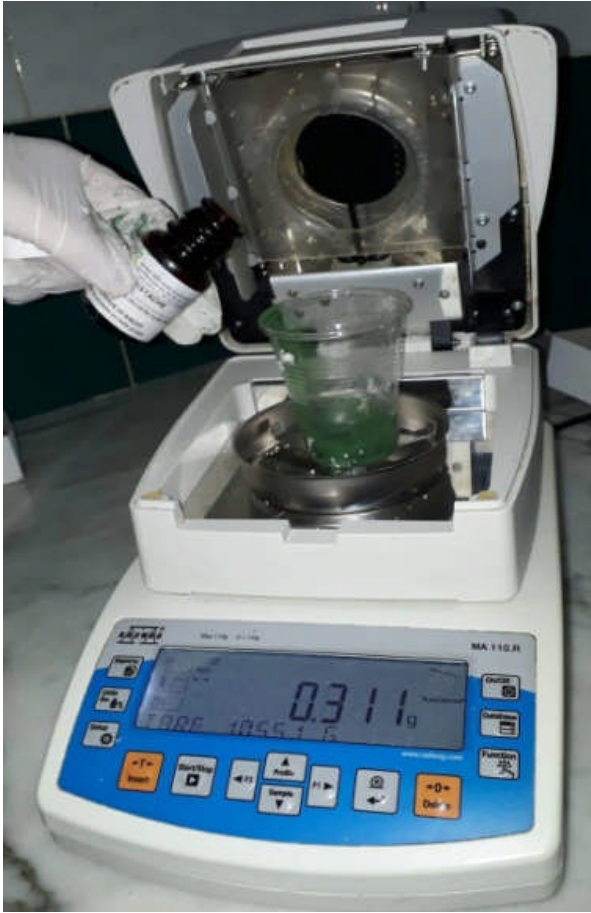
Annexe 02: Préparation de la génoise





Annexe 03: Préparation de la crème à la spiruline







DEXTROSE MONOHYDRATE

Product characteristics :

- Character : White Crystalline or Crystal Powder, Odour Free, Sweet, Mesh size: 25mesh
- Chemical formula : $C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$ Molar mass: 198.160 shelf life: 24months
- Standard HALAL / KOSHER / Food Quality/FCCV/USP35
- Material: Derived from Corn

ITEM	UNIT	STANDARD DATA	TEST RESULT
1. Description	---	White Crystal, Odourless	Conforms to standard
2. Identification & solubility	---	Pass Test	Pass Test
3. DE Value	m / m	More Than 99.0	99.9
4. Glucose Content	%	More than 99.0	99.4
5. Acidity	ml	Less than 0.15	< 0.15
6. Specific Rotation	---	+52.0 – 53.5	52.5
7. Moisture	%	≤10.0	9.0
8. PH Value	---	4.0-6.5	5.42
9. Sulphate	%	Less than 0.25	< 0.25
10. Chloride	%	Less than 0.018	< 0.003
11. Heavy metals	ppm	Less than 5	< 5
12. Arsenic, Lead, Copper, Nickel	ppm	Less than 1 (Each)	< 0.5 (Each)
13. Residue on Ignition	%	Less than 0.1	< 0.1
14. Total Plate Count	/ g	Less than 1000	Conforms to standard
15. Salmonella	---	Not Exist	Conforms to standard
16. Mold Count	/ g	Less than 100	Conforms to standard
17. Clarification of the solution	---	Less than 0.5 of the turbidity standards	Conforms to standard
18. E.coli	NMP/g	Not Exist	Conforms to standard
19. Bulk density		0.55-0.60	Conforms to standard

<u>Packing</u>	<u>Application</u>	<u>Transport regulations</u>	<u>Storage and handling</u>
25kg paper plastic bags 25kg plastic woven bag 1000kg big bags	As food additive in food, beverage, pharmaceutical industry.	Non dangerous good in the sense of transport regulations	Storage cool and dry condition Non expose under the sunshine Please see MSDS



DEXTROSE MONOHYDRATE

Product characteristics :

- Character : White Crystalline or Crystal Powder, Odour Free, Sweet, Mesh size: 25mesh
- Chemical formula : $C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$ Molar mass: 198.160 shelf life: 24months
- Standard HALAL / KOSHER / Food Quality/FCCV/USP35
- Material: Derived from Corn

ITEM	UNIT	STANDARD DATA	TEST RESULT
1. Description	---	White Crystal, Odourless	Conforms to standard
2. Identification & solubility	---	Pass Test	Pass Test
3. DE Value	m / m	More Than 99.0	99.9
4. Glucose Content	%	More than 99.0	99.4
5. Acidity	ml	Less than 0.15	< 0.15
6. Specific Rotation	---	+52.0 – 53.5	52.5
7. Moisture	%	≤10.0	9.0
8. PH Value	---	4.0-6.5	5.42
9. Sulphate	%	Less than 0.25	< 0.25
10. Chloride	%	Less than 0.018	< 0.003
11. Heavy metals	ppm	Less than 5	< 5
12. Arsenic, Lead, Copper, Nickel	ppm	Less than 1 (Each)	< 0.5 (Each)
13. Residue on Ignition	%	Less than 0.1	< 0.1
14. Total Plate Count	/ g	Less than 1000	Conforms to standard
15. Salmonella	---	Not Exist	Conforms to standard
16. Mold Count	/ g	Less than 100	Conforms to standard
17. Clarification of the solution	---	Less than 0.5 of the turbidity standards	Conforms to standard
18. E.coli	NMP/g	Not Exist	Conforms to standard
19. Bulk density		0.55-0.60	Conforms to standard

<u>Packing</u>	<u>Application</u>	<u>Transport regulations</u>	<u>Storage and handling</u>
25kg paper plastic bags 25kg plastic woven bag 1000kg big bags	As food additive in food, beverage, pharmaceutical industry.	Non dangerous good in the sense of transport regulations	Storage cool and dry condition Non expose under the sunshine Please see MSDS



PRODUCT DATA SHEET
IFFCO HQPO 3840H (ALGERIA)

Ref No. SP/SH145A
Rev No. 1
Eff Date: October 2018

DESCRIPTION:

Vegetable Fat.
GMO Free.

INGREDIENTS:

Refined Hydrogenated Palm Oil
Additives:
Antioxidants - TBHQ (INS319) ≤200mg/kg

APPLICATION:

Hard Stocks for Butter Blend, Margarine, Shortening, Ghee.

BENEFITS:

Good oxidation stability.
Improved shelf life of finished product.

SPECIFICATIONS:**Physical Characteristics**

(At time of loading)	Value	Method
Appearance	White semi solid	Visual
Flavour & Odour	Bland, no off flavour or rancid odours	Organoleptic
Colour, Red (5 1/4 Lov Cell)	3.0 max	AOCS Cc 13e-92/MPOB P4.1
SMP (°C)	38-40	AOCS Cc 3-25
SFC (%)	20°C	27-34
	30°C	9-14
	35°C	6-10
	40°C	5 max

Chemical/Analytical Characteristics

(At time of loading)	Value	Method
FFA (as Palmitic) %	0.1 max	AOCS Ca 5a-40
Moisture & Volatile Matter %	0.1 max	AOCS Ca 2b-38
Peroxide Value (meq/kg)	1.0 max	AOCS Cd 8b-90

Microbiological Analyses

(At time of loading)	Value	Method
TPC, cfu/g	1000 max	FDA/BAM
Mould & Yeast, cfu/g	50 max	FDA/BAM
Salmonella /25g	Absent	FDA/BAM
S.aureaus/g	10 max	FDA/BAM
Coliforms	< 5 MPN	FDA/BAM

Note: This specification is provided for information purpose only and should not be relied upon as a basis for product performance. It is suggested that you evaluate the product on at least a laboratory basis prior to its commercial usage. This specification may be superceded by a later issue. Please consult your sales representative to confirm if you have the correct specification.

NUTRITIONAL INFORMATION:

	Amount per serving	
	per 14 g	per 100g
Energy, kJ	518	3700
Total Fat, g	14	100
Saturated Fat, g	7.1	51
Monounsaturated Fat, g	5.6	40
Polyunsaturated, g	1.1	8
Trans fat, g	0.1	1
Carbohydrates, g	0	0
Protein, g	0	0
Cholesterol, mg	0	0
Fiber, g	0	0
Calcium, mg	0	0
Sodium, mg	0	0
Gluten, g	0	0

KOSHER STATUS:

Product is Kosher Pareve certified by Orthodox Union, (OU).

HALAL STATUS:

Product is Halal certified by Islamic Development Department of Malaysia (JAKIM)

ALLERGEN INFORMATION:

This product does not contain any allergen compound

PACKAGING:

Corrugated box with internal polyethylene bag
20 or 25kg net

STORAGE CONDITION:

Prevent exposure to direct sunlight, keep in a cool and dry conditions and away from strong smelling materials

SHELF LIFE:

24 months under storage conditions 25 deg C max.

TRANSPORTATION:

Dry container or tanker.



	ISSUED BY	APPROVED BY
Designation	Technical Support Executive	Head-Technical Sales & Marketing

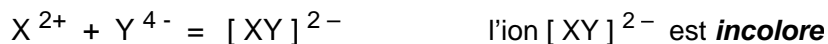
This specification is computer generated and no signature is required.

Préparation 06: EDTA à 2,0.10⁻¹ mol/L

Réaction chimique

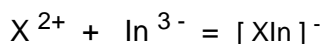
En milieu assez basique (pH = 10), l'EDTA, que l'on notera plus simplement YH₄, réagit selon l'équation : $YH_4 + 4 OH^- = 4 H_2O + Y^{4-}$ l'ion Y⁴⁻ est **incolor**

En présence de Ca²⁺ ou Mg²⁺ (X²⁺), on obtient les complexes [CaY]²⁻ ou [MgY]²⁻ ([XY]²⁻) très stables et **incolors**, selon l'équation :



D'autre part le noir d'ériochrome T (N.E.T.) est **bleu** à pH = 10 ; on le notera In³⁻.

En présence d'ions Ca²⁺ ou Mg²⁺, il forme un autre complexe **rose** [CaIn]⁻ ou [MgIn]⁻ ([XIn]⁻) moins stable que les précédents, selon l'équation :



bleu rose

Utilisation du NET comme indicateur de fin de réaction

Par conséquent, à pH = 10, dans un mélange composé de très peu de NET + Ca²⁺ et / ou Mg²⁺, il se forme un complexe [XIn]⁻ **rose**, on ajoute de l'EDTA qui forme un complexe plus stable et **incolor** [XY]²⁻ avec X²⁺.

A l'équivalence, X²⁺ a disparu, alors l'EDTA détruit le complexe [XIn]⁻ **rose** peu stable, ce qui régénère In³⁻ qui est **bleu**. (réaction 2)

A l'équivalence, les quantités de matière de réactifs mis en présence sont en proportions stœchiométriques :

$$n_0(Ca^{2+} + Mg^{2+}) = V_e \cdot c$$

En considérant qu'il n'y a pas de Mg²⁺

$$[Ca^{2+}]_0 = V_e \cdot c_{EDTA} / V_{\text{prise d'essais}} = V_e \cdot 2,0 \cdot 10^{-1} / 0,10 = V_e \cdot 2,0 \text{ mol/L} \text{ Soit un taux de calcium} =$$

$$[Ca^{2+}] \cdot M_{Ca^{2+}} = V_e \cdot 80 \text{ g/L avec } V_e \text{ en L ou alors}$$

$$\text{un taux de calcium} = V_e \text{ (en mL)} \cdot 80 \quad \text{en mg/L}$$

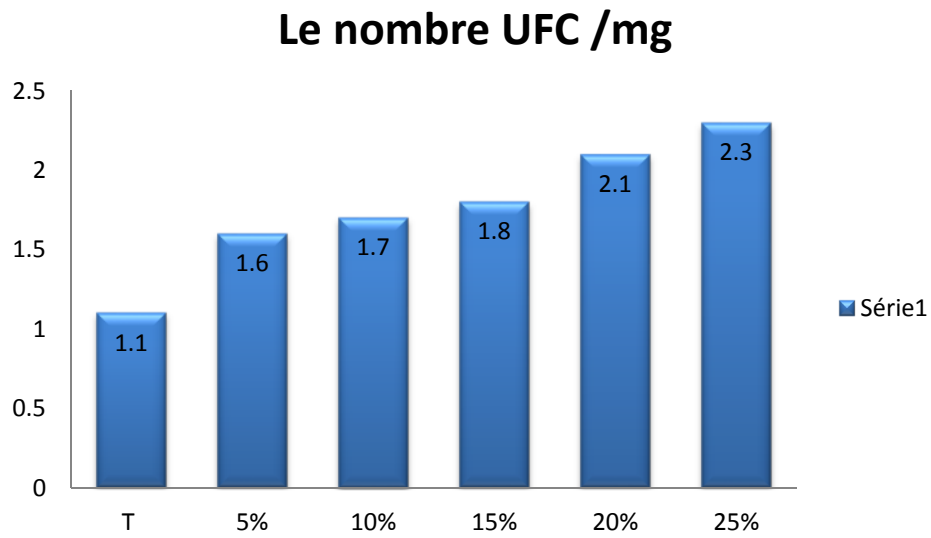


Figure 01: La flore mésophile aérobie des différents échantillons de la génoise

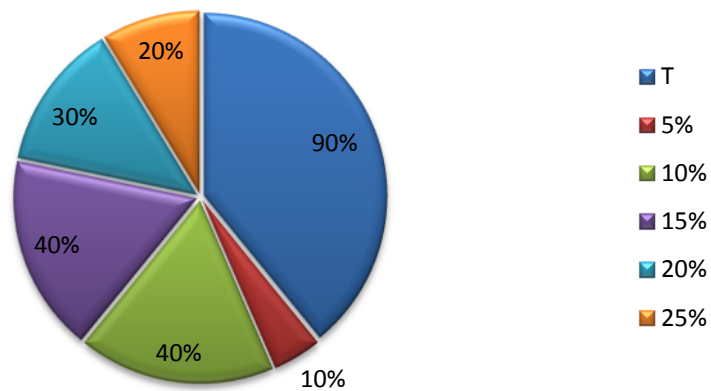


Figure 02: Les colonies de levures dénombrées dans les différents échantillons de la génoise

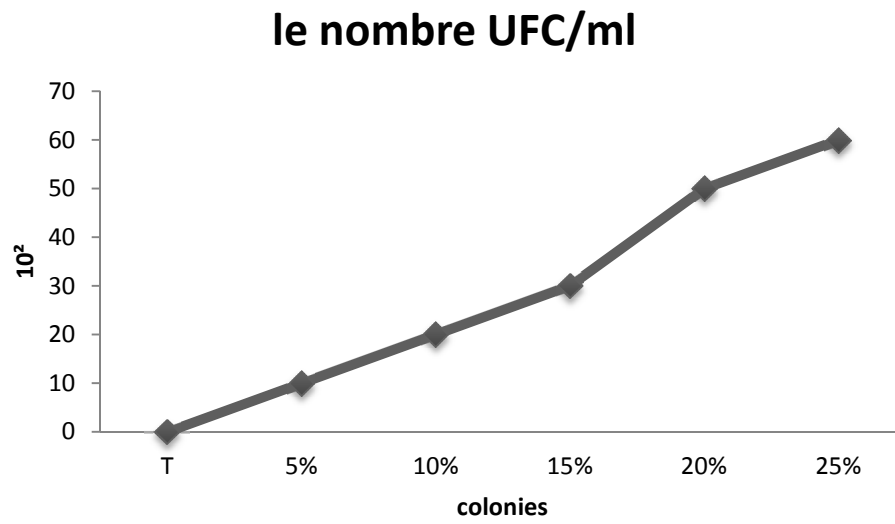


Figure 03: Les colonies des moisissures de différents échantillons de génoise.

Annexe 08: Les étapes de dénombrement des colonies







Management de la Qualité

Code : DA2-22

Version : 00

Rapport d'analyses

Date : 14/07/2018

Page : 1/4

Laboratoire de contrôle de la qualité et de conformité ESAFAA
Azouza, Chabet El Aneur-Boumerdes
Agrément N° 005 du 04/04/2013- R.C. N° 3654276 A 11
A.I. N° 35140687080-M.F. N° 284350501166181
contact@laboratoiresafaa.com

Fait à Azouza le : 10 / 06 / 2019

Rapport d'analyses (*)

Réf. : Physico/ 0932 / 2019

Client : SARL ISO 9 INTERNATIONAL

Adresse : Bd du 1^{er} Novembre, BP10 Les Isser W. Boumerdes, Algérie.

Echantillon :

Objet : **Génoise fourrée à la crème goût pistache**

Dénomination commerciale : **ISSER GRANDIOS.**

Date prélèvement : **07/05/2019**

Date de réception : **07/05/2019**

Date de production affichée : */.*

Date d'expiration affichée : */.*

Poids : **55g.**

N° du lot affichée : */.*

Analyses effectuées le : **08 / 05 / 2019** Sous les conditions : **NRML**





RESULTATS

Paramètre recherché	unité	Témoin	5%	10%	15%	20%	25%	Normes et Méthodes
Protéine	%	6.16	9.1	12.04	14.99	17.93	20.87	NF EN ISO 5983/1
Calcium	mg	32.25	48.33	110.42	175	230	285	Spectrophotomètre
Fer	mg	0.8	9.5	17	22.5	32.55	39	Spectrophotomètre

Supervision : Mme Hamel,
Directrice technique et gérante

(Signature)

(1) Détermination de la teneur en azote et calcul de la teneur en protéine brutes.

(*)Le présent rapport d'analyses fait, également, office de bon de livraison

Les résultats ci-dessus ne se rapportent qu'aux objets soumis à l'essai et au(x) lot(s) spécifié(s) ci-haut. Le Laboratoire ESAFAA ne se porte garant que des résultats inhérents à l'échantillon analysé sans extension de responsabilité à l'ensemble du lot dont fait partie l'échantillon analysé.
Ce rapport d'analyses ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Si autorisée sa reproduction doit être intégrale.

