

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE



Réf :/UAMOB/FSNVST/DSA/2022

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV

Filière : Science Alimentaire

Spécialité : Technologie Agro-Alimentaire et Contrôle de Qualité

Présenté par :

BOUNACEUR Oussama & GACHI Salah Eddine

Thème

**Essai d'incorporation de la spiruline pour
l'obtention d'un biscuit Hyper-protéiné.**

Dépôt le : 04 / 07 / 2022

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade		
M ^{me} BOURFIS Nassima	MAB	Univ.Bouira	Présidente
M ^{me} CHEKROUNE Malika	MCB	Univ.Bouira	Examinatrice
M ^r MALIOU Djamil	MCB	Univ.Bouira	Promoteur

Année Universitaire: 2021/2022

Remerciements

Le grand merci s'adresse à DIEU, le Tout Puissant, qui nous a donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Nos vifs remerciements sont adressés à Mr. Djamil Maliou qui a accepté de diriger ce travail.

Nous le remercions également pour ses encouragements, ses conseils ainsi que pour l'efficacité de sa direction, la pertinence de ses conseils et pour son soutien moral.

Nous souhaiterons également adresser nos remerciements aux membres du jury d'avoir accepté d'évaluer notre travail, et pour le temps et l'effort qu'ils accorderont à sa lecture.

Nous adressons aussi nos plus vifs remerciements à Mr le directeur de l'entreprise de BIMO d'avoir accepté l'exécution de notre stage au sein de son entreprise et aussi tout le personnel pour son suivi.

Nos remerciements vont également à nos collègues de l'université de BOUIRA , et particulièrement à ceux du département de Technologie agroalimentaire et contrôle de qualité.

Un grand Merci à nos familles.

Dédicace

C'est avec une profonde gratitude et sincérité, que nous dédions ce modeste travail de fin d'étude à nos chers parents ; qui ont sacrifiés leur vie pour notre réussite et nous ont éclairé le chemin par leurs conseils judicieux.

Nous espérons qu'un jour, nous pourrons leurs rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour nous, que Dieu leur offre bonheur et longue vie.

Nous dédions aussi ce travail à nos frères et sœurs, nos amis, nos enseignants, et à tous ceux qui nous sont chers.

OUSSAMA & SALAHEDDINE



Résumé

L'étude du présent travail a pour objectif de fabriquer un biscuit type cookies diététique enrichi en spiruline, afin d'évaluer son effet sur les caractéristiques technologiques, physicochimiques et microbiologiques.

La démarche méthodologique adoptée consiste en l'élaboration de cookies enrichis en, 1 % et 2 % de spiruline. Un biscuit témoin bien évidemment a été élaboré pour effectuer la comparaison des résultats. Des analyses physico-chimiques et microbiologiques des biscuits témoins et enrichies en spiruline ont été réalisées.

Les tests physico-chimiques de la spiruline ont révélé les résultats suivants : Un enrichissement en protéines et en cendres . Les cookies sont pauvres en matière grasse.

Les tests microbiologiques des biscuits révèlent qu'aucune variation n'a été observée sur la spiruline ainsi que sur les deux types de biscuits fabriqués (biscuit témoin, biscuit à 1 % et 2 % de spiruline)

L'enrichissement des biscuits par la spiruline a apporté une amélioration de la qualité nutritionnelle des produits finis. Une augmentation du taux de protéines a été observée dans les biscuits .

Une légère amélioration du taux des cendres a été révélée lors de l'enrichissement. Une nette amélioration de la valeur énergétique des biscuits enrichis est notée. Enfin les résultats du test de dégustation ont présenté une acceptabilité globale des paramètres technologiques tels que le goût et la couleur ; le prix de revient des cookies est estimé comme relativement acceptable .

Mots clés: spiruline, biscuit, valeur nutritionnelle

ملخص

الهدف من دراسة هذا العمل صنع بسكويت غذائي غني سبيرولينا ، من أجل تقييم تأثيره على الخصائص التكنولوجية و الفيزيائية والميكروبيولوجية .
المنهجية المعتمدة تهدف إلى تطوير الكوكيز 1 % و 2 % من معدل إدماج سبيرولينا و قد تم تصنيع بسكويت دون سبيرولينا وذلك ليتم مقارنة النتائج بالنوعين الآخرين من البسكويت.
كشفت الاختبارات الفيزيائية والكيميائية للسبيرولينا النتائج التالية: نسبة عالية من البروتين والرماد. ملفات تعريف الارتباط منخفضة في الدهون.
. تكشف الاختبارات الميكروبيولوجية للبسكويت أنه لم يلاحظ أي تباين على سبيرولينا وكذلك على الأنواع الأخرى للبسكويت. المصنعة ، البسكويت بنسبة 1% و 2 % سبيرولينا أدى إثراء البسكويت بواسطة سبيرولينا إلى تحسن في الجودة الغذائية للمنتجات النهائية ، وقد لوحظت زيادة في محتوى البروتين في البسكويت.

تم الكشف عن تحسن طفيف في الرماد لمعدلات التخصيب ، حيث لاحظنا حدوث تحسن ملحوظ في قيمة الطاقة للبسكويتالمخصب. أخيرا ، أظهرت نتائج اختبار التذوق قبولا عاشا للمعايير التكنولوجية مثل الذوق واللون ؛ يعتبر سعر تكلفة الكوكيز مقبولا نسبيا.

الكلمات المفتاحية : سبيرولينا، بسكويت، القيمة الغذائية.

Liste des abréviations

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

OMS : Organisation mondiale de la santé

UNICEF : Fonds des Nations unies pour l'enfance

INALCO : Institut national des langues et civilisations orientales

% : Pourcentage

C° : Degré Celsius

N : Nord

S : Sud

µm : Micromètre

mm : Millimètre

C : Concentration

mg : Milligramme

Kg : Kilogramme

g : gramme

ADN : L'acide désoxyribonucléique

ARN : L'acide ribonucléique

Bio : label d'agriculture biologique.

m² : mètre au carré

cm : centimètre

g/l : gramme par litre unité de mesure de la concentration massique

NaHCO₃ : Bicarbonate de sodium

K₂HPO₄ : Hydrogénophosphate de potassium

NaCl : Chlorure de sodium

H₂O : molécule d'eau

MgSO₄ : Sulfate de magnésium

CaCl₂ : Chlorure de calcium

FeSO₄: Sulfate de fer

\$: Dollar

Ha: Hectare

XIXe : 19e

XIIe : 12e

XVe : 15e XVIIe : 17e Xe : 10e

h : heure

Min : minute

IG : Indice glycémique

ms : Matière sèche

Kcal : kilocalories

KJ : Kilojoule

NS : Non significative

g/cm³ : gramme par centimètre au cube pour mesurer La masse volumique > : Supérieur

t/an : Tonne/ an

CSR : Clostridium sulfito-réducteurs

UFC : Unité formant de colonie

kg/hab/an : kilogramme par habitant par an

Ind : Indénombrable

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE NATURELLE DE SPIRULINA PLATENSIS	9
TABLEAU 2: ACIDES AMINES ESSENTIELS DE LA SPIRULINE.	17
TABLEAU 3: PRINCIPAUX ACIDES GRAS DE SPIRULINA PLATENSIS	17
TABLEAU 4: TENEURS EN PIGMENTS DE SPIRULINA PLATENSIS	18
TABLEAU 5: RECETTE DES BISCUITS	31
TABLEAU 6: TEMPERATURE DE CUISSON POUR CHAQUE ZONE DU FOUR.....	32
TABLEAU 7:ANALYSES MICROBIOLOGIQUES EFFECTUEES.....	48
TABLEAU 8: ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA SPIRULINE	60
TABLEAU 9: ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUES DE LA FARINE ET POUDRE DE LAIT.....	62
TABLEAU 10: RESULTATS DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DE LA SPIRULINE	64
TABLEAU 11: RESULTATS DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DE LA FARINE	65
TABLEAU 12: RESULTATS DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DE L'AROME NOISETTE	65
TABLEAU 13: RESULTATS DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DU DEXTROSE.....	66
TABLEAU 14: RESULTATS DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DU DEXTROSE.....	67
TABLEAU 15:RESULTATS DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DU JAUNE D'ŒUF.....	67
TABLEAU 16:RESULTATS DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DE LA POUDRE DE LAIT.	68
TABLEAU 17: RESULTATS DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DU SUCRE	69
TABLEAU 18: RESULTAT DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DE BISCUIT (BIMO) ET DE BISCUIT ENRICHIS EN SPIRULINE	69
TABLEAU 19: TABLEAU REPRESENTATIF DES CARACTERISTIQUES ALVEOGRAPHIQUES DE LA FARINE.....	71
TABLEAU 20: LE TAUX DE CENDRES ET DE LA MATIERE ORGANIQUE DES BISCUITS.....	75
TABLEAU 21: TENEURS EN EAU ET EN MATIERE SECHE DES BISCUITS	76
TABLEAU 22: RESULTATS DES ANALYSES ORGANOLEPTIQUES ET SENSORIELLES DES BISCUITS	80
TABLEAU 23: MEDIANES, MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES NOTES OBTENUES POUR CHACUNE DES CARACTERISTIQUES POUR LES BISCUITS A, B ET C.....	81
TABLEAU 24: COMPARAISON DES MEDIANES ENTRE LES BISCUITS A, B ET C : COMPARAISON DES MEDIANES ENTRE LES BISCUITS A, B ET C	82
TABLEAU 25: COMPARAISON DES MEDIANES ENTRE LES BISCUITS A ET B	82
TABLEAU 26: COMPARAISON DES MEDIANES ENTRE LES BISCUITS A ET C	83
TABLEAU 27: RESULTATS DES ANALYSES PHYSIQUES DES BISCUITS	91

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: SCHEMA DU POSITIONNEMENT DES ALIMENTS FONCTIONNELS	6
FIGURE 2: DIFFERENTES FORMES PRISES PAR LA SPIRULINE.....	12
FIGURE 3: LE CYCLE DE LA SPIRULINE	12
FIGURE 4:DEVELOPPEMENT, CUISSON, SOLIDIFICATION ET COLORATION DES BISCUITS.	33
FIGURE 5: REFROIDISSEMENT DES BISCUITS	33
FIGURE 6: LE CONDITIONNEMENT	34
FIGURE 7: PHOTOGRAPHIE ORIGINALE DU CONDITIONNEMENT.....	34
FIGURE 8: LES ETAPES DE FABRICATION DES BISCUITS	35
FIGURE 9:DIAGRAMME DE FABRICATION DE BISCUIT.....	36
FIGURE 10: MATERIELS UTILISE DANS LABORATOIRE.....	47
FIGURE 11: FORMULAIRE DE REPOSE NEUTRACEUTIQUE.....	59
FIGURE 12:TENEURS EN PROTEINES DES TROIS BISCUITS FORMULES.....	73
FIGURE 13: TAUX DE CELLULOSE BRUTE DES TROIS BISCUITS FORMULES.	74
FIGURE 14: TAUX DE CELLULOSE BRUTE DES TROIS BISCUITS FORMULES.	75
FIGURE 15: TAUX DE MATIERE GRASSE DES BISCUITS	77
FIGURE 16: TAUX DE GLUCIDES DES BISCUITS.....	77
FIGURE 17: VALEUR ENERGETIQUE DES BISCUITS.	78
FIGURE 18: TAUX D'ACCEPTABILITE DE LA COULEUR DU BISCUIT TEMOIN ET ENRICHIS EN SPIRULINE.	84
FIGURE 19: TAUX D'ACCEPTABILITE DE LA FORME DU BISCUIT A 1%	86
FIGURE 20: TAUX D'ACCEPTABILITE DE LA FORME DU BISCUIT A 2%	86
FIGURE 21: TAUX D'ACCEPTABILITE DE GOUT DU BISCUIT TEMOIN ET ENRICHIS EN SPIRULINE.	87
FIGURE 22: TAUX D'ACCEPTABILITE DE L'ODEUR DU BISCUIT TEMOIN ET ENRICHIS EN SPIRULINE.	89
FIGURE 23:TAUX D'ACCEPTABILITE DE LA FRIABILITE DU BISCUIT TEMOIN ET ENRICHIS EN SPIRULINE.	90

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

INTRODUCTION

Chapitre I : Etude Bibliographique

Sommaire

I-1-Les aliments fonctionnels	3
I-1-1-Généralités sur les aliments fonctionnels	3
I-1-1-1Définitions.....	3
I-1-1-2-Origine des aliments fonctionnels.....	4
I-1-1-3-Les aliments fonctionnels dans le monde	5
I-1-1-4-Positionnement des aliments fonctionnels	5
I-1-1-5-Les différentes catégories d'aliments fonctionnels.....	6
I-2- La spiruline.....	7
I-2- 1-Définition	7
I-2- 2-Historique.....	8
I-2-3- Elément biologique de la spiruline.....	8
I-2- 4-Répartition géographique	9
I-2- 5-Caractéristiques morphologiques de la spiruline	11
I-2- 6-Principales applications de la spiruline	14
I-3-Les éléments nutritifs de la spiruline	16
I-3-1-Protéines et acides aminés.....	16
I-3-2- Lipides et acides gras	17
I-3-3--Glucides	17
I-3-4-Vitamines	18
I-3-5-Pigments.....	18
I-4-Etude toxicologique.....	18
I-4-1-Toxines des Cyanotoxines.....	18
I .3. Les biscuits.....	19
I .3. 2-Classification des biscuits.....	19
I .3. 3-Effets des principaux ingrédients.....	20

I .3. 3-1-La farine.....	20
I .3. 3-2-La matière grasse	21
I .3. 5-Contribution structurale	21
I .3. 6-Qualités organoleptiques et nutritionnelles.....	23
I .3. 6-1-Le sucre	23
I .3-2-L'eau.....	24
I .3. 7-La pâte biscuitière.....	24
II -1-Présentation du Groupe Bimo	28
II.2. Matériels	30
II.2.1. Matériels biologiques.....	30
II.2.2. Matériels non biologiques.....	30
II.3-Les matières premières	30
II.5-Etape de fabrication des biscuits	31
II.6-Analyse physico-chimique de la farine	37
II.6.1-Méthodes d'analyses physico-chimiques	37
II.6.1.1-Humidité.....	37
II.6.1.2-Le potentiel hydrogène (pH).....	38
II.6.1.3-Protéines totales.....	38
II.6.1.4-Lipides totaux	40
II.6.1.5-Glucides totaux	40
II.6.1.6-Taux de cendres.....	42
II.6.1.7-Acidité grasse	42
II.6.1.8-Le titrage se fait comme suite.....	43
II.6.2.1-Taux de gluten	44
II.7.1- Caractère physique des biscuits.....	47
II.8. Analyse microbiologique	47
II.8.1. Recherche de la flore aérobie mésophile	49
II.8.3. Recherche des <i>staphylococcus aureus</i>	52
II.8.3. Recherche des salmonelles	52
II.8.4. Recherche des Clostridium sulfito-réducteurs	53
II.8.5. Recherche des streptocoques fécaux dans l'eau	54
II.8.6. Recherche des levures et moisissures	55
II.8.7. Dénombrement des bactéries lactiques.....	56
II.9-Analyse organoleptique	57

II.10-Etude économique	59
II.11-Etude statistique	60
III .1-Analyses physico-chimiques	60
III .1.1.1-Humidité (H%) et matière sèche (MS%)	60
III .1.1.2-Matière grasse	61
III .1.1.3-Le Potentiel d'hydrogène (pH).....	61
III .1.1.4- Cendres et matières organiques.....	61
III .1.1.5-Protéines	61
III .1.1.6-Cellulose brute	62
III .1.1.7-Glucides totaux.....	62
III .1.1.8-La valeur énergétique	62
III .1.2-Analyse physico-chimiques de la farine et la poudre de lait	62
III .1.3-Analyse microbiologique des matières premières.....	65
III .1.3.1-Farine.....	65
III .1.3.2-Arôme Noisette	65
III .1.3.3-Dextrose	66
III .1.3.4-La graisse	66
III .1.3.5-Jaune d'œuf.....	67
III .1.3.6-Poudre de lait.....	68
III .1.3.7-Sucre.....	69
III .1.4-Produit fini	69
III .2- Analyse technologique	70
III .2.1-Dosage du gluten.....	70
III .3- Evaluation biochimique et nutritionnelle des Produits finis	73
III .3.1-Composition biochimique	73
III .3.1.1-La teneur en protéines	73
III .3.1.2-Teneur en cellulose	74
III .3.1.3. Potentiel d'hydrogène (pH).....	75
III .3.1.4-Taux de cendres et de la matière organique	75
III .3.1.5- La teneur en eau et en matière sèche.....	76
III .3.1.6-Le taux de matière grasse	76
III .3.1.7-Teneur en glucides	77
III .3.1.8. Densité énergétique	78
III .4-Analyse sensorielle.....	79

III .4.1. Analyse statistique.....	81
III .5- Caractère physique des biscuits	91
III .6-Etude économique.....	91
Conclusion.....	92
CONCLUSION	92

Références bibliographiques

Introduction

INTRODUCTION

En Algérie, comme dans l'ensemble des pays industrialisés, les habitudes alimentaires ont beaucoup changé au cours des 30 dernières années. De nouveaux aliments ont été introduits, d'autres ont pratiquement disparu de la composition des repas. Ces profondes modifications apportent sur le plan nutritionnel des aspects positifs et d'autres négatifs ayant pour conséquence, des avantages et des inconvénients sur la santé des individus.

Des modifications profondes du mode de vie et les progrès technologiques en industrie agro-alimentaire ont contribué, notamment, à diminuer la qualité nutritionnelle des aliments et à augmenter l'utilisation de produits chimiques tels que les additifs alimentaires dans notre alimentation (**Dupire, 2011**).

Ces changements sont attribués à la mondialisation de la malnutrition. Cette notion change d'aspect selon le contexte géographique et économique. Surpoids et obésité d'une part, diverses carences de l'autre. Une personne meurt de faim toutes les 4 secondes aujourd'hui ce qui fait 30 millions de personnes par an ; dont 40 000 enfants par jour. En effet, la malnutrition est un fléau substantiel sur notre planète, qui tue plus de personnes que les guerres et les catastrophes naturelles réunies. (**Communiqué de Presse FAO, 2012**).

Dans la nutrition mondiale d'aujourd'hui, de nouveaux produits alimentaires sont préparés à partir de nouvelles sources énergétiques. La spiruline est l'un des suppléments alimentaires qui se fait connaître pour sa richesse en protéines. Elle est considérée comme une ressource alimentaire non conventionnelle pouvant contenir jusqu'à 70 % de protéines ce qui est non négligeable sur le plan nutritionnel (**Benahmed D 2012**).

La spiruline est un micro-organisme aquatique (0,3mm de long), en forme de spirale et de couleur vert-bleue. Elle est apparue sur la terre il y a plus de 3,5 milliards d'années. Cette microalgue poussant en eau douce est en réalité une bactérie photosynthétique. En plus de contenir des protéines, elle est riche en nutriments et posséderait des propriétés immunostimulantes. Par ailleurs, elle peut être produite de façon artisanale et à un coût accessible. Durant ces dernières décennies, la spiruline a

suscité de nombreux écrits et de nombreux espoirs, elle est présentée comme solution miracle à la malnutrition qui règne et de nombreux pays (**Yamani *et al.*, 2009**).

A l'échelle mondiale, les secteurs de productions et de transformation des céréales sont des secteurs clés de la production agricole et agroalimentaire. Les dérivés de produit céréaliers constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien. Ils fournissent plus de 60% de l'apport calorique de la ration alimentaire nationale (**Talamalil, 2000**). Parmi les produits céréaliers les plus consommés par la population algérienne, on retrouve en tête les divers types de pain, et les biscuits qui sont très convoités par les enfants.

C'est pour cela nous avons tenté de valoriser la spiruline, considérée comme une mine d'or, dans la fabrication d'un produit diététique à savoir un biscuit hyper-protéiné.

L'objet de ce travail consiste donc en un essai de fabrication d'un biscuit enrichi en protéines moyennant un taux de 1% à 2% de spiruline.

Pour ce faire, nous avons organisé ce mémoire en plusieurs parties à savoir :

- Une partie bibliographique qui comporte trois parties : la première sur les aliments fonctionnels et la deuxième sur la spiruline et la troisième sur les biscuits
- Une partie matériel et méthode comportant Etudes physico-chimique, physique, microbiologique, sensorielle et économique des biscuits fabriqués.
- Enfin une comparaison des résultats trouvés entre biscuits enrichis en spiruline et les biscuits témoins (non enrichis en spiruline).

***CHAPITRE I: ÉTUDE
BIBLIOGRAPHIQUE***

I-1-Les aliments fonctionnels

I-1-1-Généralités sur les aliments fonctionnels

I-1-1-1 Définitions

Qu'ils soient appelés aliments santé, aliments fonctionnels, nutraceutiques ou aliments fonctionnels, ils se concentrent tous sur une chose : ils prétendent prévenir et/ou guérir les maladies et restaurer la force, la forme et la beauté. "Aliment fonctionnel" est un terme dont la définition varie selon l'auteur qui le cite. Nous attribuons la première définition au professeur Rober Froid, pionnier dans le domaine. Pour lui, "Un aliment fonctionnel est un aliment qui a un effet ciblé sur les fonctions corporelles, affectant ainsi positivement la fonction physiologique, car il contient des ingrédients améliorant la santé et peut justifier des allégations de santé le cas échéant" (**Forum sur les aliments fonctionnels, 1998**).

La seconde est originaire du Japon et est liée à un "aliment santé spécifique" appelé FOSHU : "Un aliment fonctionnel est un aliment qui, sur la base de connaissances sur la relation entre un aliment ou ses composants et la santé, peut avoir des effets bénéfiques sur la santé, et a été autorisé à l'étiqueter en affirmant que si une personne l'utilise à des fins de santé spécifiques, elle peut s'attendre à obtenir un "usage sain" en le consommant (**Bradbury et al., 1996**).

L'absence de consensus universel d'une définition unique des aliments fonctionnels fait que chaque pays présente une interprétation propre à lui. Les deux définitions précédentes ne sont donc pas les seules existantes. Nous avons réuni quelques-unes des autres définitions provenant de diverses sources, qui montrent l'imprécision ou la disparité de ce terme.

- « Aliment qui fournit des bénéfices santé au-delà de la nutrition de base » (**IFIC Foundation, 1995**).
- « Aliment ou produit alimentaire commercialisé avec un message de bénéfice pour la santé » (**Riemersma, 1996**).

D'autres sont en revanche plus élaborées :

- « Aliment ressemblant en apparence à un aliment traditionnel et qui est consommé dans le cadre de la nourriture habituelle, mais qui est capable d'exercer des effets physiologiques démontrés ou de réduire le risque d'une maladie chronique au-delà de la fonction nutritionnelle de base (**Federal, 1994**).

- « Aliment qui contient des composants potentiellement bénéfiques incluant tout produit, composant ou mode alimentaire qui peut fournir un bénéfice pour la santé au-delà de ceux dépendant des nutriments traditionnels qu'il contient » (**Food and Nutrition Board of the National Academy of Science, 1998**).

I-1-1-2-Origine des aliments fonctionnels

La recherche sur les aliments fonctionnels a commencé au Japon il y a près de 40 ans, lorsque le ministère de l'éducation a fourni un financement universitaire à 86 projets de recherche sur l'analyse et le développement de systèmes d'aliments fonctionnels. Cette recherche a conduit le ministère japonais de l'éducation à parrainer d'autres projets de recherche à la fin des années 1980 et au début des années 1990, qui s'articulaient autour de deux thèmes : l'analyse fonctionnelle de la régulation physiologique des aliments et l'analyse des aliments fonctionnels et la conception moléculaire. (**Boudouhiet *al.*, 2006**).

En 1991, le ministère de la Santé et des Affaires sociales du Japon a également introduit une réglementation sur l'étiquetage pour déclarer les aliments à usage diététique. Quatre catégories d'aliments ont ensuite été identifiées, que la loi sur l'amélioration de la nutrition décrit comme des "aliments diététiques spécifiés" sur lesquels des effets spécifiques sur la santé sont autorisés à être enregistrés, dans le but d'améliorer la santé des personnes. Aux États-Unis, la Nutrition Labelling and Education Act de 1994 autorise l'utilisation d'allégations de santé sur les aliments contenant certains ingrédients. Les ingrédients doivent avoir été scientifiquement soupçonnés d'être associés à certaines maladies par l'Office of Pharmaceutical and Food Control.

L'UE s'appuie sur la recherche pour renforcer sa position concurrentielle dans l'industrie alimentaire. La recherche en Europe devrait être la première à reconnaître le rôle que la composition des aliments modifie la fonction corporelle dans le maintien et l'amélioration du bien-être et de la santé et la réduction du risque de maladie grave (**Forum sur les aliments fonctionnels, 1998**).

I-1-1-3-Les aliments fonctionnels dans le monde

Du point de vue de plusieurs auteurs, le marché japonais représente le principal marché des aliments fonctionnels dans le monde. Ainsi, il est considéré comme étant une filière à fort potentiel de croissance et de développement rapide et cela malgré le fait qu'elle soit l'une des plus anciennes dans le pays.

Le marché européen des aliments fonctionnels se chiffrait en 1999 à 18 milliards US\$ (**Hillia, 2000**). Le taux de croissance de la demande européenne est de 7 à 10 % (**Castel et al., 2002**). La Grande-Bretagne, la France et l'Allemagne représentent plus de la moitié de cette demande. Cependant, le marché des aliments fonctionnels représente moins de 1% du marché alimentaire en Europe (**Menrad,2003**).

Les différentes évaluations du marché des aliments fonctionnels aux États-Unis oscillent autour de 18 milliards de US \$ (**Hilliamet al., 2000**). De plus, les estimations du taux de croissance de la demande d'aliments fonctionnels en Amérique du nord sont assez semblables à celles de l'Europe et varient annuellement entre 7 et 10 % (**Westratetal., 2002**).

I-1-1-4-Positionnement des aliments fonctionnels

Selon les besoins auxquels ils répondent et le niveau de technologie utilisé pour la fabrication, comme on peut le voir sur la carte de positionnement (Figure 1), les aliments fonctionnels peuvent se placer entre l'aliment et le médicament. Un aliment est défini comme "une substance qui est ingérée par un organisme pour assurer son entretien, sa croissance et couvrir ses dépenses énergétiques", quant aux médicaments, ils sont considérés comme des "substances ou compositions qui paraissent avoir un effet thérapeutique" pour l'homme, ou propriétés préventives"(**Boudouhietal., 2006**).

De plus, les aliments fonctionnels diffèrent par leur forme des compléments alimentaires. En effet, ces derniers sont des produits destinés à compléter les apports obtenus grâce à l'alimentation actuelle pour compenser le déficit réel ou supposé d'apports journaliers. Présentés sous forme de capsules, des pilules ou des bases comestibles qui contiennent des vitamines, des minéraux et d'autres types d'ingrédients. Cependant, un aliment fonctionnel est un produit qui devrait faire partie de l'alimentation quotidienne et qui ne se distingue pas d'un aliment ordinaire par son goût, son apparence ou son odeur.(**Boudouhi et al., 2006**).

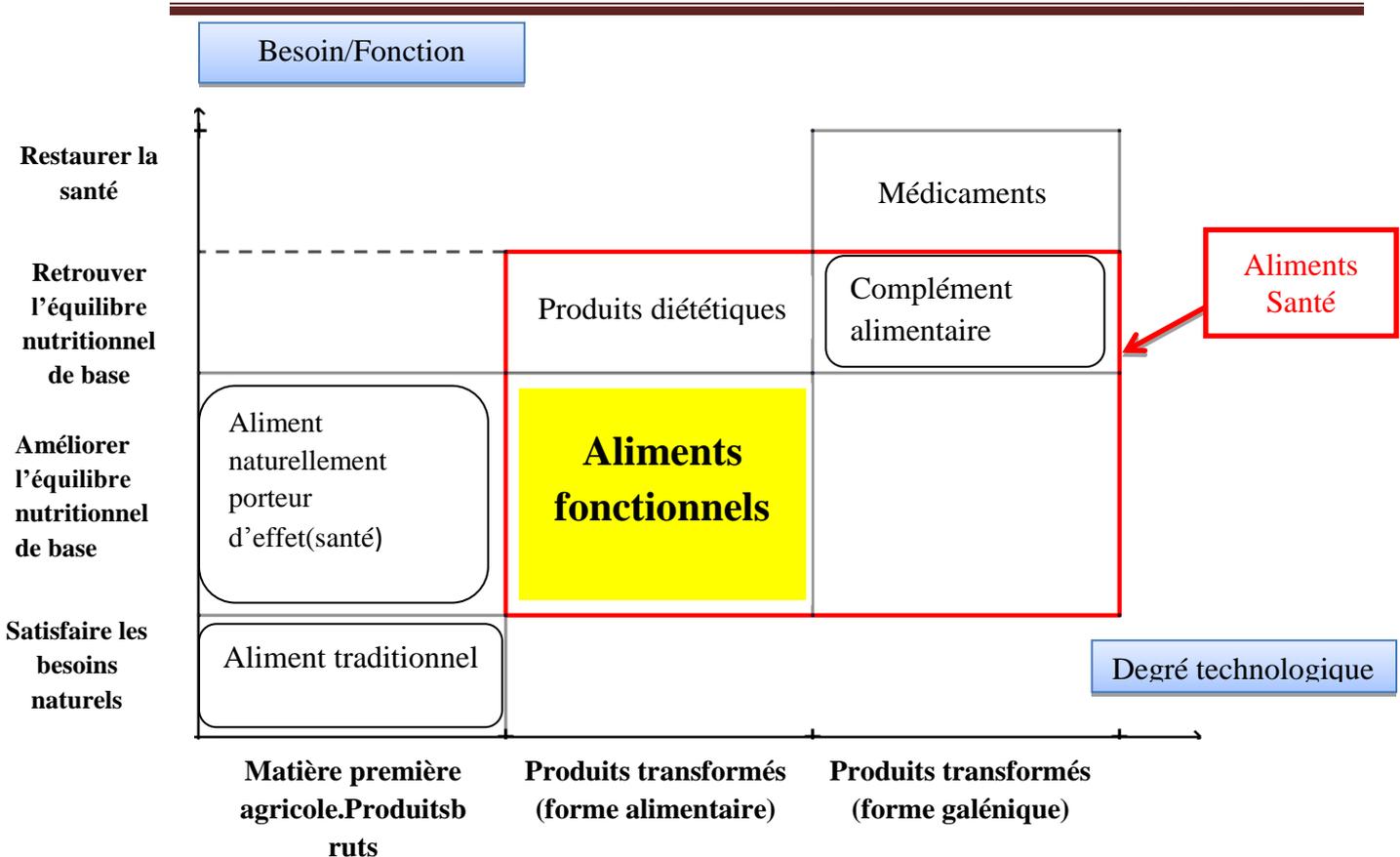


Figure 1: Schéma du positionnement des aliments fonctionnels

(Source :

Boudouhiet *al.*, 2006)

Ils se distinguent également des produits "de régime" (Figure 1), qui sont destinés à être utilisés dans des régimes alimentaires spécifiques, font l'objet de formulations ou de procédés de fabrication typique, pour les distinguer des aliments courants et pour répondre à des besoins physiologiques particuliers dus à la maladie ou à des conditions physiologiques particulières (ex. convalescence, grossesse, activité physique intense) (Boudouhiet *al.*, 2006).

Il est généralement admis qu'un aliment fonctionnel est un aliment qui exerce un effet bénéfique exclusif sur une ou plusieurs fonctions de l'organisme, notamment pour cet aliment. Cet effet va au-delà des effets nutritionnels habituels.

I-1-1-5-Les différentes catégories d'aliments fonctionnels

La taxonomie telle que nous la connaissons aujourd'hui a été développée lors du forum dédié aux aliments fonctionnels, 1-2 décembre 1998 à Strasbourg (**Forum des aliments fonctionnels, 1998**). On dit que les aliments sont fonctionnels de cinq façons :

En éliminant les ingrédients connus ou déterminés comme étant nocifs pour les consommateurs (comme les protéines allergènes).

En augmentant la concentration d'ingrédients naturels dans les aliments. Concentrations pouvant provoquer l'effet recherché par :

- Stimulation des micronutriments pour atteindre un apport quotidien supérieur à l'apport quotidien recommandé (mais dans les limites des directives diététiques pour la prévention des maladies)
- Concentration accrue d'un non-nutriment avec des effets bénéfiques étayés par des données.

En ajoutant un composant normalement absent de la majorité des aliments, mais dont les effets bénéfiques sont prouvés (antioxydant non vitaminique ou fructosanepre biotique, par exemple).

En remplaçant un composant (généralement un macronutriment) dont la consommation est souvent excessive et provoque donc des effets nocifs (graisses, par exemple), par un autre composant aux effets bénéfiques reconnus (inuline de la chicorée, par exemple).

En améliorant la biodisponibilité des composants alimentaires (ou en les modifiant) aux effets bénéfiques reconnus.

I-2- Laspiruline

I-2- 1-Définition

La spiruline *cyano bactérie Arthrospira platensis* est une cyano bactérie de couleur bleu-vert caractéristique, due à la présence d'un pigment protéique rare. Elle tient ce nom du fait de sa présentation sous forme de filaments, mobiles enroulés en spires (**Cruchot, 2008**).

Elle est considérée comme une ressource alimentaire non conventionnelle et peut contenir jusqu'à 70 % de protéines (**Benahmed-Djilali, 2012**). Il a été fréquemment étudié par la communauté scientifique internationale ces dernières années, et sa composition chimique lui confère des propriétés nutritionnelles et biologiques très importantes (**Pierlovisi, 2008**). Elle apparaît comme une micro algue prometteuse avec une action contre la sous-alimentation et certaines maladies nutritionnelles (**Fox, 2002**).

I-2- 2-Historique

Les cyanobactéries, cyanobiontes ou encore cyanophycées sont la famille des algues bleues-vertes à laquelle appartient la spiruline, appelés *Arthrospira sp.*, ou *Spirulin asp.*, (Elyah Ariel, 2011).

La spiruline est la plus ancienne forme de vie verte apparue sur la terre il y a Trois milliards et demi d'années (Girardin-Andreani, 2005).

En 1513, le conquistador espagnol Hernan Cortes relatait que les Aztèques consommaient la spiruline mélangée avec du maïs (Tabutinet *al.*,2002). Et en 1844, la spiruline a été décrite pour la première fois par Wittrock et Nordstedt sous le nom de *Spirulina jeneri platensis* dans *l'Algae Dulcia Exsicc.* C'est en 1940 que Dangeard mentionne pour la première fois l'utilisation des spirulines dans l'alimentation humaine (Sallet *al.*, 1999) et c'est dans les années 1970 que le docteur Ripley .D.Fox, encouragea et créa des sites de production de spiruline (Elyah, 2003).

La première culture artisanale de spiruline revient à Fox Ripley qui fut le premier à lancer cette activité en Inde en 1973, en collaboration avec le Navsari Agricultural collège (Charpyet *al.*, 2008).

Les principales fermes de production de spiruline se trouvent aux USA (Californie et Haïti), en Thaïlande et en Chine (M' hamed, 2008). L'Algérie a développé la culture de spiruline au sud algérien précisément la région deTamanrasset. Cependant, la spiruline produite localement ne couvre pas les besoins des consommateurs (Benahmed-Djilali, 2012)

I-2-3- Elément biologique de la spiruline

A ce jour, il existe 200 genres et environ 1 500 espèces connues de cyanobactéries ; du moment où elles sont très difficiles à détecter, il en reste peut-être encore beaucoup à découvrir (Cruchot, 2008) Parmi elles, le genre *Spirulina* ou *Arthrospira*, une Cyanobactérie filamenteuse, comprenant une bactérie particulièrement intéressante appelée Spiruline (ou *Arthrospira platensis*) (Sguera, 2008).

D'un point de vue taxonomique, la Spiruline est la plus connue, appartenant à l'ordre Nostoc, *Oscillatoraceae* et *Arthrospira*(Antenna Technologies, 2006; Objectif Sciences, 2006).

Chapitre : Etude bibliographique

A noter que parfois, malheureusement, il existe un véritable méli-mélo entre la spiruline, et les spirochètes. La confusion provient à la fois d'erreurs dans les déterminations scientifiques dans les années 1950 et des noms commerciaux de certaines cyanobactéries alimentaires (Cruchot, 2008).

Selon une étude de préféabilité, (Sodelac, 2000). Il existe 3 espèces comestibles : *Arthrospira platensis*, *Arthrospira geitleriou maxima*, *Arthrospira fusiformis misou jeejibai*. Cependant, il faut noter qu'en raison de la grande variabilité morphologique d'une même espèce d'*Arthrospira*, la distinction entre ces différentes espèces reste floue. L'espèce au Tchad est très variable et est connue sous le nom d'*Arthrospira platensis*.

I-2- 4-Répartition géographique

La spiruline pousse naturellement dans des lacs alcalins contenant du carbonate de sodium (Na_2CO_3) ou du bicarbonate de sodium (NaHCO_3), d'autres minéraux et une source fixe d'azote. De tels lacs se trouvent sur tous les continents, souvent à proximité de volcans et d'anciens cratères, ainsi que de déserts, ou l'eau minérale provient des montagnes. Elle a la capacité de pousser dans des environnements extrêmes, avec une eau atteignant parfois environ 200 % de salinité. La spiruline pousse naturellement à des latitudes comprises entre 35°N et 35°S. Les paramètres biologiques sont souvent difficiles à contrôler : le climat et la disponibilité des éléments nutritifs peuvent modifier la composition des algues, et des milieux de croissance spécifiques sont souvent le seul moyen fiable de réguler la production (Tabutin et al., 2002).

Tableau 1: Distribution géographique naturelle de *Spirulina platensis*

(Source : Fox, 1999)

AFRIQUE	
Algérie	Tamanrasset
Tchad	Région du Kanem : lacs Latir, Ouna, Borkou, Katam, Yoan, Leyla, Bodou, Rombou, Moro, Mombolo, Liwa, Iseirom, Ouniangakebir
Soudan	Cratère de Djebel Marra
Djibouti	Lac Abber
Ethiopie	Lacs Aranguadi, Lesougouta, Nakourou, Chiltu, Navasha, Rodolphe
Congo	Mougounga
Kenya	Lacs Nakuru, Elmenteita, Cratère, Natron

Chapitre : Etude bibliographique

Tanzanie	Lac Natron
Tunisie	Lac Tunis; Chott el Jerid
Zambie	Lac Bangweoulou
Madagascar	Beaucoup de petits lacs près de Toliara
ASIE	
Inde	Lacs Lonar et Nagpur
Myanmar	Lacs TwynTaung, Twyn Ma et TaungPyank
Sri Lanka	Lac Beira
Pakistan	Mares près de Lahore
Thaïlande	Lacs d'effluents d'une usine de tapioca, province de Radburi, 80 km au S.O. de Bangkok
Azerbaïdjan	<i>non précisé</i>
AMERIQUE DU SUD	
Pérou	Réservoir d'eau près de Paracas Près de l'Ile d'Amantani dans le lac Titicaca
Mexique	Lac Texcoco ; lac Cratère
Uruguay	Montevideo
Equateur	Lac Quiliotoa : cratère de 1km de diamètre
AMERIQUE DU NORD	
Californie	Oakland ; Del Mar Beach
Haïti	Lac Gonâve
République Dominicaine	Lac Enriquillo
EUROPE	
Hongrie	<i>non précisé</i>
France	Camargue
AUTRES SITES POSSIBLES	
Partout où vivent le flamant nain, <i>Phoenocnias minor</i> (Afrique et Asie) et le flamant de James, <i>Phoenicoparrus jamesi</i> (Amérique du sud)	
Ethiopie	Lac Abiata
Kenya	Lac Rodolphe ; lac Hannington
Tanzanie	Lac Manyara ; lac Rukua
Zambie	Lac Mweru
Botswana	Makgadigka Salt Pans

Chapitre : Etude bibliographique

Namibie	Etosha Salt Pan
Afrique du Sud	Etat libre d'Orange, près de Vaaldam
Bolivie	Lacs Colorado, Poopó, Chalviri, Salarde Uyuni

I-2- 5- Caractéristiques morphologiques de la spiruline

C'est une micro algue d'eau douce d'environ 0,3 mm de longueur (**Tabutinet al., 2002**). La spiruline est un filament multicellulaire bleu-vert, mobile, non ramifié et enroulé en spirale. Ce filament s'appelle un trichome ; sa forme en spirale, qui ne s'observe qu'en milieu liquide, est caractéristique du genre. C'est de là que la spiruline tire son nom. Lorsque le filament a 7 spires, la longueur moyenne du filament est de 250 microns et le diamètre est d'environ 10 microns (**Cruchot, 2008**).

De plus, il a une forme résistante à la sécheresse qui creuse des kystes dans le limon des lacs où elle vit. Il est vrai que de nombreux lacs s'assèchent en l'absence de pluie, mais la spiruline peut supporter des taux de sel extrêmement élevés. Lors de l'évaporation de l'eau, les filaments des algues se rassemblent en petits agrégats. La pression osmotique très élevée pousse le polysaccharide hors de la cellule, qui forme alors une couche protectrice qui empêche la perte d'humidité interne ou adhérente. Cette petite quantité d'eau permet aux cellules placées dans les agrégats de survivre même pendant des années de sécheresse, jusqu'à ce que la prochaine pluie remplisse le lac. Les bactéries englobent ensuite le polysaccharide pour libérer les cellules encore vivantes, qui repeuplent ensuite le lac. Cette technique de survie est appelée cryptobiose. Cependant, la spiruline se présente sous une forme différente (Figure 2). Il existe des formes classiques en spirale, ondulées et parfois droites. Cette caractéristique est directement liée aux conditions écologiques de son habitat (**Charpy et al., 2008**). Le terme "spirale" désigne des souches dont les filaments ont une forme tressée, telles que "Lonar" (Inde); le terme "ondulées" désigne les souches dont les filaments sont en spirale étirée, telle la "Paracas" (Pérou) ; le terme "droites" désigne les souches dont les filaments sont tellement étirés qu'ils donnent l'impression d'être presque rectilignes (**Cruchot, 2008**).



Forme spiralée (type « Toliara ») Forme spiralée (type « Lonar »)



Figure 2: Différentes formes prises par la Spiruline.

Forme ondulée (type « Paracas ») Forme droite (type « M2 »).

(Source : **Antenna Technologie modifiée**)

Cycle biologique :

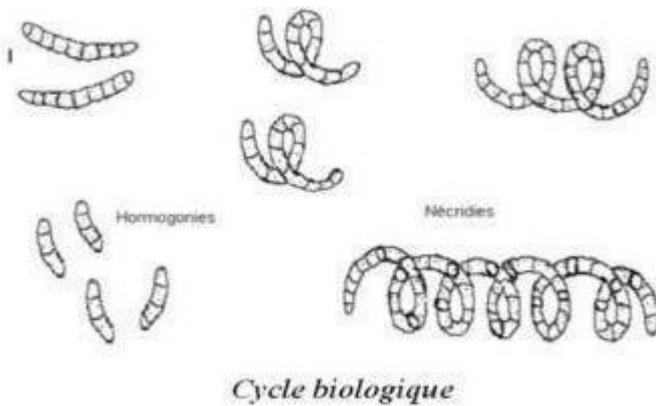


Figure 3: Le cycle de la spiruline

(Source : **Balloniet al., 1980**)

Le cycle est illustré sur la Figure 3. Les filaments de spiruline matures forment des cellules spécialisées appelées nécrosomes. Elles se distinguent des autres cellules par leur aspect biconcave et sont assimilées à des disques de séparation. À partir de ceux-ci, les trichomes se divisent en de nouveaux filaments de 2 à 4 cellules appelées homogonies. Ces derniers augmenteront en longueur par division binaire (chaque cellule produira deux cellules par fission) et prendront une forme hélicoïdale typique. Dans des conditions expérimentales, le temps de génération maximal (passage d'une génération à l'autre) de la Spiruline était d'environ 7 heures. (**Zarrouk, 1966**).

➤ **Conditions physiques et chimiques de croissance**

Ce qui distingue les *Arthrospira* des autres cyanobactéries est le milieu naturel dans lequel elles vivent. En effet, la Spiruline prolifère dans une eau fortement minéralisée, extrêmement alcaline et chaude. Ces conditions environnementales très restrictives excluent la plupart des autres organismes. De plus, le développement de la spiruline dans ces milieux contribue encore à renforcer l'effet répulsif à travers trois phénomènes (**Fox, 1999; Doumandji, 1993**).

- En consommant les carbonates et bicarbonates de son milieu, la spiruline tend à augmenter l'alcalinité de celui-ci ;
- Ses filaments pigmentés et flottants forment un écran qui prive de la lumière solaire les rares algues qui pourraient s'accommoder du milieu de culture (exemple de la chlorelle, microalgue comestible pouvant proliférer dans des cultures de spirulines trop peu concentrées);
- En sécrétant des molécules qui s'avèrent actives contre une vaste gamme de bactéries **(Cruchot, 2008)**.

Grâce à ses pigments chlorophylliens, la spiruline est une espèce photo auto litotrophe aérobie **(Merceron, 2006)**.

Dans la Spiruline, la photosynthèse est la clé de sa croissance. Pour effectuer la photosynthèse, la spiruline a besoin d'eau, de carbone et de nutriments, notamment d'azote. Il prend des sources minérales de carbone (dioxyde de carbone dans l'atmosphère) et les convertit en énergie biochimiquement utilisable représenté par le glucose. Sa caractéristique commune avec les autres cyanobactéries, est l'absence de cycle de Krebs complet. **(Doumandji, 1993; Fox, 1999)**.

La spiruline pousse dans des milieux naturels tropicaux caractérisés par des eaux saumâtres, chaudes, alcalines ($8 < \text{pH} < 11,5$) et carbonatées (fortement concentrées en carbonates et bicarbonates). De manière générale, les phosphates, les carbonates, les nitrates et le fer sont les éléments limitant de la production de phytoplancton dans les milieux aquatiques. Dans les gisements naturels, ces éléments sont apportés par le bassin versant. La Spiruline se développe dans des eaux chaudes (28 à 40°C) et bénéficiant d'une intensité lumineuse élevée. Le vent joue un rôle important en créant une agitation qui favorise une dispersion homogène de la Spiruline dans le milieu, et donc son exposition à la lumière **(Charpy *et al.*, 2008)**.

➤ La reproduction

Sa méthode de reproduction est une simple dichotomie de fission. Il s'agit de la reproduction asexuée par division des filaments ; ce processus ne doit pas être confondu avec la mitose, qui n'existe que chez les eucaryotes **(König, 2007)**. Elle se reproduit de manière particulièrement rapide à l'ombre dès que la température dépasse 30°C, lorsque ces conditions

sont réunies et que l'environnement est favorable, le temps de génération est très court (7 heures) (Fox, 1999).

➤ Déplacement

La spiruline est capable de deux types de mouvement : la locomotion et la flottabilité. Les trichomes exercent un mouvement oscillant en forme de spirale lorsqu'ils tournent autour de leur axe principal. Ainsi, la spiruline peut évoluer dans l'eau en se tordant ; ce mouvement se produit à une vitesse de 5 microns par seconde (Doumandjiet *al.*, 1993).

La spiruline peut également faire des bulles d'environ 70 nanomètres de long et d'environ 10 nanomètres de diamètre, constituées de brins tissés de protéines. Ces vésicules ressemblent à des tubes cylindriques creux à calottes coniques. Ils sont généralement situés près des parois d'extrémité des cellules et s'empilent les uns sur les autres. Lorsque la lumière du soleil arrive, elles se forment et se remplissent de gaz : comme des ballons volants, elles laissent les filaments de spiruline remonter à la surface pour recevoir la lumière, ce qui déclenche 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-2- 6-Principales applications de la spiruline

➤ En cosmétique

Certains laboratoires de soins cosmétiques ont introduit la spiruline dans des crèmes, Ils vendent des shampoings ou des sérums en raison de la grande quantité d'actifs naturels (acides aminés, oligo-éléments, antioxydants, minéraux, vitamines, acides nucléiques (composants de l'ADN), protéines, acides gras essentiels...) que l'on trouve dans cette cyanobactérie (Banks , 2007). Grâce à ses propriétés antioxydantes qui empêchent la formation de radicaux libres, la spiruline améliore la souplesse et l'élasticité de la peau, retardant ainsi son vieillissement, et apporte brillance et résistance aux ongles et aux cheveux grâce à son concentré de nutriments et d'oligo-éléments (Banks, 2007). Elle est considérée comme un aliment spécial "beauté" et est aujourd'hui utilisée dans la préparation de soins anti-âge, de produits de spa et de thalassothérapie (masques, enveloppements corporels) à connotation marine, comme soins

réparateurs et fortifiants des cheveux et des ongles, en cataplasme et enveloppement marins, comme soin revitalisant pour le corps ou masque minéralisant du visage (Casal, 2019).

➤ En médecine

Vu la composition particulière de la spiruline, il existe diverses applications thérapeutiques dont les plus importantes sont :

- Renforcement des défenses immunitaires (opportunités contre les maladies opportunistes) ;
- Traitement de certaines maladies de la peau.
- C'est aussi un partenaire efficace pour soulager les douleurs rhumatismales et l'arthrose, lutter contre l'ostéoporose, l'hyper cholestérolémie, l'hypertension artérielle et les allergies. Il protège le cœur et augmente la régénération des cellules cérébrales (Dupont *et al.*, 2014). Toutes ces applications thérapeutiques de la spiruline permettent aujourd'hui de la commercialiser et de la consommer comme complément alimentaire.

➤ En agroalimentaire

Utilisé comme colorant naturel dans les chewing-gums, sorbets, bonbons, produits laitiers, boissons non alcoolisées (la phycocyanine est l'un des rares pigments bleus naturels). Il apparaît également dans une gamme de produits à base d'algues mélangés à du sel, des spaghettis, etc. Le pain à la spiruline a une longue histoire en Suisse et au Japon (Boudaoud, 2016).

➤ En alimentation humaine

Son application la plus connue et la plus ancienne reste l'alimentation humaine. De plus, la spiruline peut offrir une variété d'avantages en raison de son excellent profil nutritionnel. Par exemple, les humanitaires et les médecins l'utilisent sous forme de poudre mélangée à des céréales ou à de l'eau pour lutter contre la malnutrition sévère qui survient chez les enfants. Son efficacité avérée est supérieure à celle des médicaments pour pallier aux carences et traiter les maladies causées par la famine telles que l'émaciation ou le kwashiorkor (Fox, 1999). Sans oublier d'autres pathologies telles que la malnutrition protéino-énergétique, l'anémie ferriprive et les déficits en vitamines.

Pour les sportifs, sa consommation facilite l'effort et permet une meilleure récupération. En effet, la spiruline est considérée comme une excellente source de vitamines B9 et B12,

ainsi que de fer, ce qui la rend idéale pour les femmes enceintes, car elle leur permet d'accéder à tous les nutriments essentiels. Grâce à la phycocyanine qui augmente l'oxygénation des muscles et limite les crampes utérines, ces femmes peuvent mieux se préparer à l'accouchement et mieux récupérer par la suite après avoir pallié à la fatigue causée par l'allaitement (**Dupont et al.,2014**).

Au niveau de sa composition, la spiruline convient aussi bien aux enfants et adolescents qu'aux bébés en âge de consommer des protéines. Sa contribution aux éléments essentiels de la masse, ainsi que sa forte assimilation, est idéale pour les organismes en développement. Trois à cinq grammes par jour suffisent pour éviter les carences et éliminer les toxines associées à la restauration rapide prisée par les ados. Elle apporte également des bénéfices sur la qualité de la peau (**Vidalo, 2015**). Dans le monde de la nutrition, la spiruline est utilisée comme complément protéique pour ses bienfaits sur la santé. En tant que coupe-faim, elle réduit l'appétit et optimise l'apport énergétique (**Trembling et al., 2017**).

I-3-Les éléments nutritifs de la spiruline

La spiruline se consomme crue seule ou avec un liquide (eau, jus d'orange...) ou encore avec un aliment solide tel un biscuit. Elle apporte de nombreux minéraux, des vitamines et des antioxydants. Il s'agit donc d'un aliment riche en nombreux composants nécessaires à notre survie (**Dupire, 2011**).

I-3-1-Protéines et acides aminés

La spiruline est particulièrement riche en protéines puisqu'elles représentent 50 à 70 % de son poids sec (**Fox, 1999**). Elle produit par hectare et par an 300 fois plus de protéines que la viande de bœuf, 250 fois plus de protéines que le riz, 25 fois plus que le maïs, et même 20 fois plus que soja (**Flaquet, 2006**).

Même en qualité de protéines elle est bien plus élevée que celles du poisson (25 %), de la poudre du lait (35%) et des céréales (14%). Cette richesse tient compte de la faible quantité de spiruline utilisée en compléments alimentaire (<10 g par jour) (**Charpy et al., 2008**).

D'un point de vue qualitatif, les protéines de la spiruline ont une valeur biologique très élevée car elles renferment tous les acides aminés essentiels pour l'adulte (**tableau 2**) ; ceux-ci représentent 47 % du poids total des protéines (**Flaquet et hurni, 2006**).

Tableau 2: Acides aminés essentiels de la spiruline.

Acide aminé essentiel	Teneur en g pour 100g de protéine
Isoleucine	6,24
Leucine	8,91
Lysine	4,58
Méthionine	2,65
Phénylalanine	4,53
Thréonine	5,23
Tryptophane	1,60
Valine	6,74

I-3-2- Lipides et acides gras

La composition en lipides totaux de la spiruline se caractérise par un équilibre entre acides gras saturés et acides gras polyinsaturés cité dans le tableau 03 (**Charpy et al., 2008**).

La spiruline est considérée comme l'une des meilleures sources alimentaires connues d'acide Gamma-linolénique, c'est en effet un acide gras essentiel qui joue un rôle clé au niveau de la régulation des mécanismes cellulaires (**Cruchot, 2008; Falquet, 1996**).

Tableau 3: Principaux acides gras de *Spirulina platensis*

Acides gras	Pourcentages des acides gras
Palmitique (16 : 0)	25,8
Palmitoléique (16 : 1) oméga-6	3,8
Stéarique (18 : 0)	1,7
Oléique (18 : 1) oméga-6	16,6
Linoléique (18 : 2) oméga-6	12
Gamma- linoléique (18 : 3) oméga-6	40,1
Alpha - linoénique (18 : 3) oméga-3	Traces

I-3-3--Glucides

Les glucides représentent 15 à 25 % de la matière sèche de spiruline (**Fox, 1999**). Cependant, les glucides simples sont présents en très faibles quantités, représentés par le glucose, le fructose et le saccharose; on trouve aussi des polyols comme le glycérol, le mannitol et le sorbitol (**Hug et Von der weid, 2011**).

I-3-4-Vitamines

La spiruline contient de nombreuses vitamines liposolubles A, D, E, K et hydrosolubles spécialement la vitamine B (Charpy *et al.*, 2008).

La teneur mesurée en vitamine E par kg de spiruline sèche est de 50 à 190 mg, ce qui est comparable à celle du germe de blé considéré comme la référence sur le plan de l'apport en cette vitamine (Gomez-Coronado *et al.*, 2004)

Il est intéressant de souligner sa teneur exceptionnelle en vitamine B12, laquelle est de loin la vitamine la plus difficile à obtenir dans un régime sans viande car aucun végétal courant n'en contient. La spiruline en serait quatre fois plus riche que le foie de bœuf cru, longtemps donné comme meilleure source de vitamine B12. Cette teneur remarquable la fait recommander aux personnes atteintes d'anémie pernicieuse (Belay, 1997). 40 à 60 % des caroténoïdes présents dans la spiruline sont convertibles en vitamine A par les mammifères (Careri, 2001).

I-3-5-Pigments

La Spiruline contient des chlorophylles dont la chlorophylle *a* (Vidal, 2008). Des phycobili-protéines principalement la phycocyanine qui a une activité antioxydante, anti tumorale, d'hépatoprotection, etc.

Tableau 4: Teneurs en pigments de *Spirulina platensis*

(Source : Gershwin et Belay, 2008).

Pigments	Teneur en mg /10g
Chlorophylles totales	115
Chlorophylle a	61-75
Caroténoïdes (orange)	37
Phycocyanine (bleu)	1500-2000
Phycoérythrine (rouge)	2900-10000

I-4-Etude toxicologique

La spiruline destinée à l'alimentation humaine est autorisée à la vente depuis de nombreuses années dans les pays industrialisés. Elle est classée GRAS (Generally Recognized As Safe) par la Food and Drug Administration aux Etats-Unis (Falquet et Hurni, 2006).

I-4-1-Toxines des Cyanotoxines

Certaines cyanobactéries synthétisent des toxines, de sorte que les microcystines sont produites. Il a été rapporté que *Plankto thrix gardii* provoquait une insuffisance hépatique

et la mort chez des patients traités dans un centre d'hémodialyse brésilien en 1996 (**Jochimsen et al., 1998**). Les mêmes cyanobactéries auraient contaminé la vie aquatique du lac de Varèse, en Italie, en août 1997 (**Pratiet et al., 2002**). Cependant, en incluant une étude dans les étangs de Bormont (**Chomérat et al., 2006; Briand et al., 2002; Kohler et Hoeg, 2000**), il a été démontré que la toxicité du *phyto plancosid* n'est pas toujours manifeste. Quant à la Spiruline, elle n'aura pas les gènes pour assurer la synthèse des toxines cyano bactériennes (**Iteman, 2004**).

I.3. Les biscuits

I.3.1. Définition

L'origine du mot biscuit est dérivé de cuit, avec le préfixe bis (deux fois), il s'agit de la réfection tardive et savante de l'ancien mot « bescuit ». A ses débuts, le biscuit étant en effet une sorte de galette nécessitant une première cuisson, puis un passage dans des compartiments au-dessus du four ou dans une étuve pour terminer l'évaporation de son humidité. Cette double cuisson n'est plus pratiquée actuellement en biscuiterie et il sera plus juste de remplacer le terme biscuit par « bien cuit » (**Kiger et Kiger, 1967; Menard et al., 1992**).

A ce biscuit peut être attribuée la définition suivante : "C'est un aliment à base de farines alimentaires, de matière sucrantes, de matière grasse, et de tous autres produits alimentaires, parfums et condiments autorisés, susceptibles, après cuisson de conserver ses qualités organoleptiques et commerciales pendant une durée supérieure à un mois, et pouvant dépasser une année (biscuiterie sèche) ou un temps limité en fonction d'un débit régulier assez rapide (pâtisserie industrielle)" (**Kiger et Kiger, 1967 ; Mohtedji-Lambalais, 1989**).

I.3.2-Classification des biscuits

Il n'existe pas de classification officielle des biscuits en raison de la très grande variété de production et de la multiplicité des composants pouvant entrer dans les diverses fabrications. Cependant, une classification peut être envisagée en se basant sur la consistance de la pâte avant cuisson (**Kiger et Kiger, 1967; Mohtedji-Lambalais, 1989; Feillet, 2000**).

- *Les pâtes dures ou semi-dures* donnant naissance au type de biscuits secs sucrés et salés : casse-croûte, sablés, petit beurre, etc. C'est une fabrication sans œufs qui représente environ 60 % de la consommation de biscuits.

- Les pâtes molles s'adressent à la pâtisserie industrielle (à ne pas confondre avec la pâtisserie fraîche). Il s'agit à la fois de biscuits secs, tels que boudoirs, langues de chat et d'articles moelleux tels que génoises, madeleines, cakes, macarons. La particularité de ces biscuits est leur richesse en œufs et en matières grasses. Ils représentent environ 26.5 % de la consommation.
- Les pâtes qui ont une forte teneur en lait ou en eau et contiennent peu de matières grasses. Ce sont les pâtes à gaufrettes (10.5 % de la consommation).

Plusieurs facteurs peuvent influencer la qualité des biscuits tels que la qualité et le niveau des ingrédients utilisés ; les conditions de fabrication comme le pétrissage, le repos et le moulage de la pâte et enfin la cuisson et le refroidissement des biscuits (**Maache-Rezzouget al., 1998 ; Manohar et Rao, 2002**).

I.3. 3-Effets des principaux ingrédients

I.3. 3-1-La farine

Malgré la diversité des produits rencontrés en biscuiterie, la farine de blé reste la matière première principale de ce secteur. Elle constitue un élément clé de la qualité des produits de biscuiterie. C'est par exemple le cas des biscuits secs et des goûters, qui représentent la part la plus importante des références biscuitières, dont la farine représente plus de 60 Kg par 100 Kg de biscuit (**Mohtedji-Lambalais, 1989; Selseletattou, 1991; Menard et al., 1992; Tharrault, 1997; Feillet, 2000**). La valeur biscuitière d'une farine se juge d'après son aptitude à donner une pâte machinale, qui selon **Kiger et Kiger (1968)** cité par **Bartolucci(1997)** elle résiste à un certain degré de brisure et peut s'étendre en couche minces sans se casser ou craqueler à la surface, en donnant un produit fini de qualité.

Certains facteurs intrinsèques à la farine comme les protéines ont une influence quantitativement et qualitativement importante sur la qualité du produit fini. Pour une farine biscuitière, la teneur en protéines doit être comprise entre 7.5 et 10 %. Elle doit rester inférieure à 11 %, car dans une farine trop forte, l'élasticité élevée de la pâte provoque son rétrécissement dans la machine et au four, avec l'inconvénient de donner des biscuits petits et épais (**Menard et al., 1992; Colas, 1998; Feillet, 2000**).

En outre, l'augmentation de la teneur en protéines favorise la structuration du réseau de gluten formé pendant le pétrissage. Cependant, un réseau glutineux excessivement structuré bloque l'émission gazeuse. En conséquence, le biscuit produit est mince et sa texture est compacte (**Maache-Rezzouget al., 1998; Gallagher, 2004**).

I.3. 3-2-La matière grasse

En biscuiterie, les matières grasses utilisées sont généralement d'origine végétale (Mohtedji-Lambalais, 1989; Feillet, 2000).

Celles-ci permettent d'accomplir un nombre considérable de fonctions telles que :

- Plasticité
- Contribution structurale
- Incorporation et stabilisation d'air.
- Transfert de chaleur
- Qualités organoleptiques et nutritionnelles. (Kiger et Kiger, 1967; Stauffer, 1998)

Les facteurs déterminant la capacité d'une matière grasse particulière à accomplir une ou plusieurs de ces fonctions sont : la plasticité d'une matière grasse solide, le rapport entre la phase solide et liquide (Indice de Graisse Solide "SFI" ou Contenu de Graisse Solide "SFC") et la stabilité à l'oxydation d'une graisse ou huile ou la rancidité (Stauffer, 1998).

➤ Plasticité

En biscuiterie, la matière grasse (MG) joue le rôle d'agent plastifiant et agit en tant que lubrifiant. Ainsi, dans le cas des pâtes fermes à faible taux d'hydratation (biscuits secs) elle accroît la plasticité de la pâte, ce qui se traduit par une diminution de sa consistance sans qu'il soit nécessaire d'ajouter de l'eau supplémentaire, qu'il faudra par la suite évaporer (Kiger et Kiger, 1967; Menard *et al.*, 1992).

En effet, chaque matière grasse possède sa plasticité particulière. La zone de fusion du corps gras est importante. Si, d'une part, la température du malaxage dépasse la zone de fusion de la MG, on verra apparaître de l'huile liquide. Cette huile aura tendance à être résorbée coup après coup par les particules de la farine, donnant une pâte huileuse qui n'aura pas les propriétés requises pour être machinée. D'autre part, une température au malaxage en dessous de la zone de fusion laissera des particules de farine non recouvertes de gras (Menard *et al.*, 1992)

I.3. 5-Contribution structurale

Un second rôle du corps gras dans un biscuit sec est qu'il coupe le corps de la pâte et rend discontinu le réseau du gluten, donnant une pâte moins élastique. Les globules de la matière grasse entourent les protéines et les grains de l'amidon, les isolent en s'opposant à la formation d'une masse cohésive et continue. La capacité de la matière grasse de disperser les

constituants du mélange, due à son insolubilité dans l'eau, se traduit après cuisson par la friabilité du biscuit. Cette dernière constitue l'une des caractéristiques recherchées du produit fini. (**Kiger et Kiger, 1967**; **Maache-Rezzouget al., 1998**).

Le corps gras préalablement émulsifié, contient de l'eau et de l'air sous forme d'inclusion, qui, sous l'action de la chaleur vont se vaporiser et former des vacuoles. Cette formation d'alvéoles, secondant celles des poudres levantes ajoutées au biscuit, confère au produit fini sa structure alvéolaire (**Kiger et Kiger, 1967**).

➤ **Incorporation et stabilisation d'air**

La matière grasse joue un rôle important dans l'incorporation et la stabilisation de l'air dans les pâtes biscuitières. **Brooker (1993)** ; **Eliasson et Silverio (1997)** ; **Stauffer (1998)** et **Kocer (2007)**, ont montré qu'il existe une relation directe entre le rapport solide/liquide (Indice de Graisse Solide SFI) d'une matière grasse solide et la qualité des produits cuits. Ainsi, au cours du processus à deux étapes de fabrication de biscuits, la matière grasse et le sucre sont d'abord mélangés ou écrémés pour incorporer de l'air. Ces bulles d'air sont les noyaux de propagation de gaz durant la cuisson au four, ce qui crée la structure intérieure du produit fini. En pratique, l'air se trouve dans l'huile liquide. Ainsi, si l'indice de graisse solide (SFI) est très élevé il n'y a pas de volume d'huile suffisant pour permettre une aération parfaite. D'un autre côté, si le SFI est trop bas, l'air n'est pas bloqué, et il peut échapper avant que le pétrissage de la pâte soit terminé. En effet, il y a une zone des valeurs de SFI pour donner cette aération optimale de la matière grasse fouettée, et qui correspond à la zone plastique. Dans le processus à une étape, où tous les ingrédients sont mélangés ensemble, l'air est attrapé dans la phase liquide plutôt que dans la phase lipidique, en formant une mousse d'air dans l'eau. En pratique, les cristaux de graisse forment, pendant le pétrissage, une interface graisse solide (cristalline)-eau et peuvent stabiliser un grand nombre de petites bulles d'air par adsorption sur leur surface. Pendant la cuisson au four, un grand nombre de ces cristaux fondent libérant ainsi suffisamment d'interface aux bulles d'air pour s'expanser sans rupture sous l'effet de la vapeur d'eau et du gaz carbonique produits, donnant ainsi un biscuit de volume élevé avec une structure fine.

➤ **Transfert de chaleur**

De toutes les matières premières mises en œuvre, la matière grasse est celle qui a le coefficient de conductibilité thermique le plus élevé. En effet, lors de la cuisson des biscuits les matières grasses ont la propriété d'atteindre rapidement et sans altération des températures

relativement élevées (230 à 280°C). Il est donc facile de penser que la cuisson d'un article sera d'autant plus rapide et plus régulière que chaque particule solide de la pâte sera en contact intime avec la matière grasse (**Menard et al., 1992**).

I.3. 6-Qualités organoleptiques et nutritionnelles

Sur le plan organoleptique, le corps gras communique au produit, lorsque celui-ci ne contient aucun parfum surajouté, sa saveur et son arôme. En outre, il faut rappeler la grande valeur alimentaire des corps gras du point de vue source de vitamines que de calories, dont l'apport au mélange sucre-farine fait que les biscuits sont des produits nutritionnellement bien équilibrés (**Kiger et Kiger, 1967**).

I.3. 6-1-Le sucre

Le sucre est le troisième élément important dans la fabrication des biscuits. Il représente de 15 à 25 % dans la formule d'un biscuit sec, et plus de 25 % en pâtisserie industrielle. Le saccharose, ajouté à l'état cristallin, est le plus employé. En plus de son pouvoir sucrant, il contribue à la formation des arômes, de la texture, de la coloration et à la conservation des biscuits. Il a également une fonction plastique (**Feillet, 2000**).

En biscuiterie, le sucre a une influence remarquable sur le comportement de la pâte en provoquant son ramollissement. Cela est dû en partie à la compétition entre le sucre supplémentaire et la farine sur la disponibilité de l'eau dans le système (**Maache-Rezzoug et al., 1998**).

Le sucre influence les propriétés mécaniques des biscuits. Après cuisson, le saccharose agit en tant qu'agent durcissant en se cristallisant pendant le refroidissement du biscuit, ce qui confère le croustillant au biscuit. Une augmentation de la concentration en sucre dans la formule crée des liens plus forts entre les particules après cristallisation en donnant un biscuit plus dur, indéformable avec une surface granuleuse (**Menard et al., 1992; Maache-Rezzoug et al., 1998**).

En outre, le sucre joue un rôle important dans le développement de la couleur du biscuit pendant la cuisson. Sa caramélisation à une température supérieure à 149 C donne la couleur recherchée de la face extérieure du biscuit et permet d'atteindre différentes nuances (**Menard et al., 1992**).

Enfin, le sucre aide à retarder le rancissement de la matière grasse et la multiplication microbienne dans les biscuits. Ainsi, la haute teneur en sucre d'un biscuit favorise une

pression osmotique élevée et diminue l'activité de l'eau, ce qui prolonge la durée de conservation (**Menard et al., 1992**).

I.3-2-L'eau

L'eau est un ingrédient essentiel dans la formation de la pâte. Elle a un rôle complexe, en déterminant l'état de conformation des biopolymères. L'eau est nécessaire pour la solubilisation des ingrédients, pour hydratation des protéines et des hydrates de carbone et pour le développement d'un réseau de gluten. Elle affecte la nature des interactions entre les divers constituants de la formule et contribue à la structuration de la pâte. Elle est également un facteur essentiel dans les comportements rhéologiques des pâtes. L'ajout d'eau à la formule réduit la viscosité et l'élasticité de la pâte et augmente son extensibilité. L'augmentation de la quantité d'eau produit également une réduction de la consistance, une augmentation de la fluidité et de l'adhérence de la pâte. En revanche, si la proportion de l'eau est trop basse, la pâte devient fragile et montre une formation marquée de croûte dû à la déshydratation rapide à la surface (**Maache-Rezzouget al., 1998**). Ainsi, en fonction de leur teneur en eau, les pâtes biscuitière et de pâtisserie peuvent être classées en :

- *Pâtes dures* laminées, découpées et moulées, qui ont une teneur en eau faible (16- 20%) et l'amidon est peu gélifié après cuisson.
- *Pâtes molles* aérées ou non aérées, qui ont une teneur en eau de 24 à 38%. L'amidon est presque totalement gélifié après cuisson.
- *Pâtes liquides*, qui ont une teneur en eau qui peut atteindre jusqu'à 65% et l'amidon est complètement gélifié après cuisson.

Ainsi, en fonction de l'état physique de l'amidon après cuisson, le produit de cuisson aura une plus ou moins grande aptitude à absorber la vapeur d'eau. C'est pourquoi les propriétés barrières à la vapeur d'eau sont parmi les plus importantes dans la détermination de sa durée de vie dans un emballage (**Mathlouthi et Roge, 1998**).

I.3. 7-La pâte biscuitière

La pâte est le produit intermédiaire entre la farine et le biscuit ; de ses qualités dépend la réussite industrielle finale. En effet, la rhéologie de la pâte est d'importance considérable dans la fabrication des biscuits. Ainsi, une pâte trop ferme ou trop molle, ne s'étalera pas d'une manière adéquate sur l'équipement approprié de formation de la pâte, il en découlera un produit insatisfaisant (**Manohar et Rao, 2002**). Dans le but d'obtenir des pâtes biscuitières de bonne qualité, il est donc important de comprendre et de maîtriser toutes les étapes du procédé

de fabrication à savoir la formulation, le pétrissage, le laminage et enfin la cuisson. Ainsi, la machinabilité des pâtes biscuitières après pétrissage va dépendre la découpe en biscuits et le convoyage jusqu'au système de cuisson (**Assifaoui,2005**).

Le pétrissage permet de mélanger intimement la farine et les autres ingrédients. Il peut être une source d'information sur les propriétés rhéologiques des pâtes. En effet, le mélange subit un traitement mécanique fournissant l'énergie qui permet l'établissement de nombreuses interactions entre les constituants de la pâte. Ainsi, l'étude de l'effet du temps de pétrissage sur les propriétés rhéologiques de la pâte biscuitière et les caractéristiques physiques des biscuits a révélé que l'augmentation du temps de pétrissage entraîne un ramollissement de la pâte, une augmentation de la longueur et la réduction du poids de biscuit. Un pétrissage excessif donne une pâte très molle. Cela entraîne une rupture des liaisons entre les constituants, menant à une augmentation de l'eau libre (**Maache-Rezzouget al., 1998 b; Maache-Rezzouget al., 1998 c**).

➤ Cuisson des biscuits

La cuisson est un processus durant lequel se déroulent de multiples réactions biochimiques et physico-chimiques complexes : dénaturation des protéines, gélatinisation partielle de l'amidon, expansion de la pâte par production et dilatation thermique de gaz, évaporation de l'eau et formation de la couleur (réaction de Maillard) (**Menard, 1992; Chevallier et al., 1999 ; Chevallier et al., 2002**).

Les changements chimiques et rhéologiques du biscuit dépendent étroitement de la température et de la durée de cuisson (**Thorvaldson et al.,1999**). Ainsi, selon le type de biscuit, le temps de cuisson peut varier de 6 à 10 minutes pour une température de cuisson variant entre 180 et 220°C (**Manley,1998**).

Du point de vue physique, le processus de cuisson fait appel aux transferts de matière et de chaleur. La perte en masse du biscuit durant le processus de cuisson est essentiellement due à l'évaporation de l'eau contenue initialement dans la pâte. Elle dépend des propriétés intrinsèques du biscuit et des facteurs extérieurs comme la température, l'humidité et la vitesse de l'air dans le four (**Kaiser, 1974; Savoye et al., 1992**).

➤ Critères de qualité d'un biscuit

Dans les procédés industriels, dont font partie les industries de la biscuiterie, la productibilité des lignes dépend du respect des critères de qualité des produits fabriqués. Pour

Chapitre : Etude bibliographique

un biscuit, il s'agit de satisfaire à des contraintes dimensionnelles, de poids, de couleur, de goût et de texture. Cette dernière entre pour une part importante dans l'appréciation qualitative d'un biscuit sec par le consommateur. Elle est en outre un indicateur de la fraîcheur du produit. Des mesures simples comme les dimensions, la teneur en eau ou encore la masse volumique apparente (densité) peuvent, dans un premier temps renseigner de façon satisfaisante sur les propriétés texturales d'un biscuit sec. Ainsi, à un produit aéré correspond une texture qualifiée de "friable" (**Tharrault,1997**).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II -1-Présentation du Groupe Bimo

La première usine a été créée en 1981 dans la zone industrielle de Baba-Ali au Sud d'Alger baptisée la Nouvelle biscuiterie moderne (Bimo par abréviation). Grâce au travail acharné du manager la société a connu un développement rapide de ses activités productives.

Bimo s'est intéressée par la suite au chocolat, ce qui mena au développement d'une unité de fabrication de chocolat et de végécao qui voit le jour en 1986, et qui par la suite, devient le leader national de ces produits.

La société inaugure en 1997 la première unité de traitement et de transformation de fèves de cacao en Algérie, qui alimentera ses propres usines ainsi que les entreprises industrielles nationales.

Groupe Bimo	
	
<u>Création</u>	1981
Fondateurs	AmarHAMOUDI

- Fabrication du biscuit
 - SARL Biscuiterie Moderne 'BIMO' sise à Baba-Ali. SARL Biscuiterie du Maghreb « BM».
- Usine de chocolat
 - SARL Chocolaterie Bimo : une unité de chocolaterie à Baba-Ali.
- Transformation de cacao
 - SARL CACAO Bimo : une unité de transformation de fève de cacao à Baba-Ali.
- Unité de gaufrette
 - SARL Gaufrette rie Bimo : une unité de gaufrette rie à Baba-Ali Groupe

A travers ce travail, notre objectif consiste à formuler un biscuit sec (cookies) enrichis en protéines (spiruline) et de suivre la qualité physico-chimique et microbiologique de la matière première et de notre produit fini ainsi que sa qualité organoleptique. La partie expérimentale de ce projet fut réalisée sur une période de six mois, débutant en janvier et prenant fin au mois de juin 2022 dans diverses structures à savoir :

-Essai de fabrication d'un biscuit sec enrichis en spiruline à 1% et 2% effectué au niveau de l'unité de production de biscuiterie BIMO (Baba Ali) à Alger.

-Analyses physico-chimiques et microbiologiques effectuées pour la majorité au niveau du laboratoire de la Biscuiterie BIMO (Baba Ali).

-Dosage de la cellulose brute est effectué au niveau du laboratoire Assil contrôle qualité et de conformité (Ain Bessam / Bouira).

-Dosage des glucides effectué au niveau du laboratoire (département de biologie, université Akli Mohand Oulhadj).

-Dosage de la protéine brute effectué au niveau du laboratoire Assil contrôle qualité et de conformité (Ain Bessam / Bouira).

-Tests technologiques (Alvéographe de Chopin) effectués au niveau du laboratoire de la semoulerie « SOSEMIE » à Beni Merrad.

-Analyses microbiologiques du produit fini effectuées au niveau du laboratoire d'hygiène de la Biscuiterie BIMO (Baba Ali).

-Tests organoleptiques effectués au niveau de :

✓ L'unité de production de biscuiterie BIMO (Baba Ali) à Alger.

✓ Département d'agronomie, université Akli Mohand Oulhadj).

II.2. Matériels

II.2.1. Matériels biologiques

L'étude a porté sur la poudre d'une micro-algue bleue-verte appelée la spiruline (*Spirulina platensis* ou *S. platensis*) fournie par la société Cyanotech et commercialisée par la société « maison despiruline » rendement année 2021/2022.

L'échantillon de spiruline utilisé est conservé dans une boîte hermétiquement fermée à l'abri de l'air, de l'humidité et de la lumière à une température de + 4°C afin d'en préserver ses caractéristiques.

L'étude est portée sur l'utilisation de farine de blé tendre commerciale à usage biscuitier qui nous est fournie par l'unité de production BIMO. La farine utilisée est la farine de marque « la fleur » dont le taux de cendres 0.6 % et humidité 14.95 % .

II.2.2. Matériels non biologiques

Le matériel non biologique est représenté par l'appareillage et les milieux de cultures.

II.3- Les matières premières

Farine ; lait en poudre 26% fourni par l'unité de production de Béni Tamo Lactalis, matière grasse 36-38, sucre, , matières levantes, jaune d'œuf en poudre, sel, lécithine, l'extrait de malt, l'arôme de noisette, dextrose sont importés de France , l'eau et pépites de chocolat sont fournies par le fabricant BIMO.

➤ Conception d'un aliment fonctionnel (CAS DU BISCUIT)

Pour la fabrication des biscuits secs de type cookies nous avons adopté la formulation du fabricant (biscuiterie de BIMO) citée dans le tableau 05.

Nous avons préparé 3 types de biscuits :

- Un biscuit témoin (non enrichi en spiruline) Ba ;
- Un biscuit enrichi par 1% de spiruline Bb ;
- Un biscuit enrichi par 2% de spiruline Bc.

La formulation des cookies est réalisée à l'échelle du laboratoire BIMO en suivant la recette citée dans le tableau 05, et en respectant le diagramme de fabrication d'un cookie standard avec une modification portant sur l'ajout de quantités différentes de spiruline ; l'ajout de cette micro-algue a eu lieu au début de la préparation au niveau de l'écémage.

L'échantillonnage a été fait sur un lot de 340 g de farine dans lequel nous avons ajouté successivement la spiruline.

Tableau 5: recette des biscuits

Composants(g)	Témoin	1%	2%
Farine	340	336.6	333.2
Sucre	224	224	224
GraisseVégétale36-38	140	140	140
Dextrose	12	12	12
Bi-sodium	3.2	16	16
pyrophosphate	2	2	2
Bi-ammonium	2.4	2.4	2.4
Lait en poudre	20	20	20
Jauned'œuf	16	16	16
Sel	4	4	4
Arome	1.6	1.6	1.6
Pépites	120	120	120
Eau	92	92	92
Spiruline	0	3.4	6.8

II.5-Etape de fabrication des biscuits

Au niveau industriel la fabrication des biscuits suit 05 étapes résumées en figure 8 et qui sont les suivantes :

Etape01 : Le crémage

Cette étape consiste à mettre tous les ingrédients sauf la farine dans un pétrin y compris la spiruline, après 10 minutes de malaxage on obtient une pâte homogène de couleur marron foncé ouverte.

Etape02 :Le pétrissage

La farine est ajoutée et tous les ingrédients sont mélangés à vitesse moyenne pendant 1minute .Enfin, on obtient une pâte ferme de couleur marron verdâtre, ensuite, vient le façonnage à l'aide d'un moule rond de diamètre de 3,5cm.

Le produit est prêt pour la cuisson, afin de l'acheminer vers le four, on l'introduit dans la ligne de production en le déposant sur le tapis du four.

Etape3 : Cuisson

L'enfournement est réalisé dans un four industriel de type meincke, ce dernier est divisé en trois zones de cuisson, chacune à une température spécifique. Les conditions de cuisson sont réglables selon la nature des produits, et cette différenciation est nécessaire pour garantir des conditions de cuisson favorables (**Tableau 06, Figure 08**).

Tableau 6: Température de cuisson pour chaque zone du four

Zonedefour	Zone 01	Zone 02	Zone 03
HAUT	90C°	195C°	196C°
BAS	90C°	140C°	130C°
	Développement du biscuit	Cuisson du biscuit	Coloration du biscuit



Figure 4:développement, cuisson, solidification et coloration des biscuits

Etape04 :Lerefroidissement



Figure 5: refroidissement des biscuits

Les biscuits sortant du four à des températures élevées sont refroidis à l'air libre (température ambiante) pendant quelques minutes, des ventilateurs sont utilisés pour diminuer l'humidité (**Figure06**).

Etape 05 :Le conditionnement



Figure 6:Le conditionnement

Une fois refroidis, les biscuits sont mis dans la conditionneuse ou le chargement s'effectue manuellement. Ces derniers sont emballés dans du polypropylène et un emballage en plastique stérile à l'abri de l'air et de la lumière. Ensuite, ils seront mis dans des cartons en nombre de 10 (Figure 06).



Figure 7:Photographie originale du conditionnement



1.Mélange des ingrédients



2.Le crémage



3. Pétrissage



4.Façonnage



5. Cuisson



6.Conditionnement

Figure 8:Les étapes de fabrication des biscuits

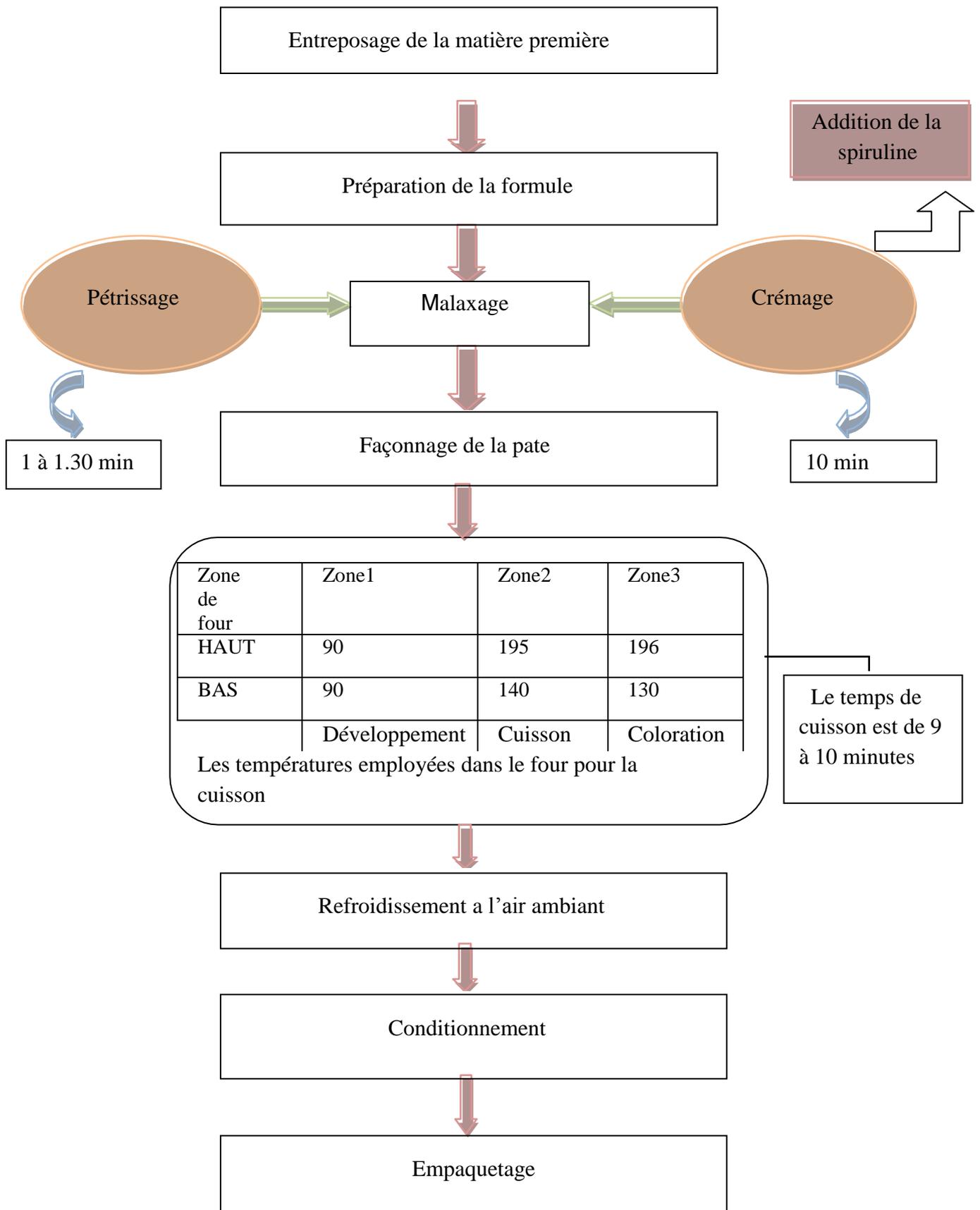


Figure 09 : diagramme de fabrication de biscuit

II.6-Analyse physico-chimique de la farine

L'analyse physico-chimique a pour but de déterminer la stabilité et la consistance d'un produit afin de conserver ses caractéristiques nutritionnelles, vitaminiques et organoleptiques. Cette analyse tout comme l'analyse microbiologique a été effectuée sur la farine, poudre du lait et produit fini.

II.6.1-Méthodes d'analyses physico-chimiques

II.6.1.1-Humidité

➤ Principe

La teneur en eau des farines étudiées est déterminée selon la norme **AFNOR NFV03-707 de juin 1989 (AFNOR, 1991)**, par séchage d'une prise d'essai de 5 g à 130°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Le séchage est réalisé dans une étuve type Memmert avec circulation d'air. Les pesées sont effectuées avec une balance analytique type Sertorius MC 210 ayant une précision de 10⁻⁴ g. Elle est utilisée dans les pesées de toutes les déterminations qui suivent.

➤ Mode opératoire

- Prise d'essai : avant d'effectuer le prélèvement de l'échantillon de laboratoire, il est nécessaire de bien homogénéiser ce dernier.
- Peser au mg près, 5 g de produit dans la capsule préalablement séchée et tarée, couvercle compris.
- Les capsules doivent être manipulées à l'aide d'une pince.
- Introduire des capsules dans l'étuve une fois la température de 130°C est atteinte, durant 2 h.
- A près 2h, les capsules sont retirées de l'étuve et refroidies dans un dessiccateur pendant 40 à 45 min.
- Peser les capsules au mg près.
- L'analyse est répétée deux fois pour chaque test.

➤ Expression des résultats

La teneur en eau en % est déterminée par la formule suivante :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = \frac{M1 - M2}{M1 - M0} 100$$

M0 : Masse de la prise d'essai (g).

M1 : Masse de la prise d'essai après étuvage (g).

II.6.1.2-Le potentiel hydrogène (pH)

Le potentiel hydrogène (pH) est effectué selon la norme **NF V05-108 DE JUILLET 1970**.

➤ **Mode opératoire**

- Etalonner le pH-mètre avec deux solutions tampons (acide et base).
- Placer 10 g d'échantillon broyé convenablement dans un bécher et ajouter au moins deux à trois fois le volume d'eau distillée.
- Mélanger bien la solution pour qu'elle soit homogène.
- Filtrer la solution
- Plonger l'électrode dans la solution filtrée.

➤ **Expression des résultats**

Lire directement le résultat sur le cadre du pH-mètre SMSBIO

II.6.1.3-Protéines totales

Le dosage de l'azote total est déterminé par la méthode de Kjeldahl selon la norme N A.115/1990 appliquée aux céréales et normalisée en Algérie sous la référence N A 1185/1990 en concordance technique avec la norme française NF VO3-050/ Septembre 1970.

Principe

La teneur en protéine totale a été déterminée par la méthode de Kjeldahl, qui consiste à doser l'azote total (N%) par la minéralisation et la distillation. La teneur en protéines totales est obtenue en multipliant la teneur en azote trouvée par le facteur de conversion 5,7. Les résultats sont exprimés en pourcentage de matière sèche.

➤ **Mode opératoire**

La minéralisation : est effectuée sur un échantillon de 1 g, l'introduire dans un matras de 250 ml, ajouter 2 g de catalyseur (composé de 250 g de K_2SO_4 , 250 g de $CuSO_4$ et 5 g de Se) et 20 ml d'acide sulfurique concentré (densité=1.84).

Porter le matras sur le support d'attaque et chauffer jusqu'à l'obtention d'une coloration

verte stable. Laisser refroidir, puis ajouter peu à peu avec précaution 200 ml d'eau distillée en agitant et en refroidissant sous un courant d'eau.

La distillation : est effectuée en transvasant 10 à 50 ml du contenu du matras dans le distillateur type Buchi, rincer la burette graduée et introduire le distillat dans un bécher avec 20 ml de l'indicateur composé de :

- 20 g d'acide borique.
- 200 ml d'éthanol absolu.
- 10 ml d'indicateur : 2,5 ml rouge de méthyle à 0,2% (0,2 dans 100 ml) dans l'alcool à 95° et (7,5 ml) de vert de Bromocrésol à 0,1% (0,1 g dans 100 ml) dans l'alcool à 95°.

Verser lentement dans le matras de l'appareil distillateur, 50 ml de lessive de soude ($d=1.33$) (330 g de soude dans 1 litre d'eau distillée), mettre en marche l'appareil.

Laisser l'attaque se faire jusqu'à l'obtention d'un volume de distillat de 100 ml au moins, titrer en retour par l'acide sulfurique N/20 (50 ml H_2SO_4 1N + 950 ml d'eau distillée) ou N/50 (20 ml H_2SO_4 n = 98 ml d'eau distillée jusqu'à l'obtention à nouveau de la couleur initiale de l'indicateur. 1 ml d' H_2SO_4



Après environ 4 minutes de distillation, on constate un virage de la couleur rouge au bleu. $NH_3 + H_3BO_3 \rightarrow NH_4 + H_2BO_3$

➤ Expression des résultats

La teneur en protéines rapportée à la matière sèche se calcule d'après la relation suivante

$$\text{Protéines (\%)} = \left[\left(V * 0,007 * \frac{100}{M} \right) \times \frac{100 * K}{100 - H} \right]$$

V : volume en ml de la solution d'acide versée à la burette lors de titrage

M : masse en gramme de la prise d'essai.

K : coefficient de conversion, dans le cas du blé et de produits dérivés $K=5,7$

H : la teneur en eau de l'échantillon

II.6.1.4-Lipides totaux

➤ Mode opératoire

La teneur en lipides totaux est déterminée selon la norme **AFNOR NF V03-713** de février 1984 (AFNOR, 1991) en trois étapes :

- Hydrolyse d'une prise d'essai de 30 g avec de l'acide chlorhydrique 4 M afin de libérer les lipides liés aux protéines et aux glucides. L'opération est réalisée dans un digesteur de marque BUCHIB 411 pendant 1 heure.
- Extraction de la matière grasse par de l'hexane réalisée dans un appareil d'extraction de marque BUCHIB 811.
- Elimination de l'hexane par séchage de l'extrait lipidique dans une étuve de marque "Memmert".

➤ Expression des résultats

La teneur en lipides totaux "L" en g pour 100 g de produit sec est calculée par la formule suivante :

$$\text{Lipides (\%)} = m \frac{100}{pe} \frac{100}{100 - H}$$

M: masse en g du résidu lipidique

Pe: masse en g de la prise d'essai

H : teneur en eau de l'échantillon en % de la masse humide.

II.6.1.5-Glucides totaux

La teneur en glucides totaux "G" en g pour 100g de produit sec est calculée par différence :

H : teneur en humidité (en% de produit sec) ;

Glucides (%) = 100 - (H + C + P + L)

C : teneur en cendres (en% de produit sec) ;

P : teneur en protéine totales (en % de produit sec) ;

L : teneur en lipides totaux (en% de produit) ;

II.6.1.6-Taux de cendres

➤ Principe

La teneur en matière minérale de la farine est déterminée par incinération d'une prise d'essai de 10g à 550° C selon la norme **AFNOR NF V 03760 de décembre 1981(AFNOR,1991)**. L'incinération est réalisée dans un four à moufle Hérauts M 110 pendant 3 heures jusqu'à combustion totale de la matière organique et apparition d'un résidu blanc châtre.

➤ Mode opératoire

- Allumer et régler le four à moufle à 550 °C.
- Peser environ 2 g de l'échantillon dans la capsule.
- Placer la capsule dans le four à moufle jusqu'à disparition complète des particules charbonneuses dans la capsule.
- Placer la capsule dans le dessiccateur et la laissez refroidir à température ambiante.
- Peser à 0.1mg près le résidu.
- *Expression des résultats*

La teneur en cendres "C" en g pour 100 g de matière sèche est calculée par la relation suivante :

$$\text{Taux de cendres (\%)} = m_1 * \frac{100}{M_0} \frac{100}{100 - H}$$

$$\text{Teneur en cendres \%} = m_1 * 100 / m_0 * 100 / 100 - H$$

M₀ : résidu après incinération en g

M₁ : prise d'essai de l'échantillon humide en g

H : humidité de l'échantillon en% de la masse humide

II.6.1.7-Acidité grasse

➤ Principe

Le dosage de l'acidité grasse de la farine est effectué selon la norme **NA.1182.1991 ; ISO-1305** et repose sur le dosage colorimétrique. Les acides gras libres sont mis en solution dans l'éthanol à 95%. Après centrifugation, le surnageant est titré par l'hydroxyde de

potassium et la couleur de la solution doit passer du jaune en rose pâle persistant quelques secondes. Le résultat est converti par le calcul pour être exprimé en hydroxyde de potassium (KOH).

➤ Mode opératoire

L'extraction de l'acidité se fait comme suit;

- Introduire dans 4 tubes 2.5 g de produit plus 15 ml d'alcool à 95%, fermer les tubes et agiter manuellement ou mécaniquement durant 20 minutes. Verser chaque deux tube dans un godet. L'extraction se fait à une température voisine de 20°C.
- Procéder à deux centrifugation successives deux minutes chacune à une vitesse de 5000 à 6000 tours/min.

II.6.1.8-Le titrage se fait comme suite

- Prélever le surnageant et ajouter 20 ml d'extrait éthanolique dans un erlenmeyer.
- Ajouter 5 gouttes de phénolphthaléine.
- Titrer la solution par l'hydroxyde de sodium N/20.
- On arrête le titrage lorsque la couleur vire en rose pâle.

Soit (V) le volume de NaOH nécessaire pour le titrage.

➤ Essai à blanc

Introduire 20 ml d'éthanol utilisé pour l'extraction de l'acidité des produits dans un erlenmeyer plus 5 gouttes de phénol phtléine et titrage comme précédemment.

Soit (V₁) volume de Na OH nécessaire pour le titrage.

Expression des résultats

L'acidité grasse est exprimée en gramme d'hydroxyde de potassium par 100 g de matière sèche ou gramme de sodium par 100 g de matière sèche donnée par la formule suivante:

$$AG = \frac{7.35 * (v - v_1)}{M} * T * \frac{100}{100 - H\%}$$

V: volume de Na OH (ml) de l'échantillon.

V₁: volume de Na OH (ml) du blanc.

T: la normalité de Na OH (0.05)

M: matière sèche (100g/humidité).

II.6.2.1-Taux de gluten

➤ Principe

Selon la norme NF 1.1.24.ISO 5531, l'appréciation de la quantité de gluten se fait par extraction de gluten par malaxage mécanique ou manuel et lavage d'un mélange de mouture (farine) avec une solution d'eau salée à 2.5%.

Mode opératoire

Préparation de la pâte : peser 33.33 g de la farine dans un mortier, verser la farine et ajouter environ 16 ml d'eau salée (NaCl) puis former la pâte. Laisser l'eau coulée goutte à goutte sur le pâton. L'amidon est éliminé et le gluten se soude à lui-même, le malaxage est effectué en comprimant légèrement le pâton et en remoulant la surface avec l'extrémité des doigts tout en récupérant les particules de gluten sur un tamis. Les lavage et essorage effectués, on obtient une boule de gluten humide. Après séchage sur une plaque chauffante, le gluten obtenu est pesé.

Expression des résultats

Pour obtenir le pourcentage du gluten humide et gluten sec contenu dans la farine multiplier les résultats par trois. Placer le gluten humide obtenu dans l'étuve pendant 2 heures à 100 C ° Pour calculer la capacité d'hydratation du gluten on utilise la formule suivante :

$$CH = \frac{GH - GS}{GH} 100$$

CH : capacité d'hydratation

GH : gluten humide en %

GS : gluten sec en %

II.6.2.2-Alvéographe Chopin

Le principal intérêt de l'alvéographe est de prédire l'aptitude d'un blé ou d'une farine à être utilisé dans la fabrication des produits de cuisson. Cependant de nombreuses autres applications sont possibles (**Moulinier et Brette, 1995**).

Mode opératoire

La détermination de la teneur en eau de la farine à analyser est déterminée selon la méthode décrite par la norme ISO 712 en fonction de la teneur en eau de la farine initiale et la quantité de la solution de chlorure de sodium à utiliser pour préparer la pâte.

Le pétrissage se fait comme suit :

- Mettre dans un pétrin 250g de farine.
- Mettre en route le moteur et le chronomètre, verser le chlorure de sodium.
- Laisser la pâte se former durant 1 min.
- Arrêter le moteur, réincorporer avec une spatule les particules de farine et de la pâte qui adhèrent au couvercle ou aux angles de manière à respecter l'hydratation de la pâte (1 min).
- Remettre le moteur en marche et laisser le pétrissage se poursuivre durant 06 min.
- A la fin de la huitième minute, arrêter le pétrissage et procéder à l'extraction.

Inverser dans le sens de rotation du fraiseur, dégager la fonte d'extraction, éliminer les deux premiers centimètres de la pâte, confectionner 5 petites éprouvettes circulaires et mettez-les dans la chambre de repos à température de 25°C. Après un temps de repos de 20 min, on procède au gonflement de chaque éprouvette de pâte jusqu'à éclatement de la bulle, et parallèlement, le diagramme de déformation se dessine sur un enregistreur et donne certaines propriétés physiques de la pâte, 30 min après le début de son élaboration. L'alvéogramme correspond à la variation de la pâte pendant son gonflement à débit d'air constant.

➤ Expression des résultats

L'évolution de la pression dans la bulle est mesurée et reportée sous forme de courbe appelée alvéogramme de Chopin. Les paramètres issus de cette courbe sont les suivants :

W : le travail de déformation (exprimé en 10^{-4} J. g⁻¹ de pâte). C'est le résultat le plus utilisé, il correspond à la surface délimitée par la courbe et l'axe de l'abscisse. Il est le chiffre de la force boulangère de la farine.

P: Ordonnée de pression maximale (exprimé en mm). C'est un indicateur de la résistance de la pâte à la déformation. Elle traduit la ténacité de la pâte. Du fait que les essais soient effectués à hydratation constante, plus grande sera l'ordonnée maximale, plus il faudra ajouter d'eau pour obtenir une pâte de consistance déterminée.

L: Abscisse à la rupture (exprimée en mm). Ce paramètre est proportionnel au volume de la bulle atteint juste avant sa rupture. L est généralement associé à l'extensibilité de la pâte.

G: le gonflement cet indice exprime l'extensibilité (L) de la pâte. C'est un critère important de la qualité des blés et des farines (**Godon et Willim, 1991**).

P/L: Rapport de configuration de la courbe. Ce rapport exprime l'équilibre des propriétés de ténacité et d'extensibilité

N.B Les résultats sont mesurés à partir de 5 courbes obtenues. Toutefois, si l'une d'entre elles s'écarte notablement des quatre autres en particulier à la suite de la rupture de la bulle, elle ne sera pas tenue compte dans l'expression des résultats.

II.7. Analyse physico- chimique des biscuits



La détermination de l'extrait sec, la teneur en eau, le pH, l'acidité, la teneur en matière grasse, le taux de cendre, la teneur en azote et en protéine et la cellulose brute des biscuits se fait de la même méthode que celle citée auparavant.



Figure 10: Matériels Utilisé dans laboratoire

II.7.1-Caractère physique des biscuits

Les analyses physiques des biscuits sont effectuées selon des critères proposés par **Benoualid, (1987)** ; **Sudha et al. (2007b)**, et qui consiste en : la Masse (g), le diamètre (Cm), l'épaisseur (Cm), la surface (S en Cm²) en utilisant un pied à coulisse alors que l'étalement est déterminé par la formule suivante :

$$\text{Etalement} = \frac{\text{Diamètre}(Cm)}{\text{Epaisseur}(Cm)}$$

II.8. Analyse microbiologique

Les analyses microbiologie permettent de détecter la présence ou l'absence des micro-organismes dangereux et le niveau de la flore « tolérable ou non ». Les résultats obtenus sont comparés aux « critères microbiologique » établis par des commissions de spécialistes au sein

d'organismes internationaux ou nationaux et souvent repris par les différentes législations (Guiraud et Rosec, 2004). Le tableau 07, résume l'ensemble des germes recherchés selon le Journal officiel de la république Algérienne (JORA) 02 juillet 2017 pour le biscuit, la farine et les matières premières

Tableau 7 : Analyses microbiologiques effectuées

Germes recherchés	Milieux utilisés	Incubation	Produits
La flore Aérobie mésophile	PCA	30°C/72h	La poudre de lait, sucre, l'eau de procès.
Coliformes totaux	VRBL et BCPL	37°C/24- 48h	Tous les produits.
Coliforms fécaux	VRBL Schubert kovas	44°C/24- 48h	Lapoudre de lait, la graisse, BA. BB. BC.
Staphylococcus aureus	Giolitti cantoni Tellurite de potassium Chapman	37°C /24- 48H	Lapoudre de lait, le jaune d'œuf, la graisse, lactosérum et le produit fini.
Salmonelles	EPT, SFB +cys Hektoen	37°C/24h	Lapoudre de lait, sucre, dextrose, farines, l'eau de procès.
Clostridium sulfito- réducteurs	VF, A 1 un de fer Sulfite de sodium	3 16-24 7 ° C / H	La poudre de lait, sucre, dextrose, farines, l'eau du procès.

Streptocoque fécaux	Rothe Eva litsky	37°C/24/48h	L'eau du procès.
Levures et moisissure	Sabourau dau chloramphénicol	20°C/5jours	La poudre de lait, produits fini dextrose, le sucre et le produit fini.

➤ Prélèvement des échantillons (N°01.99.57)

Prélever au hasard dans chaque lot, un échantillon. Chaque échantillon doit renfermer au moins 100 ml ou 100 g. Placer les échantillons prélevés dans des contenants stériles. Prélever ces derniers de façon aseptique (**ministère du commerce, 2000**).

➤ Préparation de l'échantillon pour essai

Chaque fois qu'il est nécessaire. Il est nécessaire de procéder à une homogénéisation du produit. Les prises d'essais sont effectuées sur l'échantillon homogénéisé en tenant compte de la nature des produits et des opérations analytiques à conduire. Elles sont en principe de 10, 25 ou 50g ou ml. (**Joffen et al., 2000**).

Préparation des dilutions par introduction aseptique 25 g de produit à analyser dans un bocal stérile préalablement taré contenant au préalable 225 ml de diluant soit le TSE (Tryptone Sel Eau). Homogénéiser cette suspension pour avoir la dilution mère (DM) qui correspond à la dilution 1/10.

La dilution décimale est préparée par introduction aseptique à l'aide d'une pipette de 1ml de la dilution primaire dans un nouveau tube contenant 9ml de diluant stérile : cette dilution sera alors la 1/100. Utiliser une nouvelle pipette pour chaque dilution. Si nécessaire, répéter ces opérations avec un diluant stérile en utilisant la dilution 10⁻² et les suivantes pour obtenir les dilutions 10⁻³, 10⁻⁴, etc. Jusqu'à obtention du nombre approprié de microorganismes par millilitre.

II.8.1. Recherche de la flore aérobie mésophile

Selon la norme N°01.99.51, la flore aérobie mésophile totale est constituée d'un ensemble de micro-organismes variés. Ces germes n'agissent pas sur l'aliment et n'ont pas de

répercussion du point de vue qualitatif et hygiénique qu'au-delà de certaine quantité. Il est donc possible d'en tolérer un certain nombre (**Guiraud et Rosec, 2004**).

➤ **Technique**

Préparer la gélose PCA dans un bain marie à 45° C, nettoyer la surface de travail avec un désinfectant (alcool 60°), marquer clairement les boîtes de Pétri préparée en identifiant l'échantillon, la dilution et la date d'ensemencement. Les dilutions préparées sont agitées.

Utiliser une pipette pour transférer 1 ml des dilutions (10-1, 10-2, 10-3) dans chacune des boîtes de pétri préparées, verser 12-15 ml de gélose refroidie dans chacune des boîtes et mélanger le tout en effectuant un mouvement sous forme de huit, laisser durcir la gélose, ne pas verser la gélose dans les boîtes plus de 15 min après la préparation. Incubation :

Les boîtes sont ensuite incubées à 30° C pendant 72 h avec : Une première lecture à 24 h, deuxième lecture 48 h, et troisième lecture à 72 h. La lecture et le dénombrement est effectué par nombre des colonies lenticulaires en masse compris entre 15 et 300 colonies à l'aide d'un compteur colonie.

Pour calculer le nombre de germes on utilise la formule suivante :

$$N = A * D$$

N : le nombre de colonies par g (ml)/de produit.

A : le dénombrement par boîte de colonie.

D : le facteur de dilution respectif. La moyenne entre les différentes dilutions. Le résultat final s'exprime en nombre de germes/ml ou germes/ g selon le **Ministère du commerce, (2000)**.

II.8.2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux

La numération des coliformes est surtout réalisée dans le cadre de l'analyse de l'eau et de celle des aliments transformés où elle permet de mettre en évidence un défaut de procès ou de mauvaises conditions de fabrication. Dans le cas de l'eau, ils constituent une bonne présomption de contamination fécale, leur présence est moins significative dans le cas des autres aliments

(**Guiraud et Rosec, 2004**). Cas de solide (N° 10.96.66).

➤ **Technique**

Préparer la gélose VRBL, la refroidir dans un bain-marie à 45°C, nettoyer la surface de travail avec un désinfectant (alcool 60°). Marquer clairement les boîtes de pétri préparées en identifiant l'échantillon, la dilution et la date d'ensemencement.

Les dilutions préparées sont agitées. Utiliser une pipette pour transférer 1ml des dilutions (10-1, 10-2, 10-3) dans chacune des boîtes de pétri préparées, verser 12-15ml de gélose refroidie dans chacune des boîtes et mélanger le tout en effectuant un mouvement sous forme de huit. Laisser durcir la gélose, ne pas verser la gélose dans les boîtes plus de 15min après la préparation des dilutions. Incubation des boîtes à 37°C et à 44°C/48 h. Lecture après incubation par comptage des colonies rouges caractéristiques des coliformes à l'œil nu.

Le Nombre de colonies par g c'est la moyenne des différentes dilutions de nombre de colonies multiplié par l'inverse de la dilution. Le résultat final s'exprime en nombre de germes/ml ou germes/g (**Ministère du commerce, 2000**).

➤ **Eau (N°01.99.57) :**

Les coliformes sont dénombrés en milieu liquide par la technique du NPP (nombre le plus probable) à l'aide du bouillon BCPL réparti à raison d'un flacon D/C, 5 tubes D/C et 5 tubes S/C ; munis d'une cloche de Durham.

- La technique en milieu liquide fait appel à deux tests consécutifs à savoir

➤ **Le test de présomption**

Réservé à la recherche des coliformes totaux et le test de confirmation et réservé à la recherche des coliformes fécaux à partir des tubes positifs du test de présomption. Le test de présomption se fait par une série des tubes contenant le milieu sélectif (BCPL), avec 50 ml dans le flacon D/C, 10 ml dans chacun des cinq tubes D/C et 1 ml dans chacun des cinq tubes S/C, chassez le gaz présent éventuellement dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum puis l'incubation.

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 heures, la lecture des tubes se fait à la fois par un dégagement gazeux (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche), et un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu) sont considérés comme positifs.

➤ Test de confirmation

Les tubes de BCPL trouvés positifs lors du dénombrement des coliformes totaux feront l'objet d'un repiquage dans un tube contenant le milieu Schubert muni d'une cloche de Durham, chassez le gaz présent éventuellement dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum. L'incubation se fait à 44°C pendant 24 heures. Lecture Les tubes présentant à la fois un dégagement gazeux (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche) et un anneau rouge en surface après l'adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs (**Ministère du commerce, 2000**). La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de Mac Grady qui se trouve en annexe.

II.8.3. Recherche des *staphylococcus aureus*

Selon la norme N° 10.96.58 Les *staphylococcus aureus* se présentent sous forme de cocci, en grappe de raisin, ce sont des bacilles Gram positif, possèdent une catalase (+), coagulas (+), ce sont des germes pathogènes, toxinogènes, le germe est thermolabile, mais sa toxine est thermostable (**Guiraud et Rosec, 2004**).

➤ Technique.

Au moment de l'emploi, ouvrir aseptiquement le flacon contenant le milieu de GiollitiCantoni pour y ajouter 15ml d'une solution de téllurite de potassium, mélangé soigneusement. Le milieu est prêt à l'emploi. A partir des dilutions décimales retenues, porter aseptiquement 1 ml dans un tube à vis stérile, ajouter par la suite environ 15 ml du milieu d'enrichissement, bien mélanger le milieu et l'inoculum. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures. Lecture les résultats se traduisant par apparitions d'une couleur noire du contenu du tube.

Pour s'assurer qu'il s'agit bien d'un développement de *Staphylococcus aureus*, ces tubes feront l'objet d'une confirmation par isolement sur gélose Chapman préalablement fondue, coulée en boîtes de pétri bien séchée. Les boîtes de Chapman ainsiensemencées seront incubées à leur tour à 37°C pendant 24 heures à 48 heures (**Ministère du commerce, 2000**). Après ce délai, repérer les colonies suspectes à savoir les colonies de taille moyenne, lisses, brillantes, pigmentées en jaune et pourvues d'une catalase et d'une et d'une coagulasse.

II.8.3. Recherche des salmonelles

Selon la norme N° 10.97.60, beaucoup de produits, surtout d'origine animale, sont susceptibles de contenir des entérobactéries pathogènes comme les salmonelles. Le nombre de

germes nécessaire pour provoquer une infection clinique peut-être très fiable. La recherche s'effectue par des tests « présence ou absence » et dans la plupart des cas, le critère est de 0 germe par 1 g. L'enrichissement, voir le pré-enrichissement sont souvent nécessaires (**Guiraud et Rosec, 2004**).

➤ **Technique**

• **Pré-enrichissement dans un milieu liquide :**

Ensemencement de la prise d'essai dans l'EPT, puis incubation à 37°C durant 18 heures.

• **Enrichissement dans des milieux liquides sélectifs :**

Ensemencement de 10 ml du milieu de pré-enrichissement dans le milieu sélectifs SFB+ Cys et incubation à 37°C durant 24h.

• **L'isolement et l'identification**

Sont réalisés par ensemencement à partir du milieu d'enrichissement présentant le résultat positif, par des stries sur la gélose d'Hektoen coulé et solidifié dans les boîtes de pétri, puis incubé à 37 °C pendant 24 h

➤ **Confirmation**

Repiquage des colonies présumées de *Salmonella t* et confirmation au moyen des essais biochimiques et sérologiques appropriés.

➤ **La lecture**

Les colonies du genre salmonella sur Hektoen apparaissent lisses et de couleur gris bleu avec ou sans centre noir, les résultats sont exprimés par présence ou absence du germe (**Ministère du commerce, 2000**).

II.8.4. Recherche des Clostridium sulfito-réducteurs

Les Clostridium sont des bacilles Gram+, souvent de grande taille, isolés ou en chaînette. Ces bacilles sont généralement mobiles et capables de sporuler. La spore est une structure de résistance qui se forme dans la cellule lorsque les conditions deviennent défavorables (**Guiraud et Rosec, 2004**).

➤ **Technique**

Au moment de l'emploi, faire fondre un flacon de gélose viande foie, le refroidir dans un bain d'eau à 45°C puis ajouter une ampoule d'alun de Fer et une ampoule de sulfite de sodium, mélanger soigneusement et aseptiquement. Le milieu est ainsi prêt à l'emploi, mais il faut le maintenir dans une étuve à 45°C jusqu'au moment de l'utilisation. Les tubes contenant les dilutions 10-2 et 10-1 seront soumis d'abord à un chauffage à 80°C pendant 8 à 10 min, puis à un refroidissement immédiat sous l'eau de robinet, dans le but d'éliminer les formes végétatives et de garder uniquement les formes sporulées. A partir de ces dilutions, porter aseptiquement 1 ml de chaque dilution dans des tubes à vis stériles. Puis ajouter environ 15 ml de gélose Viande Foie prête à l'emploi, dans chaque tube. Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 min. Incubation des tubes à 37°C/16, 24 h. Lecture primaire doit se faire impérativement à 16 h, car les colonies de Clostridium Sulfito- réducteurs sont envahissantes auquel cas on se trouverait en face d'un tube complètement noir rendent alors l'interprétation difficile voire impossible et l'analyse est à refaire d'une part et d'autre part, il faut absolument repérer toute colonie noire ayant poussé en masse et d'un diamètre supérieur à 0.5 mm (Guiraud et rosec,2004).

II.8.5. Recherche des streptocoques fécaux dans l'eau (N°01. 99. 57)

Les streptocoques fécaux sont des bactéries Gram+, catalase négative, micro aérophiles ou anaérobies, groupés en paire ou en chaînette. Ils se caractérisent par leur appartenance au groupe sérologique de Lancefield. Les streptocoques du groupe D ou streptocoques fécaux sont recherchés et dénombrés en milieu liquide par la technique du NPP (nombre le plus probable).

➤ Technique

En milieu liquide, on fait appel à deux tests consécutifs à savoir : le test de présomption qui est réservé à la recherche des streptocoques sur milieu de Rothe, et le test de confirmation, réservé à la confirmation proprement dite sur milieu Éva Litsky des tubes trouvés positifs au niveau des tests de présomption. Test de présomption : l'ensemencement se fait par une série des tubes, 50 ml de l'eau à analyser dans 50 ml de ROTHE D/C, 5 tubes contenant 10 ml d'eau à analyser 10 ml de ROTHE D/C et 5 tubes contenant chacun 1 ml d'eau à analyser dans 9 ml de milieu ROTHE S/C. Incubation L'incubation se fait à 37°C/24 à 48 h. Lecture des tubes positifs présentant un trouble microbien. Test de confirmation : les tubes de ROHTE trouvés positifs lors du dénombrement des Streptocoques fécaux feront l'objet d'un repiquage dans un tube contenant le milieu Éva Litsky et bien mélanger le milieu

et l'inoculum. Incubation L'incubation se fait à 37 °C/24 h. Lecture Les tubes présentant à la fois des troubles microbiens et une pastille violette (blanchâtre) au fond des tubes. La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de Mac Grady qui se trouve en annexe (**Ministère du commerce, 2000**).

II.8.6. Recherche des levures et moisissures

Selon la norme N° **01.97.61**, ce sont des germes d'altération : on peut les rechercher pour évaluer l'état d'avancement de l'altération du produit (**Jeantet et al., 2006**).

➤ **Technique**

Prendre les boîtes de Pétri stériles. Transférer, dans chacune de ces boîtes, à l'aide d'une pipette stérile, 1 ml de l'échantillon pour essai s'il est liquide, ou 1 ml de la suspension mère dans le cas d'autres produits, répéter les opérations avec les dilutions suivantes si nécessaire. Couler dans chaque boîte de Pétri, environ 15 ml de la gélose Sabouraud au chloramphénicol, provenant d'un flacon de culture fondue au préalable et maintenue à $45 \pm 1^\circ$ C dans le bain d'eau. Le temps qui s'écoule entre la fin de la préparation de la suspension mère et le moment où le milieu est coulé dans les boîtes, ne doit pas dépasser 15 min. Mélanger soigneusement l'inoculum au milieu et laisser se solidifier en posant les boîtes de Pétri sur une surface fraîche horizontale. Préparer également une boîte témoin avec 15 ml du milieu pour contrôler sa stérilité.

➤ **Incubation**

Retourner les boîtes et les placer à l'étuve à $20 \pm 1^\circ$ C pendant 5 jours.

➤ **Lecture**

Les colonies de levure qui ressemblent à celle des bactéries, sont brillantes, rondes, et bombées alors que celles des moisissures ont un aspect velouté et plus grande que les précédentes. Compter les colonies sur chaque boîte après 3, 4 et 5 jours d'incubation. Après 5 jours, retenir les boîtes contenant moins de 150 colonies. Le nombre de levures et moisissures par gramme ou par militaire est égal à :

$$\frac{\sum C}{(n1 + 0.1n2)d}$$

$\sum C$: somme des colonies de toutes les boîtes comptées.

n1 : nombre de boîtes comptées à la première dilution.

n 2 : nombre de boîtes comptées à la seconde fois.

d : dilution à partir de laquelle les premiers dénombrement sont obtenues (**Ministère du commerce, 2000**).

II.8.7. Dénombrement des bactéries lactiques

Selon la norme N ° 10.97.51, les bactéries lactiques sont des bactéries Gram+, immobiles, à sporulées, anaérobies ou aérotolérantes et capables de résulter des fermentations. *Lactobacillus bulgaricus*: micro-organisme thermophile formant des colonies lenticulaires souvent en forme d'étoile, de 1 à 3 mm de diamètre, sur milieu MRS acidifié, leur aspect microscopique est en bâtonnets généralement courts.

Streptococcus thermophiles : micro-organisme thermophile formant des colonies lenticulaires de 1 à 2 mm de diamètre sur M 17 dont l'aspect microscopique est sous forme de cellule sphérique ou ovoïde.

➤ Technique

Préparer de la première dilution et les dilutions décimales allant jusqu'à (10⁻⁴)

En opérant en double (pour *L. bulgaricus* et *S. Thermophilus*), transférer à l'aide d'une pipette stérile 1 ml de chaque dilution dans les boîtes de Pétri. Verser 12 à 15 ml du milieu fondu et maintenu à 45° C dans un bain-marie dans chaque boîte de Pétri. Le temps qui s'écoule entre l'ensemencement des dilutions et le remplissage des boîtes de Pétri avec la gélose ne doit pas être supérieur à 15 minutes.

Immédiatement après l'avoir versé dans les boîtes, mélanger soigneusement l'inoculum avec le milieu par rotation des boîtes, laisser le mélange se solidifier en laissant les boîtes sur une surface fraîche et horizontale. Incuber les boîtes pour le dénombrement de *L. Bulgaricus* pendant 48 h à 37°C. La lecture à l'issue de la période d'incubation spécifiée, consiste à compter les colonies montrant les caractéristiques de chacun des 2 micro-organismes sur les boîtes contenant entre 10 et 300 colonies. Examiner les boîtes en utilisant un compteur approprié, pour chaque micro-organisme caractéristique, le nombre de micro-organismes par gramme d'échantillon est égal à

$\frac{\varepsilon C}{(n_1 + 0.1n_2 + 0.01)d}$: est la somme des colonies comptées sur les boîtes.

n_1 : est le nombre de boîtes comptées à la dilution la plus faible.

n_2 : est le nombre de boîtes comptées à la dilution la plus élevée.

d : est la valeur correspondant à la dilution à partir de laquelle les premiers dénombrement ont été retenus (**Ministère du commerce, 2000**).

II.9-Analyse organoleptique

L'analyse physico-chimique d'un biscuit est bien évidemment incontournable, mais elle ne suffit pas à le décrire car elle est tout à fait insuffisante pour refléter ce que perçoit le consommateur sur le plan sensoriel. L'analyse sensorielle a donc pour but de décrire les caractéristiques organoleptiques des produits, de façon objective et quantifiable selon des critères bien définis (**Luquet et Corrieu, 2005**).

Les mesures hédoniques réalisées avec un panel de consommateurs servent pour l'industriel à savoir comment son produit est apprécié par rapport à ceux de la concurrence ou à évaluer si les appréciations diffèrent selon les personnes en fonction de leurs habitudes de consommation par exemple (**Issanchou, 2008**). Pour cela nous avons présenté des fiches de dégustations à des sujets lambda et professionnels de dégustation (hommes et femme de différents âges), avec des notations de 1 à 10 sur les caractères figurant dans la fiche (**Figure 10**).

L'analyse sensorielle a donc pour but de décrire les caractéristiques organoleptiques des produits de façon objective et quantifiable selon des critères bien définis d'aspect, de texture, de saveur et d'arôme (**Luquet et Corrieu, 2005**). Les caractéristiques organoleptiques déterminées sur les biscuits sont : la couleur de la croûte, la texture et la saveur.

Afin d'y parvenir, le tableau d'évaluation suivant, abordant tous les critères à apprécier, a été remis à chaque participant du panel.

Pour chacun des critères, une note de 1 à 10 est attribuée selon un ordre croissant d'appréciation. Après dégustation, veuillez :

1. Donner une appréciation pour chaque critère en cochant une des propositions (médiocre, Moyen, etc.).

Chapitre II : Matériels et méthodes

2. Donner une note sur 10 pour chaque critère, en se basant sur le barème suivant :
0=exécrable, **1**= extrêmement désagréable, **2**=très désagréable, **3**=moyennement désagréable, **4**= légèrement désagréable, **5**= Ni désagréable ni agréable, **6**= légèrement agréable, **7**= moyennement agréable, **8**=très agréable, **9**=extrêmement agréable, **10**=parfait.
3. Donner un classement des biscuits A, B et C pour chaque critère, en mettant ; 1^{er}, 2^{ème} ou 3^{ème}.

	Biscuit A	Biscuit B	Biscuit C
Couleur	<input type="radio"/> Médiocre <input type="radio"/> Moyen <input type="radio"/> Bon <input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Médiocre <input type="radio"/> Moyen <input type="radio"/> Bon <input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Médiocre <input type="radio"/> Moyen <input type="radio"/> Bon <input type="radio"/> Excellent
	Note : /10	Note : /10	Note : /10
	Classement :	Classement :	Classement :
Forme	<input type="radio"/> Médiocre <input type="radio"/> Moyen <input type="radio"/> Bon <input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Médiocre <input type="radio"/> Moyen <input type="radio"/> Bon <input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Médiocre <input type="radio"/> Moyen <input type="radio"/> Bon <input type="radio"/> Excellent
	Note : /10	Note : /10	Note : /10
	Classement :	+Classement :	Classement :
Gout	<input type="radio"/> Médiocre <input type="radio"/> Moyen <input type="radio"/> Bon <input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Médiocre <input type="radio"/> Moyen <input type="radio"/> Bon <input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Médiocre <input type="radio"/> Moyen <input type="radio"/> Bon <input type="radio"/> Excellent
	Note : /10	Note : /10	Note : /10
	Classement :	Classement :	Classement :
Odeur	<input type="radio"/> Médiocre <input type="radio"/> Moyen <input type="radio"/> Bon <input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Médiocre <input type="radio"/> Moyen <input type="radio"/> Bon <input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Médiocre <input type="radio"/> Moyen <input type="radio"/> Bon <input type="radio"/> Excellent
	Note : /10	Note : /10	Note : /10
	Classement :	Classement :	Classement :
Arôme	<input type="radio"/> Médiocre <input type="radio"/> Moyen <input type="radio"/> Bon <input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Médiocre <input type="radio"/> Moyen <input type="radio"/> Bon <input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Médiocre <input type="radio"/> Moyen <input type="radio"/> Bon <input type="radio"/> Excellent
	Note : /10	Note : /10	Note : /10
	Classement :	Classement :	Classement :
Durété	<input type="radio"/> Médiocre <input type="radio"/> Moyen <input type="radio"/> Bon <input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Médiocre <input type="radio"/> Moyen <input type="radio"/> Bon <input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Médiocre <input type="radio"/> Moyen <input type="radio"/> Bon <input type="radio"/> Excellent
	Note : /10	Note : /10	Note : /10
	Classement :	Classement :	Classement :

	Note : /10	Note : /10	Note : /10
	Classement :	Classement :	Classement :
Friabilité	<input type="radio"/> Médiocre	<input type="radio"/> Médiocre	<input type="radio"/> Médiocre
	<input type="radio"/> Moyen	<input type="radio"/> Moyen	<input type="radio"/> Moyen
	<input type="radio"/> Bon	<input type="radio"/> Bon	<input type="radio"/> Bon
	<input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Excellent
	Note : /10	Note : /10	Note : /10
	Classement :	Classement :	Classement :
Croustillant	<input type="radio"/> Médiocre	<input type="radio"/> Médiocre	<input type="radio"/> Médiocre
	<input type="radio"/> Moyen	<input type="radio"/> Moyen	<input type="radio"/> Moyen
	<input type="radio"/> Bon	<input type="radio"/> Bon	<input type="radio"/> Bon
	<input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Excellent
	Note : /10	Note : /10	Note : /10
	Classement :	Classement :	Classement :
Texture générale	<input type="radio"/> Médiocre	<input type="radio"/> Médiocre	<input type="radio"/> Médiocre
	<input type="radio"/> Moyen	<input type="radio"/> Moyen	<input type="radio"/> Moyen
	<input type="radio"/> Bon	<input type="radio"/> Bon	<input type="radio"/> Bon
	<input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Excellent
	Note : /10	Note : /10	Note : /10
	Classement :	Classement :	Classement :
Appréciation globale du biscuit (En résumé)	<input type="radio"/> Médiocre	<input type="radio"/> Médiocre	<input type="radio"/> Médiocre
	<input type="radio"/> Moyen	<input type="radio"/> Moyen	<input type="radio"/> Moyen
	<input type="radio"/> Bon	<input type="radio"/> Bon	<input type="radio"/> Bon
	<input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Excellent	<input type="radio"/> Excellent
	Note : /10	Note : /10	Note : /10
	Classement :	Classement :	Classement :

Observations et rectifications préconisées :

.....

Figure 11: Formulaire de réponse nutraceutique.

II.10-Etude économique

Cette étape a pour but d'évaluer le coût d'un paquet de biscuit (cookies) enrichi en spiruline (en prenant en compte le prix de revient, charges, etc.), et d'en comparer le prix avec celui des biscuits témoins non enrichis ; mais aussi dans le but de savoir si le coût est à la portée du consommateur.

II.11-Etude statistique

Microsoft Office Excel, 2007 a été utilisé pour le calcul de la moyenne et de l'écart type. Le logiciel SPSS IBM 20.0 a également été employé pour le calcul des médianes ainsi que leur comparaison lors de l'étude sensorielle.

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III .1-Analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques sont d'importances capitales. Leurs études sur les matières premières nécessitent une rigueur et le respect des barèmes établis par la réglementation

II .1.1-Analyses physico-chimiques de la poudre de spiruline

Les résultats des analyses physico-chimiques de la spiruline, la farine, la poudre de lait, et le produit fini sont mentionnés dans le tableau 08

Tableau 8 :Analyses physico-chimiques de la spiruline

Test Echantillon	Humidité (H%)	Matière sèche (MS%)	PH	Taux de cendres%	Teneur en protéines%
Spiruline	6,24	92,8	7.02	6,69±0,1	65,25±0,17
Normes	< 10	> 90	7 -9	< 10	>50

(Source : Jourdan, 2006)

On remarque une conformité de l'ensemble des résultats : le pH, la matière sèche, l'humidité, le taux de cendres et la teneur en protéines.

III .1.1.1-Humidité (H%) et matière sèche (MS%)

L'humidité est un facteur très important dans les caractéristiques physico-chimiques de la spiruline ; où il est évalué à un taux de 6,24 %. Cette valeur est très proche de celle trouvée par **Espirard (2002)** pour les produits secs (entre 4 à 6%). Par ailleurs, il faut noter que notre résultat est moins élevé que celui obtenu par **Lounici (2010)** qui se situent autour de 13,62%.

Il faut savoir que plus le taux d'humidité est élevé, plus il y a prolifération microbienne et moins longtemps le produit sera conservé.

En outre, ces résultats montrent que la spiruline est très riche en matière sèche avec un taux de 92,8 %, ce qui correspond à la norme annoncée par **Jourdan (2006)** qui est supérieur à 90%. Par contre, notre matière sèche dépasse celle trouvée par **Alvarenga et al. (2011)** avec un taux de 88,08%.

III .1.1.2-Matière grasse

Nous avons obtenu une teneur en matière grasse relativement faible dans la spiruline qui est de $1,08 \pm 0,1\%$ MS. Cette valeur concorde avec les données de certains auteurs variant entre 0,5 et 1,61 % (**Benahmed-Djilali, 2012; Hamouda, 2012**). Il est à mentionner que **Lounici (2010)** a obtenu une valeur largement supérieure (6,70%). Cette faible teneur en lipides permet de classer la spiruline parmi les aliments à faible apport calorique.

III .1.1.3-Le Potentiel d'hydrogène (pH)

La poudre de spiruline obtenue a un pH légèrement alcalin qui est de 7,02. Cette valeur est conforme aux normes françaises recommandant une valeur entre 7 et 9. Par contre, **Benahmed-Djilali (2012)** a rapporté une valeur inférieure du pH (6,81).

III .1.1.4- Cendres et matières organiques

Les cendres représentent la quantité totale en sels minéraux présents dans un échantillon, ils sont à $6,69 \pm 0,1\%$ MS dans la poudre de spiruline analysée. Cette teneur est conforme aux normes. La teneur en cendres trouvée est inférieure à celle rapporté par **DansouDelali (2002)** avec $10,76\%$ MS et inférieure à celle rapporté par **Benahmed-Djilali (2011)** qui est de 9,41%.

III .1.1.5-Protéines

La composition de *S.platensis* a révélé une teneur de 61,74% de protéines d'après **Benahmed-Djilali (2012)**. Le résultat obtenu pour notre analyse est supérieur à cette valeur avec un taux de $65,25 \pm 0,17\%$.

D'autres auteurs ont obtenu des résultats semblables avec des taux de 60% et 61,30 % (**Danesiet al., 2012; Brangeret al., 2003**). En termes de quantité, la teneur en protéines de la spiruline oscille entre 60 et 70 % de son poids sec (**Fox, 1999**). Ce sont des valeurs exceptionnelles car les meilleures sources de protéines végétales n'arrivent qu'à la moitié de ces teneurs. La farine de soja par exemple ne contient que 35 % de protéines brutes (**Benahmed-Djilali, 2012**).

La spiruline dépasse toutes les sources de protéines alimentaires connues, elle est classée dans la catégorie des concentrés protéiques.

La consommation d'une à deux dizaines de grammes par jour, représente environ un quart à un tiers des besoins quotidiens en protéines pour une personne de 60 kg, si l'on se base sur les apports quotidiens recommandés, soit 0,7 à 1 g par kg de poids corporel (**Briend, 1998**)

CHAPITRE III : résultats et interprétation

III .1.1.6-Cellulose brute

Le taux de cellulose obtenu de la souche de spiruline analysée est relativement faible. Il a été estimé à $0,53 \pm 0,1\%$ MS. Ces résultats s'accordent avec ceux trouvés par **Pierlovis (2007)**, qui varient entre 0,1% et 0,9%. Il faut signaler que la faible teneur de la spiruline en cellulose est un atout pour notre objectif et cela afin de l'utiliser comme un additif alimentaire, car la cellulose est un composé non digestible par l'homme.

III .1.1.7-Glucides totaux

Le taux de glucides dans la spiruline est de $20.39 \pm 15\%$ MS. Cette valeur s'aligne avec celles trouvées par **Branger et al., 2003 ; Jourdan, 2006 et Moorhead et al., 2006** ; avec des valeurs variants entre 15 et 25%. Ce résultat est élevé par rapport à celui de **Lounici (2010)** avec un taux de 16, 25 %.

III .1.1.8-La valeur énergétique

L'énergie brute de la spiruline étudiée est de 352.28 Kcal / 100 g cette valeur est supérieur à celle donnée par **Branger et al. (2003)** qui est de 346 Kcal / 100g.

La valeur trouvée dans notre travail montre que la spiruline est riche en énergie.

III .1.2-Analyse physico-chimiques de la farine et la poudre de lait

Tableau 9 :Analyse physico-chimiques de la farine et poudre de lait

Echantillon Test	Farine		Poudre de lait à 26 %	
	Résultat	Normes	Résultat	Normes
Taux d'humidité MS	$14.7 \pm 0,44$	Entre [14.5 et 15]*	4.50 ± 0.13	Max à 5**
Taux de cendres MS	0.5 ± 0.11	Entre [0.56 et 0.67]	95.40 ± 0.26	Min 95**
Acidité titrable	/	/	$15 D^{\circ} \pm 0.05$	Max à 15*
Acidité grasse %	0.04 ± 0.001	Entre [0.04 et 0.05] *	/	/
Ph	6.19 ± 0.07	Proche à 7***	/	/

MS : matière sèche,

Max : Maximum,

Min : Minimum

* : Norme algérienne

** : Codex standard 207-1999

*** : AFNOR (NFV05-108)

D'après ces résultats, nous remarquons une conformité des taux d'humidité, de cendres et d'acidité grasse par rapport aux normes établies par le **JORA 1997**, et une conformité pour le pH aux normes établies par **AFNOR**. Ceci indique que notre farine est riche en éléments nutritifs, et ce qui aura une influence considérable sur la pureté et la qualité de notre produit fini

Les résultats des taux d'humidité, de cendres et de la poudre de lait sont conformes aux normes indiquées dans le tableau ci-dessus.

Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques permettent de mettre en évidence et de quantifier les germes (bactéries) ou les virus. Il est important de connaître la charge bactérienne des aliments.

Un produit exempt de tout défaut et/ou vice caché, présentant une garantie contre toute atteinte à la sante, à la sécurité et/ouaux intérêts matériels et moraux du consommateur.(**Loi n° 09-03 du Ministère du commerce Algérien ; 2009**).

III .1.2-Résultats des analyses microbiologiques de la spiruline

Tableau 10 :Résultats des analyses microbiologiques de la spiruline

Germes dénombrés	Charge (UFC /g)	Normes françaises (germes/G) (Arrêté de 21/12/1979)
Germes aérobies mésophile totaux (GAMT)	1000	≤ 100000
Coliforme totaux	Abs	-
Coliforme fécaux	Abs	<10
Clostridium sulfuto- réducteurs	Abs	<100
Staphylococcus aureus	Abs	≤ 100
Levures	Abs	-
Moisissures	Abs	-
Salmonelles	Abs	Abs / 25 g

(Source : Jourdan, 2006)

Les analyses microbiologiques effectuées sur la poudre de spiruline ont montré qu'elle ne contient pas de coliformes fécaux et totaux, ni de levures et moisissures, de même que pour les staphylococcus aureus et salmonelle. Elle ne présente donc aucun danger en raison de sa conformité aux normes établies en France et mentionnées par Jourdan. Aussi, la présence des GAMT est tolérable selon le journal officiel de la république Algérienne. Les résultats indiquent donc qu'elle est fabriquée dans de bonnes conditions d'hygiène.

La spiruline sèche est exempte de tout germe pathogène, ce qui explique sa bonne qualité microbiologique due à l'alcalinité très élevée du milieu de culture. Cela constitue une excellente barrière contre la plupart des contaminations. Rappelons que notre spiruline est vendue sous forme de complément alimentaire ce qui explique sa bonne qualité.

L'analyse de centaines d'échantillons de spiruline commerciale cultivée en Thaïlande, Japon, Taiwan et au Mexique a également montré que les coliformes sont absents dans la plupart des échantillons, indiquant les bonnes conditions sanitaires de la croissance, récolte, séchage et emballage (Gershwin, 2008).

III .1.3-Analyse microbiologique des matières premières

Les analyses microbiologiques permettent de mettre en évidence et de quantifier les germes (bactéries) ou les virus. Il est important de connaître la charge bactérienne des aliments.

Un produit exempt de tout défaut et/ou vice caché, présentant une garantie contre toute atteinte à la santé, à la sécurité et/ou aux intérêts matériels et moraux du consommateur (**loi n° 09-03 du Ministère du commerce algérien, 2009**).

Les résultats des analyses microbiologiques des matières premières (farine, l'arôme noisette, dextrose, la graisse 38/40, jaune d'œuf, la poudre de lait et sucre) sont mentionnés dans le **tableau 11**.

III .1.3.1-Farine

Tableau11 : Résultats des analyses microbiologiques de la farine

Les germs recherchés	Résultats	Normes
		JORA du 02 juillet 2017
Moisissures	4.10 ²	3.10 ² ---10.10 ²
Clostridium S.R à 46°c	Abs	10.10 ² ---30.10 ²

La farine analysée est de qualité microbiologique satisfaisante, caractérisée par l'absence de Moisissures et clostridium selon les normes Algériennes.

III .1.3.2-Arôme Noisette

Tableau 12 : Résultats des analyses microbiologiques de l'arôme noisette

Paramètres Recherchés	Résultats	Normes
		JORA du 02 Juillet 2017
Germs Aérobie Mésophiles Totaux à 30 °C	150	600000-2000000
Coliformes fécaux	Absence	03-10

CHAPITRE III : résultats et interprétation

D'après les résultats des analyses microbiologiques obtenus pour l'arôme noisette, le produit analysé est de qualité microbiologique satisfaisante, caractérisé par l'absence de germes aérobies mésophiles totaux à 30 ° C et de Coliformes fécaux selon les normes Algériennes.

III .1.3.3-Dextrose

Tableau 13 : Résultats des analyses microbiologiques du dextrose

Paramètres Recherchés	Résultats	Normes JORAdu 02-Juillet2017
Germes Aérobie Mésophiles Totaux à 30 ° C	100	60-200
Germes Acidifiants	Absence	15-50
Levures	Absence	3-10
Moisissures	Absence	3-10
Clostridium S.R à 46°C	Absence	3 – 10

D'après le tableau 13, les résultats des analyses microbiologiques du dextrose montrent que l'échantillon examiné répond aux normes fixées. Avec l'absence totale des germes pathogènes : *Clostridium*, ainsi que l'absence de la flore mésophile totale, levures et moisissures et les germes acidifiants. Aussi la présence des GAMT est tolérable selon les normes Algériennes, ce qui indique que le dextrose utilisé en biscuit est de bonne qualité microbiologique.

GAMT = Germes Aérobie mésophiles totaux

III .1.3.4-La graisse 38/40

Les résultats des analyses microbiologiques de la graisse 38-40 sont présentés dans le tableau 14.

CHAPITRE III : résultats et interprétation

Tableau 14 : Résultats des analyses microbiologiques du dextrose

Les Germes Recherchés	Résultats	Normes JORA du02-juillet2017
Germes Totaux à 30°	160	300-1000
Coliformes fécaux	Abs	Abs
Staphylococcus aureus	Abs	30-100
Levures	10	30-100
Salmonelle	Abs	Abs

Les résultats affichés dans le tableau 14, indiquent que la graisse 38/40 et de qualité microbiologique satisfaisante selon les normes algériennes.

III .1.3.5-Jaune d'œuf

Tableau 15 : Résultats des analyses microbiologiques du jaune d'œuf

Paramètres Recherchés	Résultats	Normes JORA du02-juillet2017
Escherichia coli	Abs	03-10
Salmonella	Abs	Absence

Les résultats microbiologiques représentés dans le tableau 15, montrent que le jaune d'œuf entrant dans la fabrication du biscuit répond aux normes annoncées dans le journal officiel de la république algérienne (JORA).

III .1.3.6-Poudre de lait**Tableau 16:** Résultats des analyses microbiologiques de la poudre de lait

Paramètres recherchés	Résultats	Normes JORAdu02-juillet2017
Germes Aérobie Mésophiles Totaux à 30 °C	7500	600000-2000000
Coliformes fécaux	Abs	03-10
Clostridium S-R à 46 °C	Abs	Abs
Salmonelles	Abs	Abs
Levures et Moisissures	Abs	Abs
Antibiotique	/	Abs

Les analyses microbiologiques de la poudre de lait utilisée dans la recette du biscuit et mentionnée dans le tableau 16, montrent une bonne qualité microbiologique caractérisée par l'absence totale des germes indicateurs de contamination fécale (coliformes fécaux), mais également, une absence totale des germes pathogènes, incriminés dans les intoxications alimentaires à savoir : *Clostridium* et salmonelles, ainsi que l'absence de la flore mésophile totale, levures, moisissures et germes aérobies mésophiles totaux.

CHAPITRE III : résultats et interprétation

III .1.3.7-Sucre

Les résultats des analyses microbiologiques du sucre sont présentés dans le tableau 17

Tableau 17 : Résultats des analyses microbiologiques du sucre

Paramètres recherchés	Résultats	Normes
Germes aérobies mésophiles	70	60-200
Germes acidifiants	Abs	15-50
Levures	Abs	3-10
Moisissures	Abs	3-10
Clostridium S-R à 46°C	Abs	3-10

Les résultats microbiologiques représentés dans le tableau 17 montrent que le sucre entrant dans la fabrication du biscuit répond aux normes annoncées dans le journal officiel de la république Algérienne (**JORA**).

III .1.4-Produit fini

Tableau 18 : résultat des analyses microbiologiques du biscuit (BIMO) et du biscuit enrichi en spiruline

Résultats Paramètres recherchés	Biscuit BIMO			Biscuit à 1 %			Biscuit à 2 %			NORMES
	J1	J30	J60	J1	J30	J60	J1	J30	J60	
Germes aérobies mésophiles totaux	45	47	50	45	46	50	45	48	50	10^3
Coliforme totaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	-
Coliforme fécaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	3
Staphylococcus aureus	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	10^2
Moisissures	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	10^2
Levures	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	-

Selon JORA du 27 Mai 1998.

Les résultats des analyses microbiologiques des 3 types de biscuits sont représentés dans le tableau 18. Elles sont faites au cours de la période de stockage à J1, J30 et J60. Les analyses microbiologiques effectuées sur les 3 types de biscuits (le témoin ainsi que les deux

échantillons à 1 et 2% de concentration de spiruline) montrent que les résultats obtenus sont tous quasi identiques.

Les germes aérobies mésophiles totaux ont montré une faible capacité de développement dans le biscuit, les charges étaient entre 45 et 50 UFC/g pour tous les types de biscuits et à différentes périodes de stockages. Ces résultats sont largement inférieurs aux normes Algériennes.

On remarque, en outre, une absence totale des germes pathogènes *Staphylococcus aureus*. De même pour les germes indicateurs de contamination fécale : *coliformes fécaux*.

Malgré la richesse des biscuits en sucre, ce qui représente un facteur favorisant le développement des moisissures, une absence totale de ces dernières ainsi que des levures a été enregistrée après un mois, cela serait probablement dû à la température élevée de cuisson.

L'absence de *coliformes totaux, fécaux et staphylococcus aureus* constitue un facteur d'innocuité et confère aux biscuits une bonne qualité sanitaire.

Les résultats obtenus sont en faveur d'une bonne conservation et permettent l'obtention d'un produit alimentaire sain caractérisé par une charge microbienne réduite.

D'après les résultats que nous avons obtenus, nous pouvons en déduire que les biscuits enrichis en spiruline sont conformes aux normes exigées par le JORA. La spiruline n'a eu aucune influence sur la qualité microbiologique du biscuit.

III .2- Analyse technologique

III .2.1-Dosage du gluten

D'après les résultats obtenus, le taux de gluten est de 9,55%, il est donc acceptable par rapport à la norme exigée, comprise entre 8 et 12 %.

Essai à l'alvéographe Chopin :

Les résultats obtenus sont mentionnés dans le (Tableau 19).

Tableau 19 :Tableau représentatif des caractéristiques alvéographiques de la farine

	W (10 – 4 joules)	G (cm 3)	P (mm)	L (mm)	P /L
Témoin (farine la belle)	184	18,8	79	71	1,11
Farine avec 1% de spiruline	169	18,4	81	68	1,19
Farine avec 2% de spiruline	136	15,7	80	50	1,6

Le classement des farines se fait selon leur travail de déformation W (**Calvel 1984**) :

- Une farine faible de force boulangère inférieure à 130×10^{-4} joules.
- Une farine moyenne de W comprise entre 130×10^{-4} et 180×10^{-4} joules.
- Une farine forte de W supérieur à 180×10^{-4} joules.

D'après les résultats du tableau, on constate que la force boulangère diminue au fur et à mesure que le taux d'incorporation de la spiruline augmente. Le résultat est compris dans l'intervalle [130×10 joules, 180×10 joules]. L'indice de gonflement de la pâte diminue avec l'augmentation du taux d'incorporation. La valeur de la farine à 2% de spiruline est en dehors de la fourchette d'une farine biscuitière qui requiert un gonflement compris entre 18 et 23 cm^3 et la valeur de la farine à 1% de spiruline est comprise dans cet intervalle. Il faut savoir que l'indice de gonflement renseigne sur l'extensibilité de la pâte et l'aptitude du réseau glutineux à retenir le gaz carbonique formé (**Kittissou, 1995**).

D'après les résultats du tableau, quel que soit le taux d'incorporation de spiruline, la ténacité « P » reste stable, soit 81mm pour 1% de spiruline et 80mm pour 2% de spiruline.

L'extensibilité de la pâte « L » dans le cas de notre travail diminue avec l'augmentation du taux d'incorporation de spiruline. Ces valeurs se trouvent en dehors de l'intervalle d'une farine biscuitière (90 à 120 mm). Sachant que cette valeur est déjà hors normes pour notre

farine témoin (71mm), cette extensibilité, liée au rapport Gliadines/Gluténines et à la teneur en pentosanes de la pâte, est un caractère important dans la formation du biscuit et surtout de sa forme (**Godon et Loisel, 1997**).

Le rapport de configuration « **P/L** » traduit l'équilibre général de l'alvéogramme c'est à dire l'équilibre entre la ténacité et l'extensibilité des pâtes formées (**Dubois, 1996**).

Le rapport de configuration « **P/L** » de notre farine augmente proportionnellement avec le taux d'incorporation de la poudre de spiruline, de l'ordre de 1,19 pour la farine à 1% et 1,60 pour la farine à 2%. Ces valeurs sont en dehors de la norme située entre 0,25 et 0,8. Plusieurs auteurs (**Dubois, 1988; Godon, 1991 ; Feillet, 2000; Bourson, 2009**) s'accordent à dire que les paramètres pour une farine biscuitière doivent correspondre à une force boulangère « **W** » comprise entre 60 et 150.10* J.

➤ Différents types des biscuits obtenus

L'addition de la spiruline au biscuit à des taux d'enrichissement de 1% et 2% respectivement, a permis d'obtenir 2 types de biscuits différents.

La figure 9 ci-dessous indique l'aspect des différents types de biscuits obtenus après la cuisson.

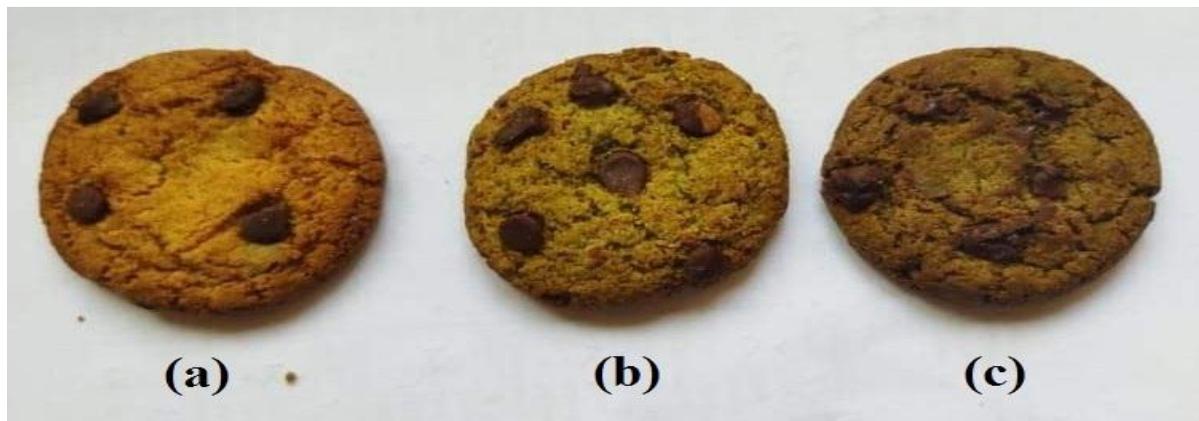


Figure 11 : Photographie de l'aspect des biscuits fabriqués

(a) Biscuit témoin.

(b) Biscuit à 1% d'enrichissement de spiruline.

(c) Biscuit à 2% d'enrichissement de spiruline.

III .3- Evaluation biochimique et nutritionnelle des Produits finis

III .3.1-Composition biochimique

III .3.1.1-La teneur en protéines

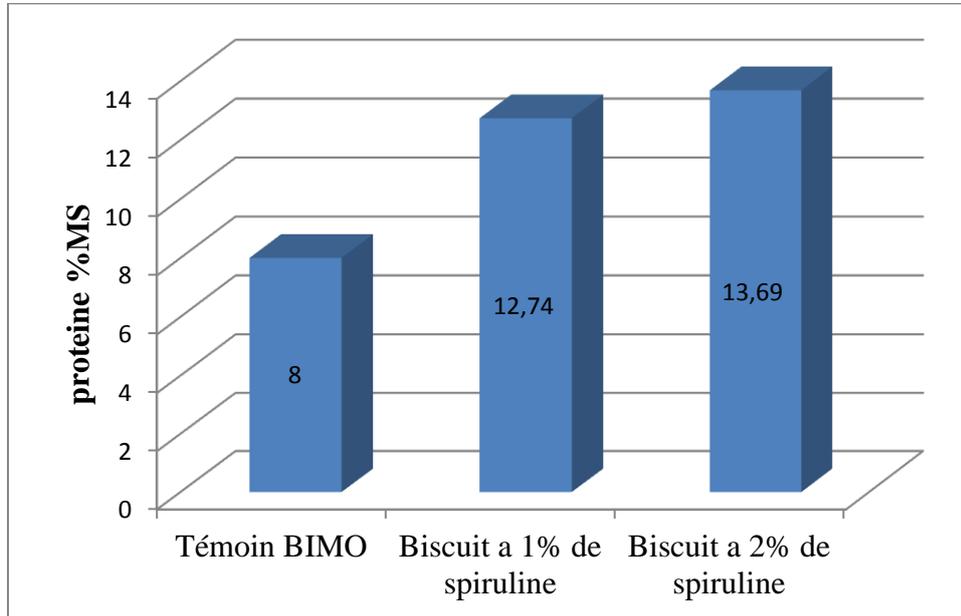


Figure 12:Teneur en protéines des trois biscuits formulés

Les protéines tiennent une place importante dans notre alimentation. En effet, pour l'homme, le besoin en protéines est d'environ 12 à 14% de la matière sèche du régime alimentaire. Elles sont fournies essentiellement par les graines de céréales, les légumineuses et les viandes.

La teneur en protéines brutes est l'un des critères utilisés pour évaluer la valeur nutritive d'un aliment.

A partir de la figure 12, nous constatons que nos formules des biscuits enrichis en spiruline présentent des teneurs en protéines supérieures à celles des biscuits témoins.

On a obtenu pour les biscuits à 1 et 2 % d'enrichissement, des valeurs estimées à 12,74 et 13,69 MS de taux de protéines.

L'augmentation du taux des protéines a été estimée à 59,61% et 67,48% pour des taux d'enrichissement à 1 et 2% respectivement.

Pour ces mêmes taux d'enrichissement, **Navacchi et al. (2012)** a annoncé une amélioration inférieure à la nôtre, de 39,28 et 53,57%.

Les conseils nutritionnels actuels, vont dans le sens d'un rééquilibrage des apports en protéines végétales. Cérééquilibrage permet de consommer moins de viande (Liégeois, 2010).

III .3.1.2-Teneur en cellulose

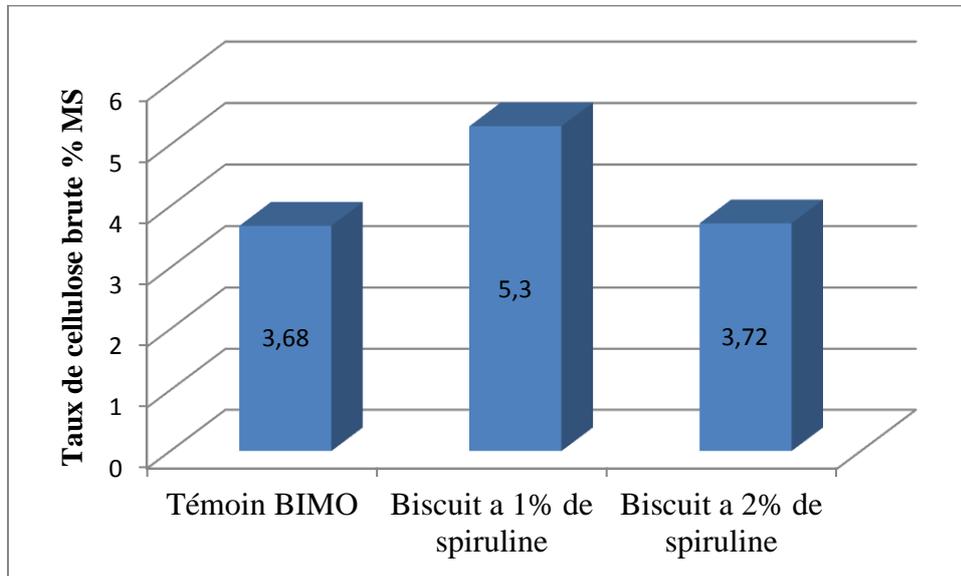


Figure 13: Taux de cellulose brut des trois biscuits formulés.

Le dosage des fibres alimentaires effectué sur les échantillons des biscuits étudiés est représenté dans la figure 13 en pourcentage de MS. Nous avons noté des teneurs différentes en cellulose, variant de $3,68 \pm 0,2$ à $5,30 \pm 0,2\%$ MS.

Selon Navacchi et al., 2012, un aliment solide pour qu'il soit source de fibres, doit en contenir entre 3 et 6%, donc l'ensemble des biscuits (témoin et enrichis en spiruline) sont considérés comme source de fibres.

Les fibres alimentaires sont des polymères glucidiques d'origine végétale, associées ou non dans la plante à la lignine ou à d'autres constituants non glucidiques (polyphénols, cires, saponosides, phytostérols...) (AFSSA, 2002).

L'apport en fibres provient majoritairement des végétaux qui constituent notre alimentation : fruits, légumes, diverses graines et céréales (Bruneton, 1999).

Les fibres alimentaires ont plusieurs effets bénéfiques sur la santé, notamment la diminution de la cholestérolémie et du taux de LDL plasmatique, la diminution de la glycémie et de l'insulinémie post prandiale.

III .3.1.3. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est un autre paramètre déterminant l'aptitude à la conservation des aliments. Il constitue l'un des principaux obstacles que la flore microbienne doit franchir pour assurer sa prolifération (**Giddey, 1982**). Les résultats du pH sont représentés dans la figure 14.

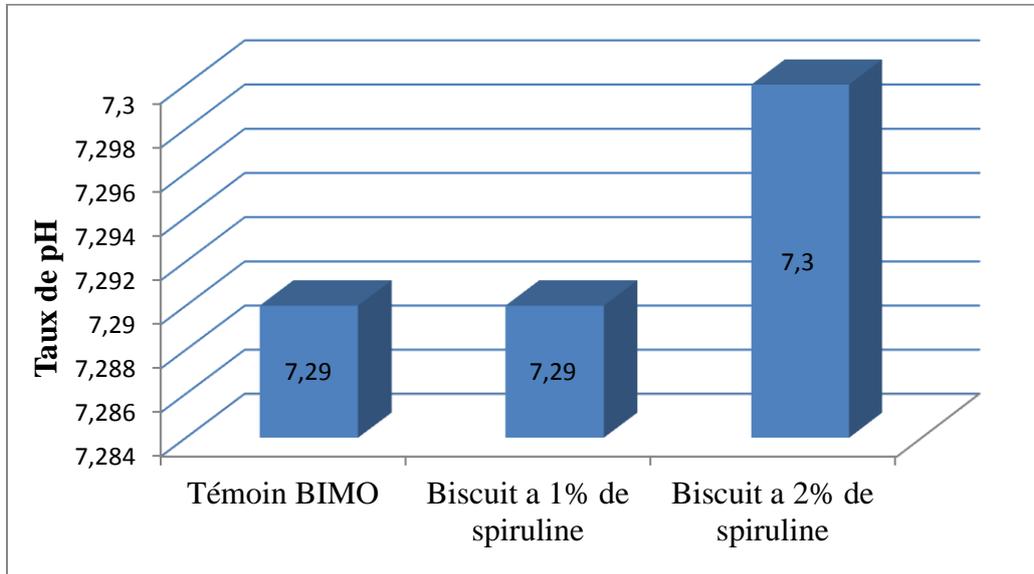


Figure 14: Taux du pH brut des trois biscuits formulés.

Le pH des biscuits préparés tend vers la neutralité. Nos résultats sont similaires pour tous les échantillons : 7,29 pour le biscuit témoin et le biscuit à 1% d'enrichissement et 7,30 pour le biscuit à 2%. Ces résultats sont proportionnels aux valeurs annoncées par l'industrie BIMO. Pour les biscuits chocolatés, les normes préconisées par le Centre Food and Drug Administration des États-Unis (**FDA, 1992**) varient entre 7,2 à 7,6.

III .3.1.4-Taux de cendres et de la matière organique

Tableau 20 :Le taux de cendres et de la matière organique des biscuits

Biscuit	Cendres (C% / MS)	Matière organique
Biscuit témoin (BIMO)	1,24±0,1	98,76
Biscuit à 1% de spiruline	1,35±0,1	98,65
Biscuit à 2% de spiruline	1,35±0,1	98,65

Nous constatons une amélioration du taux des minéraux, qui est due à l'addition de la spiruline, qui est très riche en sels minéraux.

CHAPITRE III : résultats et interprétation

Relativement, le taux de la matière organique présente une différence peu significative entre les trois biscuits. Il est de 98,76% pour le biscuit témoin et 98,65% pour les biscuits à 1 et 2% d'enrichissement.

Ces résultats concordent avec ceux de Morais et al. (2006), qui ont présenté des taux presque similaires avec différents taux d'incorporation (1, 3 et 5%) avec une moyenne de 98,59%.

La détermination de la teneur en matière minérale nous renseigne sur la qualité nutritionnelle de l'échantillon à analyser.

En effet, la teneur en cendres des aliments doit avoir un seuil à ne pas dépasser pour la consommation humaine. Les résultats obtenus dans le cas du biscuit témoin et des biscuits à 1 et 2% de spiruline sont respectivement de : 1,24, 1,35 et 1,35% MS.

III .3.1.5- La teneur en eau et en matière sèche

Tableau 21 :Teneurs en eau et en matière sèche des biscuits

Biscuit	Matière sèche	Teneur en eau (humidité)
Biscuit témoin (BIMO)	96.6	3.40
Biscuit à 1% de spiruline	95.2	3.80
Biscuit à 2% de spiruline	96.1	3.90

L'appréciation de la matière sèche repose sur la détermination de la teneur en eau des échantillons à analyser. Le taux de la matière sèche dans les biscuits a été estimé entre 95,2% et 96,6% ; le tableau 21 représente son taux dans les différents échantillons étudiés. On y remarque, que son taux est important dans les biscuits avec une différence peu significative entre les trois biscuits. Ainsi, les résultats obtenus montrent que les biscuits sont riches en matière sèche.

Le biscuit témoin a donné une teneur en eau de 3,40%, le biscuit enrichi à 1% de spiruline a enregistré une valeur de 3,80%, quant au biscuit enrichi à 2% de spiruline, renferme la teneur en eau la plus élevée : 3,90 %. Ces résultats sont conformes à la norme annoncée par l'industrie BIMO qui varie entre 3 et 4%.

III .3.1.6-Le taux de matière grasse

Les lipides sont des constituants biologiques nutritionnellement importants du point de vue calorique, de leur apport en acides gras essentiels, ainsi qu'en vitamines liposolubles. Ce sont des matières organiques insolubles dans l'eau mais solubles dans les solvants organiques.

Le taux de matière grasse des trois formulations de biscuits étudiées est présenté dans la figure 15.

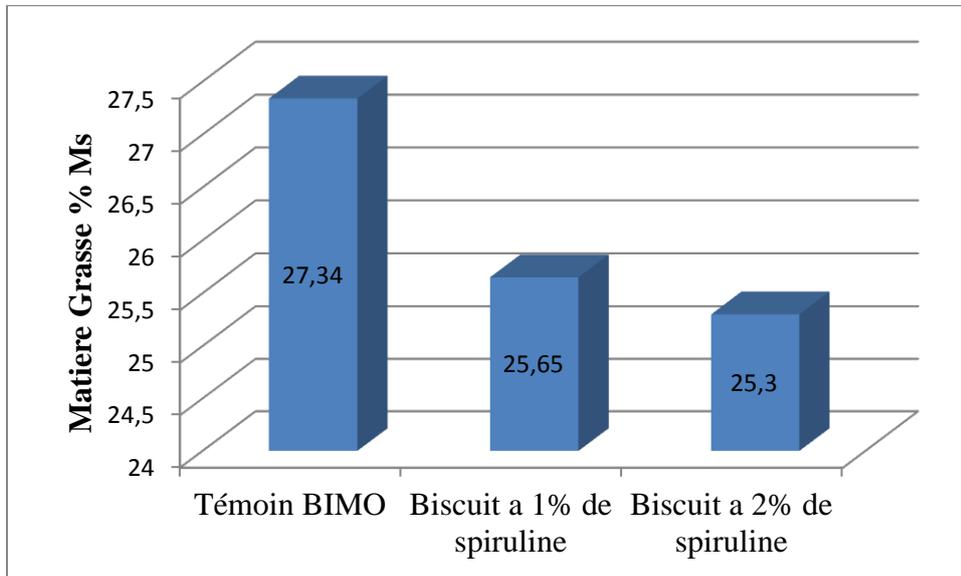


Figure 15: Taux de matière grasse des biscuits.

Le dosage de la matière grasse, a montré que les trois biscuits ont des taux presque similaires variant de 25,65 à 27,34% Ms. L'ajout de la spiruline n'a pas d'influence sur le taux de la matière grasse des biscuits, car la spiruline renferme une faible teneur en lipides.

En effet, ces résultats sont conformes à la norme interne annoncée par la biscuiterie "BIMO"

III .3.1.7-Teneur en glucides

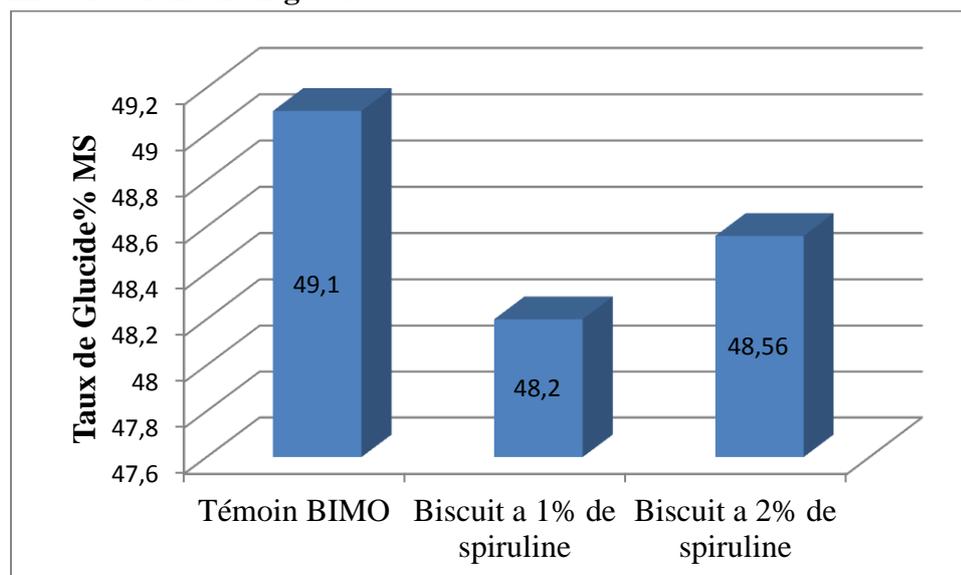


Figure 16: Taux de glucides des biscuits

A la lumière des résultats illustrés dans la figure 16, nous remarquons que les biscuits obtenus présentent une teneur en glucides de 48,2 à 48,56% MS. Cette teneur est proche à celle rapportée par la biscuiterie "BIMO". En outre, la différence est peu significative entre les trois valeurs.

Du fait que le biscuit soit un aliment très riche en glucides, le dosage de ces derniers dans les trois biscuits a donné des valeurs généralement élevées. Notons que l'addition de la spiruline à différente concentration (1 et 2%) n'a pas provoqué une modification du taux de glucides.

Navacchi et al. (2012) a trouvé pour des taux d'enrichissement similaire, des valeurs presque identiques à nos échantillons variant entre 50,1 et 50,5%MS.

Remarque : le taux de glucides varie selon la recette de base.

III .3.1.8. Densité énergétique

La densité énergétique (DE) d'un aliment est la quantité d'énergie métabolisable (Exprimée en kcal ou en kJ) apportée par 100 g de partie comestible (**Dupin et coll, 1996**).

La ration alimentaire est définie comme l'alimentation nécessaire à l'organisme pour ses dépenses pendant une durée de 24h. Pour établir sa composition rationnellement, il est nécessaire de connaître les besoins énergétiques d'un organisme donné (**Doumandji, Boutekrabt et al. 2011**)

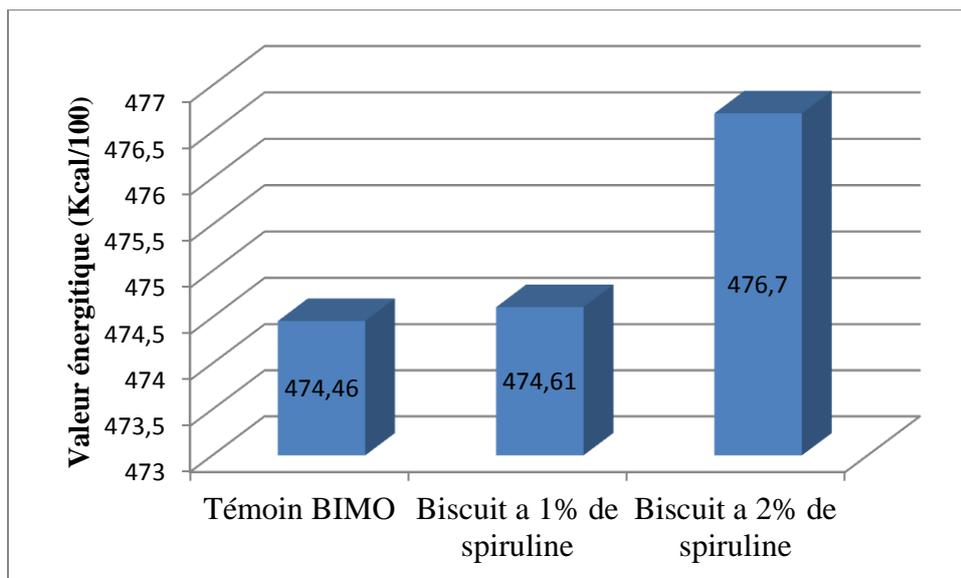


Figure 17: Valeur énergétique des biscuits.

D'après la figure 17, nous constatons que les formules des biscuits avec spiruline présentent des DE similaires à celles du biscuit du commerce "BIMO". Elles sont de l'ordre de 474,46 kcal/100g pour le biscuit témoin "BIMO", de 474,61 kcal/100 g pour celle de biscuit à 1% et de 476,7 kcal/100 g pour celle de biscuit à 2%.

Navachi et al. (2012), ont trouvé des valeurs significativement plus basses entre 317,7 et 320,2 Kcal/100g. Cette variation est expliquée par la différence de la densité nutritionnelle de chaque biscuit.

III .4-Analyse sensorielle

La qualité organoleptique joue un rôle très important dans la valeur commerciale des biscuits. L'analyse sensorielle des biscuits est faite par 30 personnes, leur moyenne d'âge est entre 18 et 30 ans : comporte 7 techniciens et ingénieurs expérimentés et qualifiés par une formation sur l'analyse sensorielle de BIMO.

Les résultats des analyses organoleptiques et sensorielles des biscuits sont représentés dans le tableau 24

1. Une appréciation pour chaque critère en cochant une des propositions (médiocre, Moyen, etc.).
2. La note sur 10 pour chaque critère, en se basant sur le barème suivant :
0=exécration, **1**= extrêmement désagréable, **2**=très désagréable, **3**=moyennement désagréable, **4**= légèrement désagréable, **5**= Ni désagréable ni agréable, **6**= légèrement agréable, **7**= moyennement agréable, **8**=très agréable, **9**=extrêmement agréable, **10**=parfait.
3. Le classement des biscuits A, B et C pour chaque critère, en mettant ; 1^{er}, 2^{ème} ou 3^{ème}.

CHAPITRE III : résultats et interprétation

Tableau 22 : Résultats des analyses organoleptiques et sensorielles des biscuits

Enchantions	Caractéristique	Nombre des sujets préférant chaque catégorie			
		Médiocre	Moyen	Bon	Excellent
Biscuit A	Couleur	1	8	16	5
	Forme	2	2	20	6
	Goût	5	2	12	11
	Odeur	1	8	17	4
	Arome	2	7	14	7
	Dureté	3	12	9	6
	Friabilité	4	4	12	12
	Cristallisant	3	15	7	5
	Texture générale	1	12	14	3
	Appréciation				
Biscuit B	Couleur	10	9	5	6
	Forme	3	10	14	3
	Goût	4	13	4	9
	Odeur	2	12	11	5
	Arome	3	9	13	5
	Dureté	4	12	10	4
	Friabilité	4	5	10	11
	Cristallisant	1	12	11	6
	Texture générale	3	9	12	6
	Appréciation				
Biscuit C	Couleur	7	12	6	5
	Forme	1	12	14	3
	Goût	5	3	10	12
	Odeur	5	12	8	5
	Arome	2	14	9	5
	Dureté	4	8	12	6
	Friabilité	6	7	7	10
	Cristallisant	4	12	8	6
	Texture générale	3	12	7	8

III .4.1. Analyse statistique

Pour mettre en évidence les résultats obtenus lors de l'analyse sensorielle conduite par un jury de dégustation, nous avons effectué des tests statistiques permettant la comparaison des médianes pour les notes obtenues par les trois différents biscuits et pour chacune des caractéristiques (couleur, forme, gout, etc.). Ce test non paramétrique a été utilisé pour pallier aux conditions qui ne sont pas réunies afin de réaliser un test de comparaison des moyennes (ANOVA ou Test de Student).

Les médianes ont été comparées entre les trois biscuits A, B et C pour tous les items notés, mais une comparaison par paires a été également effectuée entre les biscuits A et B, et entre les biscuits A et C. L'analyse statistique ainsi que le calcul des moyennes, écarts-types et médianes ont été effectués à l'aide d'IBM SPSS 20,0 et les valeurs de $p < 0,05$ ont été considérées comme significatives.

➤ Résultats

Tableau 23 : Médianes, moyennes et écarts-types des notes obtenues pour chacune des caractéristiques pour les biscuits A, B et C

Caractéristique	Statistique	Biscuit A	Biscuit B	Biscuit C
Couleur	Moyenne ±ET	7.39 ± 2.08	6.00 ± 3.09	6.00 ± 2.00
	Médiane	8.00	5.00	5.00
Forme	Moyenne ±ET	8.22 ± 1.38	7.26 ± 1.71	7.14 ± 1.78
	Médiane	8.00	7.00	7.50
Goût	Moyenne ±ET	7.61 ± 2.59	6.26 ± 2.96	6.68 ± 2.82
	Médiane	8.00	6.00	6.00
Odeur	Moyenne ±ET	7.30 ± 2.12	7.22 ± 2.15	6.73 ± 2.29
	Médiane	8.00	8.00	6.50
Arome	Moyenne ±ET	7.74 ± 1.71	7.04 ± 2.32	6.95 ± 2.32
	Médiane	8.00	7.00	7.50
Dureté	Moyenne ±ET	6.83 ± 1.77	6.65 ± 1.85	6.68 ± 2.08
	Médiane	7.00	6.00	7.00
Friabilité	Moyenne ±ET	6.57 ± 2.02	6.83 ± 1.85	7.09 ± 2.56
	Médiane	7.00	7.00	7.00
Croustillance	Moyenne ±ET	6.65 ± 2.17	7.61 ± 1.85	6.68 ± 2.48
	Médiane	6.00	8.00	6.50
Texture générale	Moyenne ±ET	7.17 ± 1.82	7.48 ± 1.95	7.45 ± 2.30
	Médiane	7.00	8.00	7.50
Appréciation globale	Moyenne ±ET	7.61 ± 1.59	7.22 ± 2.11	7.09 ± 2.27
	Médiane	8.00	8.00	7.00

ET : écart type

CHAPITRE III : résultats et interprétation

Tableau 24 : Comparaison des médianes entre les biscuits A, B et C : Comparaison des médianes entre les biscuits A, B et C.

Caractéristique	P
Couleur	0.010
Forme	0.422
Goût	0.390
Odeur	0.630
Arome	0.822
Dureté	0.673
Friabilité	0.942
Croustillance	0.189
Texture générale	0.546
Appréciation globale	1.000

D'après le test de comparaison des médianes (tableau n°24), les médianes des notes sont identiques pour toutes les caractéristiques sauf pour la couleur ($p=0,010 < 0,05$), ce qui indique que les dégustateurs ont jugé qu'il y avait une différence significative dans la couleur des biscuits en préférant le biscuit A (médiane = 8) par rapport aux autres qui ont la même médiane qui est égale à 5.

Tableau 25 : Comparaison des médianes entre les biscuits A et B

Caractéristique	P
Couleur	0.171
Forme	0.543
Goût	0.275
Odeur	0.742
Arome	1.000
Dureté	0.772
Friabilité	1.000
Croustillance	0.148
Texture générale	0.739
Appréciation globale	0.753

Le tableau n°25 montre que les médianes (notes) ne sont pas statistiquement différentes entre le biscuit A et B pour toutes les caractéristiques, même pour la couleur ; ce qui indique que les dégustateurs n'ont pas préféré de manière claire un biscuit à l'autre.

Tableau 26 : Comparaison des médianes entre les biscuits A et C

Caractéristique	p
Couleur	0.006
Forme	0.352
Goût	1.000
Odeur	0.579
Arome	1.000
Dureté	0.561
Friabilité	0.763
Croustillance	0.886
Texture générale	1.000
Appréciation globale	0.258

Dans le tableau ci-dessus, on remarque une seule différence significative entre la médiane des notes attribuées, et elle concerne la couleur avec un $p=0.006$. Ceci explique les résultats obtenus dans le premier tableau. Le jury n'a pas préféré l'un des deux biscuits, sauf pour la couleur, trouvant le biscuit sans spiruline plus attrayant visuellement.

La spiruline à elle seule ne plaît pas à certains consommateurs qui lui trouvent une odeur forte (**Jourdan, 2006**), sa saveur et sa couleur, ne plaisent pas toujours (**Breton et Emond, 2008**) mais avec aromatisation appropriée, ces consommateurs seront satisfaits

➤ La couleur

L'appréciation de la couleur des biscuits témoins et enrichis en spiruline sont présentés dans la figure 18

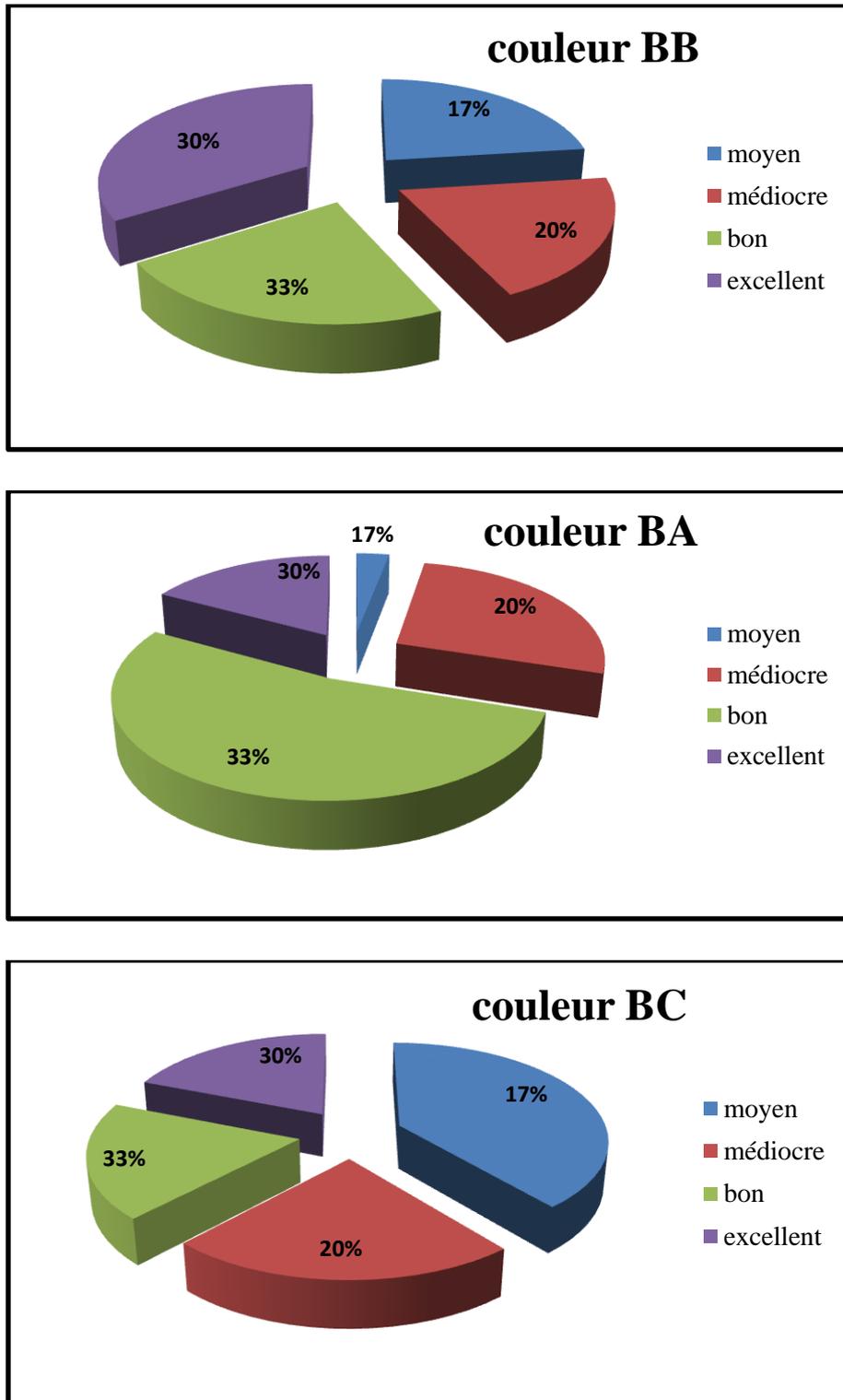


Figure 18: Taux d'acceptabilité de la couleur du biscuit témoin et enrichis en spiruline.

BA ; biscuit témoin (non enrichi en spiruline),BB et BC : biscuits enrichis à 1 % et 2% de spiruline respectivement.

Il ressort de la figure 18 que la couleur du biscuit témoin a été jugée bonne à 33% et excellente à 30%, donc l'acceptabilité de ce paramètre est positive à 63%. Les jurys de

dégustation ont jugé que la couleur des cookies à 1% d'incorporation de spiruline sont bonne à 33 % et excellente a seulement 30%.Ce qui totalise une acceptabilité positive de la couleur à 63%.

Une moyenne acceptabilité de la couleur du biscuit à 2% de spiruline avec 30% et excellente avec 30%.

➤ **Forme :**

Il ressort de la figure19 que la forme du biscuit témoin a été jugée bonne à 67% et excellent avec un pourcentage de 20%, donc l'acceptabilité de ce paramètre est positive à 87%.

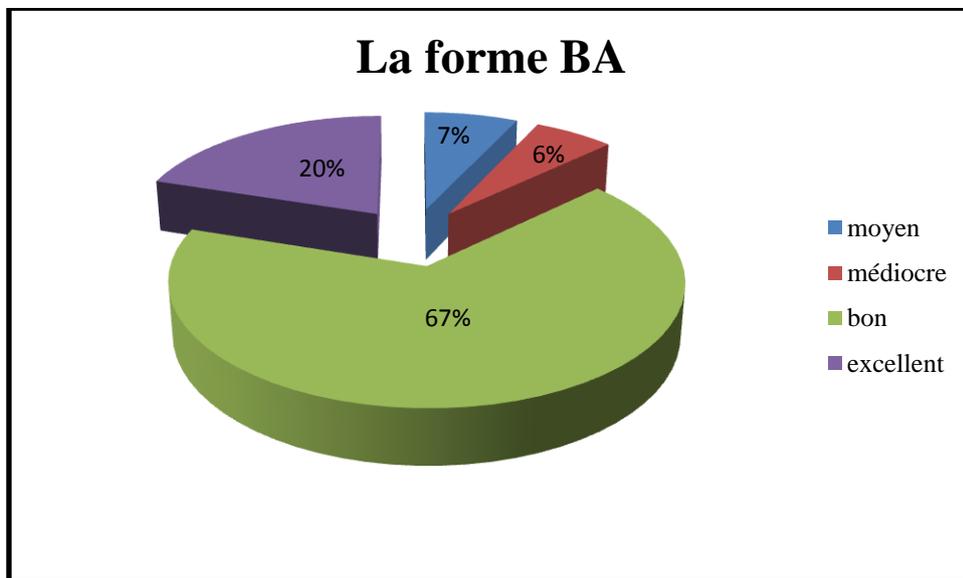


Figure 19 : taux d'acceptabilité de la forme du biscuit témoin.

Taux d'acceptabilité de la forme du biscuit témoin D'après la figure 19 et en ce qui concerne la forme des cookies à 1% d'incorporation de spiruline, nous constatons que le jury de dégustation a jugé la forme bonne à seulement 47% et moyen à 33%. Ce qui totalise une acceptabilité positive de la forme à 80%.

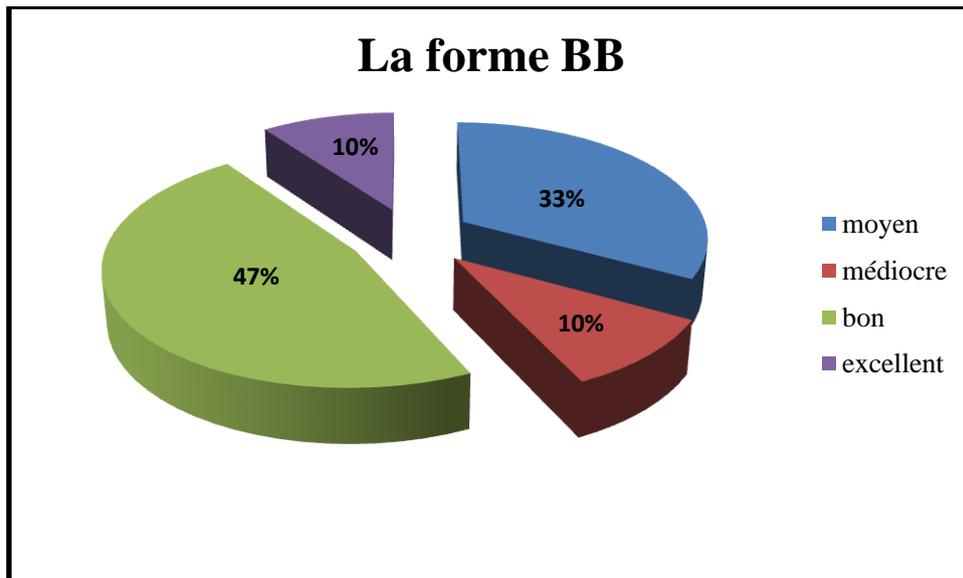


Figure20: Taux d'acceptabilité de la forme du biscuit à 1%

Figure21, une appréciation similaire de la forme des cookies enrichis en 2% de spiruline avec un total de 80% de résultats positifs

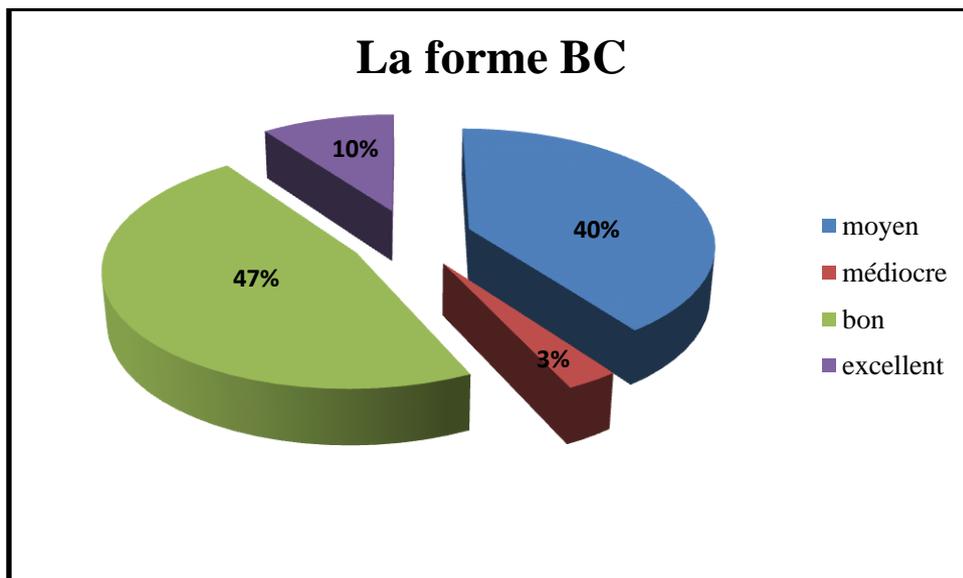


Figure21: Taux d'acceptabilité de la forme du biscuit à 2%

➤ Goût:

Selon les figures 22, et d'après le test de dégustation réalisé, le biscuit témoin est jugé bon avec 40% d'appréciation des jurys. Concernant le biscuit enrichi à 1% de spiruline, il a été jugé moyen par 37% des dégustateurs. Tandis que le biscuit additionné à 2% de spiruline, a été jugé excellent par 30% des dégustateurs. Ce résultat montre que la spiruline n'influence pas considérablement le goût des biscuits.

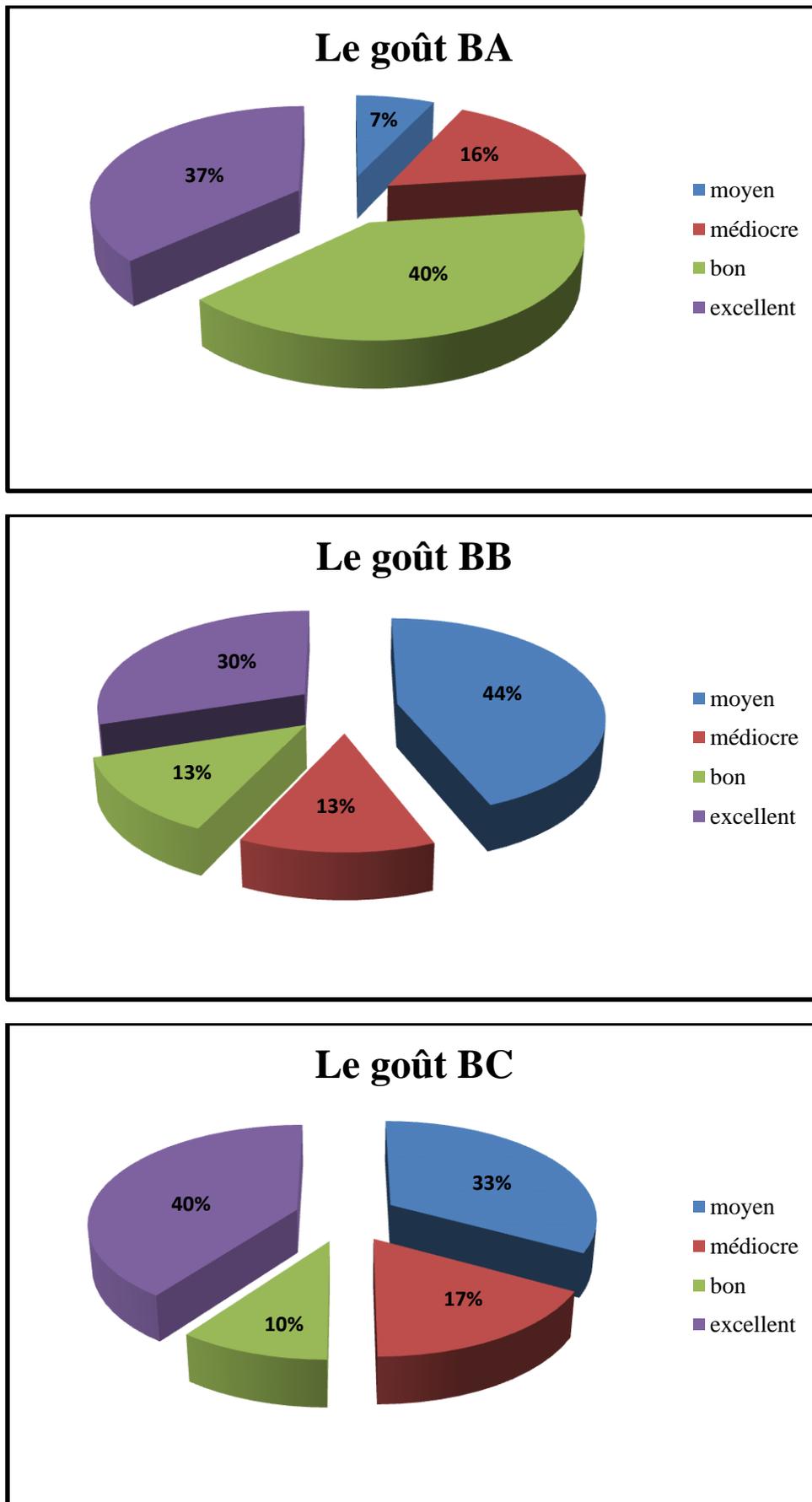
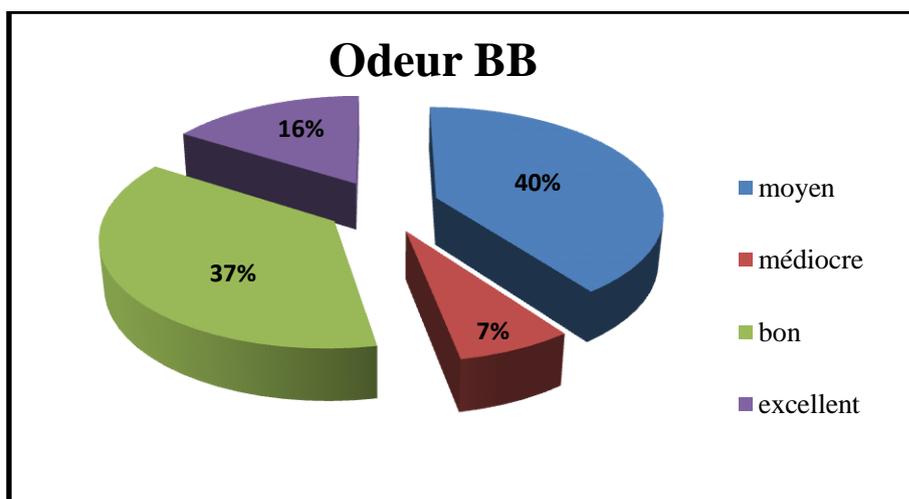
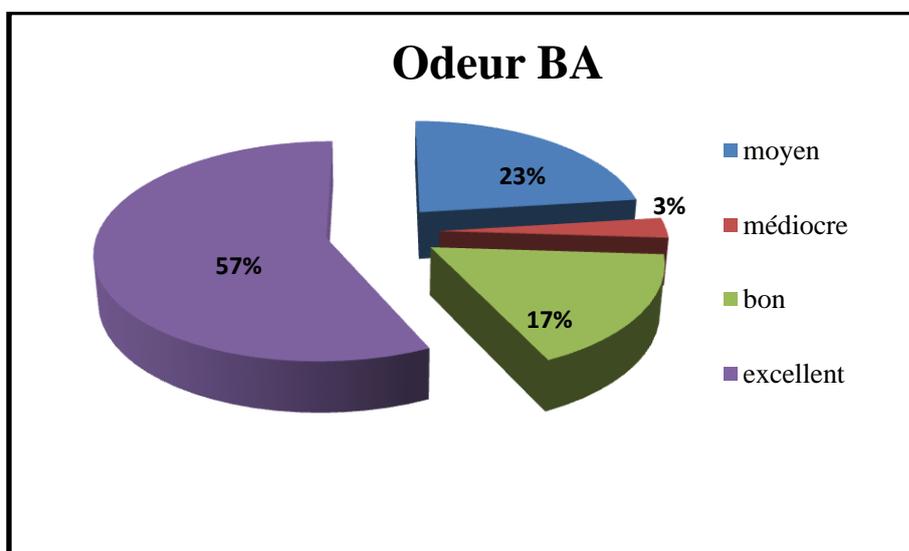


Figure 22 : Taux d'acceptabilité du goût du biscuit témoin et enrichis en spiruline.

➤ Odeur :

L'odeur des biscuits, représentée par un ensemble de composés volatils odorants au niveau de la croûte et de la mie, se forme généralement au niveau de la cuisson. Les figures 22 illustrent l'effet de la spiruline incorporée dans les cookies sur leur odeur. Il ressort de la figure 22 que 57% des dégustateurs ont jugé l'odeur du biscuit témoin comme étant excellente. En effet, ce paramètre est jugé excellent dans le biscuit à 1% d'incorporation de spiruline par 16% du panel, l'odeur du biscuit à 2% de spiruline a été jugé excellent qu'à 34%. Cependant, au regard des résultats positifs obtenus (moyen), il apparaît clairement que l'acceptabilité de l'odeur du biscuit a été jugée positive à 23 %, 40 % et 23% respectivement pour le biscuit témoin, à 1 % et à 2% d'incorporation de spiruline. En effet la présence de cette micro algue n'affecte que peu la qualité de l'odeur des cookies.



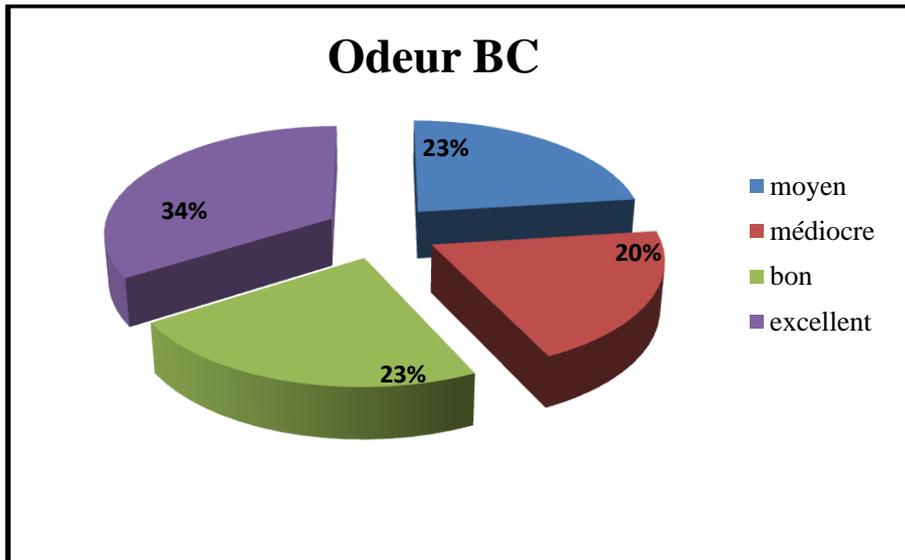
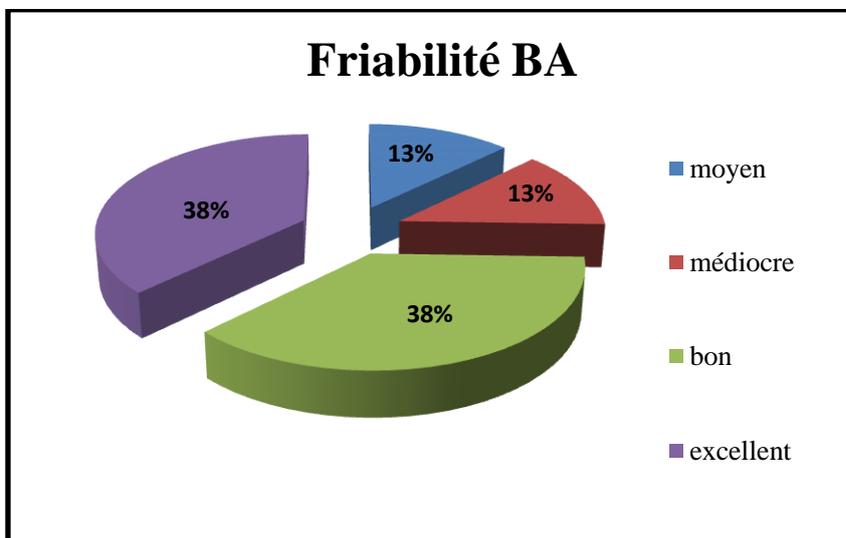


Figure 19: Taux d'acceptabilité de l'odeur du biscuit témoin et enrichi en spiruline.

➤ **Friabilité :**

D'après les résultats des analyses sensorielles effectuées sur les biscuits enrichis par la spiruline à 1% et à 2 % d'incorporations, nous remarquons une perte considérable de la friabilité. Cette dernière est liée directement à l'ajout de la spiruline qui a contribué à la réduction de ce paramètre.



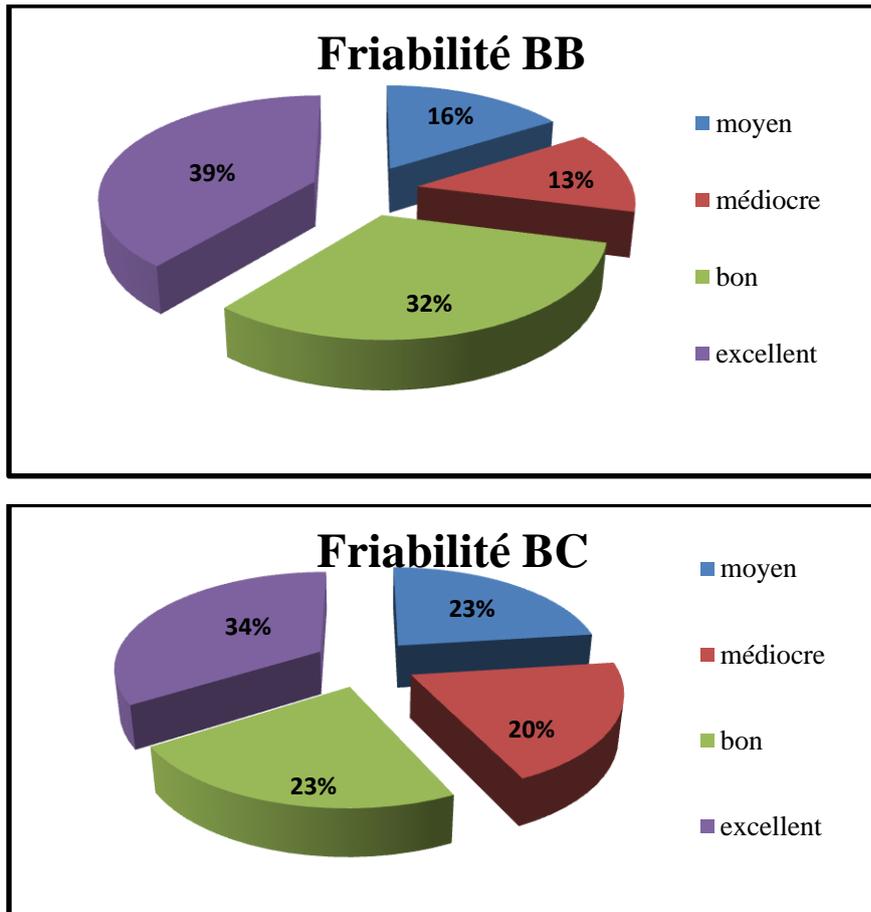


Figure 20: Taux d'acceptabilité de la friabilité du biscuit témoin et enrichis en spiruline.

QUALITE GENERALE DES BISCUITS

Sur la base de tous ces critères, l'analyse de la qualité générale des biscuits a montré une différence considérable entre les biscuits enrichis et témoins. Le biscuit témoin est de bonne qualité organoleptique et il est déjà apprécié par le consommateur algérien et commercialisé par l'entreprise BIMO.

L'appréciation de la qualité globale des biscuits enrichis en spiruline est caractérisée par une modification de la couleur (verte), de saveur (cité la caractéristique correspondante) ainsi que la texture (cité la caractéristique correspondante). Les biscuits se caractérisent particulièrement par l'apparition d'une bonne couleur bleu verte des biscuits enrichis par rapport au biscuit témoin.

L'acceptabilité des biscuits est à 9% pour les 3 biscuits testés, donc ils peuvent être approuvés par rapport à leurs caractéristiques sensorielles puisqu'il est nécessaire que l'indice d'acceptabilité soit au moins 70% pour que le produit soit consommé, en prenant en considération sa valeur marchande (Meilgaard et al., 1999; Santos et al., 2011).

III .5- Caractère physique des biscuits

Les résultats des analyses physiques des biscuits sont représentés dans le **tableau27**.

Tableau27 : Résultats des analyses physiques des biscuits

Caractère physique des biscuits	Résultats		
	BA	BB	BC
La masse (g)	18	19	18
Diamètre (Cm)	7	8	8
Epaisseur (Cm)	0.9	0.9	0.9
Étalement	7.7	8.88	8.88
La surface (cm ²)	38.46	50.24	50.24

BT : biscuit témoin (non enrichi en spiruline), **BA, BB, BC** : biscuits enrichis par, 1, et 2% de spiruline

Selon le **tableau 27** la masse de biscuit témoin et enrichis est presque la même.

Pour l'épaisseur de biscuit témoin et enrichis on a eu les mêmes valeurs

Le diamètre, l'étalement et la surface augmentent avec l'augmentation de l'enrichissement

III .6-Etude économique

En Algérie, le prix de vente d'usine d'un paquet de biscuit (cookies) avec un poids total de 200 g est de 90 DA tous frais compris. Le prix de vente de SP pris comme exemple est de 20000 DA/Kg. Le coût élevé de matières premières la SP constitue un problème que rencontre le produit fini.

Une différence peut être significative des prix des biscuits enrichis en SP en comparaison avec ceux non enrichis est notée. Le coût d'un paquet de biscuit augmente avec l'augmentation de la SP incorporée, 101.3 DA, et 114.6 DA. Cela nous amène à conclure que l'objectif d'obtenir des produits hyper-protéinés à la portée du consommateur algérien est atteint.

Le rapport qualité/prix des biscuits élaborés durant notre étude est nettement supérieur à celui du témoin par rapport à l'apport considérable en protéines inhérent à l'incorporation de la spiruline.

Notons que d'autres produits hypo-protéinés avec un poids inférieur sont plus chers et non disponibles sur le marché algérien par rapport aux biscuits enrichis en spiruline

Conclusion

CONCLUSION

L'objectif général de ce travail est la contribution à l'élaboration d'un biscuit hyperprotéiné par incorporation d'une microalgue marine: *Spirulina platensis*, afin de tirer profit de ses diverses vertus nutritionnelles et thérapeutiques.

A la lumière des résultats obtenus, il y a lieu de souligner les principales conclusions suivantes.

La souche de spiruline étudiée est reconnue pour ses fortes teneurs impressionnantes en protéines, de l'ordre de 65,25 % MS.

Sur le plan énergétique, l'ajout de la spiruline a permis l'obtention d'une valeur énergétique élevée, soit 352,28 Kcal/100g.

Par ailleurs, cette spiruline est caractérisée par ses fortes teneurs en acides aminés essentiels et en minéraux (10,79 % MS), en glucides (20,39%) et en matière grasse (1,08 %).

Ces caractéristiques font d'elle un aliment fonctionnel intéressant dont l'utilisation régulière en industrie agroalimentaire permettra sans aucun doute la formulation de nouveaux produits alimentaires essentiels.

Sur le plan technologique, cette incorporation est effectuée par l'ajout d'une biomasse sèche de spiruline à différentes concentrations, notamment, 1g et 2 g/100 g.

Par ailleurs, différents types d'analyses ont été effectuées tout au long de l'expérience. En effet, des analyses physico-chimiques ont été réalisées sur la spiruline, des analyses technologiques sur la farine de blé tendres entrant dans la composition du biscuit de type cookies avec et sans incorporation de la spiruline, ainsi que la formulation et la caractérisation biochimique, microbiologique et sensorielle de produit fini (cookies).

Les analyses biochimiques effectuées sur les biscuits ont permis de révéler une augmentation considérable de la valeur nutritionnelle, essentiellement, le taux de protéines de 12.74% MS et 13.69% MS respectivement pour les biscuits à 1% et 2% de taux d'enrichissement.

En effet, nos biscuits sont bien appréciés par les jurys de dégustation. Ils se caractérisent par un très bon goût, une bonne couleur, une odeur caractéristique agréable et ce, malgré le goût et l'odeur prononcée et la couleur spécifique de la spiruline.

De plus, le contrôle microbiologique des biscuits préparés a confirmé l'absence totale de microorganismes pathogènes quel que soit le taux de spiruline ajoutée. Cette bonne qualité hygiénique est due aussi au respect des règles d'hygiène dans l'unité de travail.

Le rapport qualité/prix des cookies fabriqués durant notre étude est nettement supérieur à celui du témoin. Cela est lié directement à l'adjonction de la spiruline qui renferme des teneurs très appréciables en protéines conférant aux biscuits leur spécificité d'hyper-protéiné.

En perspective, il serait souhaitable :

- D'étudier et de suivre la qualité biochimique et nutritionnelle des biscuits enrichis en spiruline à des taux plus élevés ;
- De réaliser les tests nécessaires permettant de déterminer le profil en acides aminés et en vitamines de la spiruline.
- De mener une étude sur la composition des produits enrichis par la spiruline en acides aminés et en vitamines.
- D'étudier l'effet de la cuisson sur les produits alimentaires enrichis en spiruline.

Référence bibliographique

A

Antenna Technologies., Malnutrition. Spiruline : quelques bases scientifiques [en ligne]. c2004-2007 [consulté le : 5/11/2006.]. Disponible sur :

B

Banks J., 2007 : Etude de la Spiruline au Palacret, Etudier la Faisabilité de la Mise en Place d'une Filière Spiruline sur le site du Palacret, dans les Côtes d'Armor, Manuel, p 10, 11

Balloni W., Tomasselli S., Giovannetti and Margheri M. C., 1980. Biologia fundamental delgenera Spirulina, in Materassi R. (ed) Prospective dellacoltura di Spirulina in Italia. Consilio Nazionale delle Ricerche, Rome: 49-85

Benahmed djilali adiba(2012) analyse des aptitudes technologiques de poudres de dattes (fhonix-dactylifera) améliorées par la spiruline. Etude des propriétés rhéologiques nutritionnelles et antibactériennes. -Thèse de doctorat université de M'hamedbougaraboumerdes faculté des sciences.

BelayA , (1997) .Mass culture of *spirulina* out doors R the Earth rise Farms experience .In : Vonshak A . Ed *Spirulina platensis* (Arthrospira) :Physiology ,cell-biology and biotechnology. Taylor and Francis .London .pp .131-158

Benoualid K. 1987. Valeur biscuitière des blés tendres point sur les études encours au CTUC. *Ind des céréales*, 45: 17-33.

Briand JF. Robillot C., Quiblier Lloberas C., Bernard C., 2002. A perennial bloom of Plankto thrix gardii (Cyano bacteria) in a shalloweu trophic French lake: limnological and microcystin production studies. *Archive Fur Hydrobiologie* 153: 605-622

Bradbury J., Lobstein T., Lund V. 1996 Functional foods examined. The health daims being made for food products and the need for regulation. London, The Food commission:

Boudouhi. R, Ferreira.C, Morel. E, Szymanski.A , Tizaoui .S 2006 : Projet Aliments Fonctionnels : « Réalité et/ou Allégation

C

Castellini, A., Canavari, M. and Pirazzoli, C. (2002). « Functional Foods in European Union . An Overview of the Sectors Main's Issues », Working Paper WP012-12, Center of International Food and Agricultural Policy, University of Minnesota.

Casal A., 2019 : l'Aliment Idéal et le plus Complet de Demain, Site web, www.spirulinefrance.fr

Careri M , Furlattini L ,Mangia A , Musci M , Anklam E ,Theoblad A ,von Holst C .(2001) .Supercritical fluid extraction for liquid chromatographic determination of carotenoids in *Spirulina Pacifica*algae : achemometricapproach .J .Chromatography A 912/ 61-71.

Chevallier S., Colonna P., Della Valle G. and Lourdinl D. (1999) Structural modifications of biscuit doughs during baking-Role of ingredients. INRA. Paris. Les Colloques : 91 : 191-197.

Chevallier S., Colonna P., Della Valle G., Broyart B. and Trystram G. (2002) Structural and Chemical Modifications of Short Dough During Baking. Journal of Cereal Science. 35: 1-10.

Chorus I et Bartram J, (2010).Toxic *cyano bacteriain* water .a guide to their public health consequences ,monitoring and management , disponible sur :

Chomérat N., Fayolles S., Cazaubon A., 2006. Toxicité non exprimée par la cyanobactérie potentiellement toxique *Planktothrix a gardhii* rencontrée dans un étang saumâtre méditerranéen : prise en compte du risque dans le choix des espèces cultivées à des fins

Cruchot H .2008-La spiruline bilan et perspectives (Thèses de pharmacie).

Cruchot H .2008-La spiruline bilan et perspectives (Thèses de pharmacie).

Colas A. (1998) Définition de la qualité des farines pour les différentes utilisations. In, **Godon B., Willm C.** Les industries de première transformation des céréales. Lavoisier. Tec et Doc/Apria. Paris : 579- 589. 679 p.

nutritives. In Charpy et al. (ed.) International Symposium on Cyanobacteria for Health, Science and Development: 25-26.

D

Doumenge F., Durand-Chastel H., Toulemont A., 1993. Spiruline, algue de vie/ Spirulina, algae of life. Bulletin de l'Institut Océanographique de Monaco ; numéro spécial 12. Monaco : Musée Océanographique .

Doumandji Amel., Boutekrabt Lynda., Saidi Nabil Amar., Doumandji Soumeya,

Dupire J(2011). « la spiruline, un super aliment ».France: Ed. Guy Tredaniel., 196p.

E

Elyah Ariel .2001-2003-quel avenir pour la spiruline .Mémoire bibliographique, Institut National Des Sciences et Techniques de la Mer Montpellier II, 30 P.

Evoli conseil, Dupont D., Souchon I., 2014: Structure des Aliments et Effets Nutritionnels, Edition Quae, RD 10, 78026 Versailles Cedex. P 451

F

Feillet P .(2000).Le grain du blé composition et utilisation .INRA paris p 308.

Federal Register. (1994). Diet supplement health education act (DSHEA). Publi L Washington DC. 103-417.

FlaquetJ ,Hurni JP (2006) Spiruline Aspects Nutritionnels ,Antenna Technologies, Genève .41p

Forum sur les aliments fonctionnels, 1er-2 décembre 1998 Palais de l'Europe Strasbourg, France, organisé par la Division de l'Accord partiel dans le domaine social et de la santé publique P49 : « Introduction aux aliments fonctionnels » par le Professeur Marcel Vanbelle P 61et 63 : « La science des aliments fonctionnels » par le Professeur Marcel B. Roberfroid P170 : « Les aliments fonctionnels : La perspective de l'industrie alimentaire » par le Dr Jean-Michel Antoine, Direction de la Recherche et du Développement de Danone P216 : « Aliments fonctionnels : le point de vue de la Commission des Communautés Européennes » par le Dr Basil Mathiou dakis.

Food and Nutrition Board of the National Academy of Science., 1998: Dietary reference intakes: Proposed definition and plan for review of dietary antioxidants and related compounds. Natl. Acad. Press.

Fox R (2002) Le programme intergouvernemental *Spirulina* pour réduire la malnutrition ,www.spirulina-program.org/isp-b-FR.htm,consulté le 05 septembre 2005.

Fox R et D .(1999) Spiruline technique pratique et promesse .Aix en Provence : Edisud ;1999

G

GallagherE., O'brien C. M., Scannell A. G. M and Arendt E. K. (2003). Evaluation of sugarre placers in short dough biscuit production. Journal of Food Engineering. 56: 261-263.

Gershwin M.E et Belay A,(2008). Spirulina in human nutrition and health ,CRCpress ,312 pp

Girardin-andreani C (2005). « spiruline : système sanguin , système immunitaire et cancer » phytothérapie ,vol3 ,n °4 ,158-161.

Gomez-Coronado D.J.M ; Ibanez E ;Ruperez F.J et Barbas C , (2004).Tocophérol ol mea surement in edible Product of vegetable original ,J .Chromatogr .A V .1054 ,(2004) ,pp 227-233.

H

HamerouchDjazia et HaouariSamiha, 2011. Etude de l'impact de l'incorporation de la spiruline sur les propriétés nutritionnelles, technologiques et organoleptiques du couscous artisanal. Revue « Nature & Technologie ».n° 06/Janvier 2012. Pages 40 à 50.

Hilliam, M. and Young, J. N., 2000: Functional Food Markets Innovation and Prospects – A Global Analysis. Leatherhead Food Research Association, Leatherhead.

Hug C et Von der wedid D (2011). « la spiruline dans la lutte contre la malnutrition : Bilan et perspectives » Ed. Antenna technologiques ,Genève. 30 p

I

IFIC Foundation, 1995: Functional foods: opening the door to better health. Food insight November/December

Antunes MBC., Melo Filho DA., Lyra TM., Barreto V., Azevedo SMFO., Jarvis WR 1998. Liver failure and death following exposure to micro cystintoxinsat a hemodialysis center in Brazil. The New England Journal of Medicine 36: 373-378.

Jochimsen EM., Carmichael WW., An J., Cardo D., Cookson ST., Holmes CEM., Isabelle Iteman., 2004. comm. « Colloque International sur les cyanobactéries pour la Santé, la Science et le Développement » Embiez.

K

:

Kiger J.L Et Kiger J.G.(1968) Techniques modernes de la biscuiterie DUNO ,Paris ,pp .25-33

Kohler J., Hoeg S. 2000. Phytoplanktonselection in a river-lake system during wodeca des of changingnutrientsupply. Hydrobiologia 424: 13-24.

König C., Les algues : première lignée végétale [en ligne]. c06/10/2007. [Consulté le : 5/11/2006]. Disponible sur

L

LoicCharpy , Mari José Langlade et Romain Alliod (2008). La spiruline peut être un atout pour la santé et le développement en Afrique 18 p .Disponible sur

Luquet F.M et Corrieu G (2005). « Bactéries lactiques et probiotiques » Paris :Ed .Tec and Doc ,307 p.

M

MANOHARR. S. and RAO P. H. (1997) Effect of Sugars on the RheologicalCharacteristics of Biscuit Dough and Quality of Biscuits. J. Sci. Food Agric. 75: 383-390.

Manoharr. S. and Raop . H. (1999a) Effects of water on the rheological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits. Springer -Verlag. Eur. Food Res. Technol. 209. 281–285.

Manoharr. S. and Raop. H. (1999b) Effect of emulsifiers, fat level and type on the rheological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits. J. Sci. Food Agric. 79: 1223-1231.

Manoharr. S. and Raop H. (2002) Interrelation shipb et ween rheological characteristics of dough and quality of biscuits; use of elasticrecovery of dough to predict biscuit quality. Food Research International. 35: 807-813.

Manley D. (1998) Biscuits, cookies and crackers manu facturing manuals. CRC, 2000. Wood head publishing limited , Cambridge: 15-20.

Mathlouthi M. C. et Roge B. (s.d.) Les produits de biscuiterie - pâtisserie. Dossier CDUS. Université de Reims. [en ligne] (consulté le 13-03-2006). 5 p

Manoharr. S. and Raop H. (1999a) Effects of water on the rheological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits. Springer -Verlag. Eur. Food Res. Technol. 209. 281–285.

Manoharr. S. and Raop H. (1999b) Effect of emulsifiers, fat level and type on the rhéological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits. J. Sci. Food Agric. 79: 1223-1231.

Maache-Ressoug Z.,, Bouvier J. M., Allef K. and Patrasc. (1998 a)Effect of Principal Ingredients on Rheological Behavior of Biscuit Dough and on Quality of Biscuits. Journal of Food Engineering. 35: 23-42.

Maache-Ressoug Z., Allaf K., Bouvier J. M. et Tayeb J. (1998 c) Relation entre caractéristiques physiques et propriétés rhéologiques de la farine et de la pâte. Sciences des aliments. 18 : 267-281.

Manoharr. S. and Raop. H. (2002) Interrelationship between rheological characteristics of dough and quality of biscuits; use of elastic recovery of dough to predict biscuit quality. Food Research International. 35 : 807-813.

Merceron M. Les bactéries photosynthétiques productrices d'oxygène [en ligne] c2006. [Consulté le : 15/12/2006]. Disponible sur :

Menrad, K. (2003). « Market and Marketing Functional Foods in Europe », *Journal of Food Engineering*, 56 (), 181-188.

Menard G., Emond S., Segin R., Boldec R, Boudreau A., Marcouc D Painchaud M. et Poirier D. (1992) La biscuiterie industrielle. *In,*

Menard G .Boudreau A.,. (1992). Le blé : éléments fondamentaux et transformation. Les presses de l'université Laval. Sainte-Foy. Canada : 287- 348. 439 p.

Mohtedji-Lambalais (1989) .les aliments .Editions Maloine .Paris .203 p -Muhling M ;Harris N ;Belay A et Whitton B ,(2003).Reversal of helix orientation in the cyanobacterium *Arthrospira* .1.phycol.39 :pp 360-367.

O

Objectif Sciences., Les spirulines pour la science, la santé et le développement [en ligne]. [Consulté le : 6/11/2006]. Disponible sur : <http://asso.objectif-sciences.com/Fiche-Pedagogique-Les-spirulines-pour-la-sciencelasante-html>

P

Pierlovisi C (2008) . « La spiruline et le développement » Ed BermiaranaV , Vicente N ,Riva A .

Prati M., Moltenib M., Pomatia F., Rossetti C., Bernardinia G., 2001. Biologiceffect of the *Planktothrix*sp. FP1 cyanobacteriaextract. *Toxicon* 40(3) : 267-272.

R

Riemersma R. A., 1996: A fat littleeaner. *Lancet*, 347: 775-776

S

Sabelle Tabutin., Pierre-Yves Gouesin et Pierre Mollo, 2002. La spiruline contre la malnutrition ». (Maduraï - Inde) Avril 2002. Page ; 11 ; 14 ; 12 ; 13 ; 19 ; 20.

Sall M.G ; Dankoko B ;Badiane M ;Ehuac et Kuakiwi N ,(1999) . « Résultats d'un essai de réhabilitation nutritionnelle avec la spiruline à Dakar (à propre de 59 cas) » .Médecine d'Afrique Noire ,V .46 , n°3 , 143-146.

Selselet-attou G (1991) Technologie des céréales et produits dérivés. Institut de Technologie Agricole-Mostaganem. Document à l'usage des étudiants, option : Technologie Agro-Alimentaire. 147 p.

SgueraS ,(2008). *Spirulina platensis* et ses constituants intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques .Thèse pour l'obtention du diplôme docteur en pharmacie .université Henri Poincare –Nancy 1,p 163.

Sodelac., 2000. Etude de préfaisabilité du développement de la production de spirulines. République du Tchad. Ministère de l'Agriculture. TractebelConsult (Belgique). Financement : Fond Africain de Développement. Contrat N 003/SODELA C/99.

Stady of mixing in Connectionwith the RheologicalProperties of Biscuit Dough and DimensionalCharacteristics of Biscuits. Journal of Food Engineering. 35: 43-56.

Stauffer Clyde E .,(2004). La protéine de soja en boulangerie .Editer et traduit par American Soyabean Association europe et maghrebe ,n °01.pp3-32

Sudha M.L., Vetrmani R., Leelavathi K. 2007 b. Influence of fiber from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food chemistry*, 100:1365-1370

T

Tabutin I .,Gouesin J.Y rt Mollo P (2002) .(La spiruline contre la mal nutrition).Ed.Antenna trust ,27 p

Tabutin I .,Gouesin J.Y rt Mollo P (2002) .(La spiruline contre la mal nutrition).Ed.Antenna trust ,27 p

Talamalil., La libération du marché des céréales en Algérie office algérien interprofessionnel des céréales OAIC Acte du premier symposium internationale sur la Filière blé, Alger, Algérie, (2000), P.11- 18

Tharrault J. F. (1997) Qualité biscuitière des farines de blé tender: des blés biscuitiers pour une bonne maîtrise de la texture des biscuits. *In*, GODON B. et LOISEL W. Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Lavoisier. Tec. et doc. Paris. 819 p.

Tremblin G., Moreau B., 2017 : La Spiruline sera-t-elle l'Aliment Miracle du XXIème siècle ? Article, Le Mans Université.Eur J Nutr., V. 39, n°1, (2000),7-11. Université Saad DAHLAB-Blida

V

Vidalo J.L.,2015: Spiruline, l'algue bleue des antécédents de prévention,Livre,Chapitre3 / Cancer et Spiruline, p 101, Chapitre 16 / Universelle spiruline. A chacun son profil p.240.

W

Weststrate J. A., Van Poppel, G. and Verschuren, P. M., 2002: « Functional Foods, Trends and Future », British Journal of Nutrition, 88 (suppl. 2), S233-S235

Z

Zarrouk C., 1966. Contribution à l'étude d'une cyanophycée: influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima* (Setchell et Gardner) GeitlerThèse Doctorat Faculté des Sciences. Université de Paris.