

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE -BLIDA-

FACULTE DES SCIENCE AGRO-VETERINAIRES  
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

## Caractérisation nutritionnelle d'une cyanobactérie : La Spiruline

Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme  
De Master Académique en Sciences de la nature et de la vie  
Filière : Science alimentaire  
Option : Nutrition et contrôle des aliments

Présentée par :

**M<sup>elle</sup> HAOUARI SAMIHA**

Devant:

|                               |                         |      |                    |
|-------------------------------|-------------------------|------|--------------------|
| M <sup>me</sup> L. BOUTEKRABT | Maître de conférences B | USDB | Présidente de jury |
| M <sup>me</sup> A. DOUMANDJI  | Maître de conférences A | USDB | Promotrice         |
| M <sup>me</sup> H. ACHEHAB    | Maître assistante A     | USDB | Examinatrice       |
| M <sup>me</sup> Z. ABDELLAOUI | Maître assistante A     | USDB | Examinatrice       |

ANNEE UNIVERSITAIRE: 2011-2012

## Remerciements

Toute ma gratitude, grâce et remerciements au bon Dieu, qui ma donné la force, le courage et la volonté d'élaborer ce travail.

Une seule idée : 'Il faut vouloir pour pouvoir'

Je tiens à remercier sincèrement,

**M<sup>me</sup> A. Doumandji**, pour son encadrement, sa patience et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'a bien voulu je consacrer

**M<sup>me</sup> boutakrabte** qui ma honoré de sa présidence

et aux examinateurs **M<sup>me</sup> Abde Ilaoui et M<sup>me</sup> Achehab**

Un grande merci à,

- ✓ Mr le directeur des études de « INSFPIAA » Sidi Abdelkader du Blida
- ✓ Mr okride le responsable de laboratoire de la fromagerie « Berbère »
- ✓ Tous les responsables de laboratoire PILAB du Blida

Pour leur générosité et leur grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

J'exprime une gratitude à tous les consultants et internautes rencontrés lors des recherches effectuées et qui ont accepté de répondre à mes questions avec gentillesse, essentiellement Mr kadri ,Mr ben omari,Mr bouzouija et Mme samia.

Enfin, mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qu'ils sont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

## Dédicaces

Je dédie ce modeste travail avant tout particulièrement adresser mes chaleureux remerciements à mes parents qui ont contribué à ma réussite le long de mon existences.

- ✓ A mes frères et sœurs : Hamza, Ishak , Bachira et Kenza
- ✓ A mon petit neuf Wail

Vous vous êtes dépensés pour moi sans compter, en reconnaissance de tous les sacrifices consentis par tous pour me permettre d'atteindre cette étape de ma vie,

Je vous Dédie ce mémoire en guise d'amour que je vous porte.

- ✓ Ames très chères amis :Djazia , Ahlem, Sarra
- ✓ A mes Belles-Sœurs, Soumia, Thouraya
- ✓ A mon beau-frère, Aboubeker

En fin, sincère gratitude, a tous ceux qui m'ont aidé de pré ou loin.

SAMIHA

### Résumé

Les pathologies les plus graves et les plus fréquentes liées aux carences alimentaires. Ce problème peut être évité par l'utilisation de la Spiruline qui est une cyanobactérie très riche en nutriments nécessaire notamment pour les enfants et les autres groupes de personnes vulnérables par leur distribution dans les aliments enrichis, traditionnellement consommée depuis des siècles par certaines populations. **(Farrar, 1966).**

Il est admis que la Spiruline ne remplace pas les aliments caloriques tels que le riz, le blé, la pomme de terre ou le maïs ; en revanche c'est une source idéale de protéines qui apporte en plus de nombreux autres éléments très favorables à la bonne santé de tous, notamment celle des enfants.

Ce travail permet d'apprécier l'importance nutritionnelle de la souche locale (Spiruline Htam) par la détermination de la potentialité nutritionnelle, le dosage des pigments majeurs et par des analyses micro-bactériologique indiquant la salubrité de cette dernière.

Les résultats obtenus lors de cette étude montrent une richesse nutritionnelle très importante de la Spiruline avec des fortes teneurs en protéines atteignant les 64.43%, des glucides avec 24% ; ainsi une teneur de 14% de la matière grasse, de même pour les pigments avec 15.82% pour la chlorophylle et 8.99mg /g pour les caroténoïdes. L'acceptabilité de ces derniers permet la consommation d'un aliment sain, riche et bénéfique pour le corps humain en ajustant au mieux l'équilibre alimentaire par l'acquisition de nouvelles habitudes culinaires.

**Mots clés :** cyanobactéries; Spiruline; Valeur nutritionnelle ;

### Abstract

The diseases most serious and most frequently associated with nutritional deficiencies due to poor nutrition and malnutrition are not providing all the elements necessary for health. This problem can be avoided by the use of Spirulina is a cyanobacterium rich in nutrients needed especially for children and other vulnerable groups by their distribution in fortified foods traditionally eaten for centuries by some populations(**Farrar, 1966**).

It is recognized that Spirulina does not replace calorie foods such as rice, wheat, potato or corn, however it is an ideal source of protein that brings in many more other very favorable to good health for all, especially children. This work allows us to appreciate the nutritional importance of the local strain (Spirulina Htam) by determining the nutritional potency, the dosage of major pigments and micro-bacteriological analysis indicating the safety of the latter.

The results obtained in this study show a very high nutritional value of Spirulina with high protein levels reaching 64.43%, carbohydrate 24%, and a content of 14% fat, and for pigments with 15.82 %for chlorophyll and carotenoids 8.99mg /g for. The acceptability of the latter allows the consumption of a healthy food, rich and beneficial to the human body by adjusting the best nutritional balance by learning new culinary habits.

**Keywords:** cyanobacteria, Spirulina, Nutritional Value;

## المنخص

- أخطر الأمراض، والذي غالبا ما يقترن نقص التغذية بسبب سوء التغذية وسوء التغذية يوفر جميع العناصر الضرورية للصحة. ويمكن تجنب هذه المشكلة عن طريق استخدام السبيرولين هي غنية بالعناصر الغذائية اللازمة وخاصة بالنسبة للأطفال وغيرهم من الفئات الضعيفة من قبل توزيعها في الأطعمة المحصنة كانت تؤكل لعدة قرون من قبل بعض السكان

- فمن المسلم به أن السبيرولين لا يحل محل الأطعمة ذات السعرات الحرارية مثل الأرز و البطاطا والقمح والذرة، ولأنه هو مصدر مثالي للبروتين الذي يلائم الصحة الجيدة للجميع، ولا سيما الأطفال.  
- هذا العمل يتيح لنا أن نقدر الأهمية الغذائية للسلالة المحلية (سبيرولين) من خلال تحديد قوة غذائية لك بمختلف التحاليل الكيميائية و البكتريولوجية التي نل على سلامة هذا الأخير.  
النتائج التي حصلنا عليها في هذه الدراسة تظهر قيمة عالية جدا للسبيرولين الغذائية للبروتين تصل

إلى 64,43%، 24% من الكربوهيدرات 14% دهون والمواد الملونة مع 15.82% للكوروفيل(الصبغة الخضراء) و 8.99 mg/g الكاريتنويد

هذا الأخير(السبيرولين) يعطينا غذاء صحي، غني ومفيد لجسم الإنسان ذات جودة وتكنولوجيا مفيدة للاستهلاك الصحي.لنسمح بعد ذلك تحقيق التوازن الغذائي.

كلمات المفتاح: البكتيريا الزرقاء، السبيرولين . القيمة الغذائية

## Table des matières

Résumé

Liste des Abréviations

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Introduction.....2

❖ Objectifs.....3

### PARTIE I – ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

#### CHAPITRE : La spiruline

I.1 Généralité sur la spiruline.....7

I.2.Historique de la spiruline .....7

I.3. Place de la Spiruline pour lutter contre la malnutrition.....9

I.4. Répartition géographique.....10

➤ En Afrique.....10

➤ Au Niger .....10

➤ Au Burkina Faso .....10

➤ A Madagascar .....11

➤ En Algérie.....11

I.5 La Spiruline d'un point de vue scientifique.....12

I.5. 1 Eléments de biologie de la Spiruline.....12

➤ Taxonomie.....12

➤ Morphologie et caractères généraux.....13

➤ Cycle biologique.....14

I.5.2.Conditions physiques et chimiques de croissance.....14

➤ pH optimum.....15

|        |  |    |
|--------|--|----|
| ➤      | Mesure de potentiel d'hydrogène sur la spiruline séchée..... | 15 |
| I.5.3. | Composition chimique de la Spiruline.....                    | 16 |
| I.6    | Importance nutritionnelle de la Spiruline.....               | 17 |
| I.6.1  | Les protéines.....   | 18 |
| I.6.2  | Les glucides.....  | 21 |
| •      | Glucides simples et polyols à petites molécules.....         | 21 |
| •      | Glucosanes aminés et Rhamnosannes aminés.....                | 21 |
| •      | Cyclitols.....   | 21 |
| •      | Glucides des parois cellulaires.....                         | 22 |
| •      | Polysaccharides sulfatés.....                                | 22 |
| •      | Immulina.....  | 23 |
| I.6.3  | Les lipides.....   | 23 |
| •      | Fraction saponifiable.....                                   | 23 |
| •      | La fraction insaponifiable.....                              | 25 |
| I.6.4  | Les acides nucléiques.....                                   | 25 |
| I.6.5  | Les minéraux et oligoéléments.....                           | 26 |
| •      | Calcium.....   | 26 |
| •      | Phosphore.....   | 26 |
| •      | Magnésium.....   | 26 |
| •      | Fer.....   | 27 |
| •      | Zinc.....  | 27 |
| •      | Potassium.....   | 27 |
| •      | Sélénium.....  | 27 |
| •      | L'iode.....  | 27 |
| I.6.6  | Les vitamines.....   | 27 |
| •      | Vitamine B12.....  | 28 |
| •      | Vitamine E.....  | 29 |
| •      | Vitamine A.....  | 29 |
| •      |  |    |
| I.6.7  | Les pigments.....  | 30 |



|   |    |
|---|----|
| • Les caroténoïdes.....   | 30 |
| • La chlorophylle.....  | 30 |
| • La phycocyanine.....  | 30 |
| I.6.8 Les enzymes.....  | 31 |
| I.7.La production de la spiruline.....                                      | 32 |
| I.7.1 Mode de production artisanale.....                                    | 33 |
| • Le démarrage d'une culture.....   | 33 |
| • Récolte et extrusion.....   | 34 |
| • Séchage et conditionnement.....   | 34 |
| I.7.2 Production semi-industrielle et industrielle.....                     | 35 |
| • Séchoir solaire modèle "Bangui".....                                      | 35 |
| • Séchoir solaire à gaz.....  | 35 |
| • Séchoir solaire à chauffage indirect .....                                | 36 |
| I.8.Le dosage de la spiruline.....  | 36 |
| I.9.L'assimilation de la spiruline.....                                     | 36 |
| I.10.Bienfaits de la spiruline (Avantages à consommer de la spiruline)..... | 36 |
| I.10.1 Usage humain.....  | 36 |
| ➤ Biomasses fraiche.....  | 37 |
| ➤ Spiruline cuite.....  | 40 |
| I.10.2 Usage animale.....   | 41 |
| I.10.3 Autres utilisations.....   | 42 |
| I.11. Effets indésirables (effets secondaires) de la spiruline.....         | 42 |
| I.11.1 Toxines des cyanobactéries.....                                      | 43 |
| I.11.2 Contamination par micro-organismes.....                              | 44 |
| I.12. Prix de vente .....   | 45 |

## PARTIE II – ETUDE EXPERIMENTALE

### CHAPITRE I Matériel et Méthodes

|   |    |
|---|----|
| I.1. Matériel biologique.....   | 49 |
| ➤ Microorganisme.....   | 49 |
| I.2. Méthodes d'analyses microbiologiques de la spiruline séchée..... | 49 |
| • Préparation des dilutions des produits solides.....                 | 49 |
| • Dilutions décimales .....   | 49 |
| a. Recherche et dénombrement des germes totaux à 30°C.....            | 50 |
| b. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux.....     | 50 |
| c. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux.....            | 50 |
| d. Recherche et dénombrement des anaérobies sulfite –réducteur.....   | 50 |
| e. Recherche et dénombrements des staphylocoques.....                 | 51 |
| f. Recherche et dénombrement des levures et des moisissures.....      | 51 |
| I.3. Méthodes d'analyses nutritionnelles de la spiruline séchée.....  | 52 |
| a. Détermination de la teneur en humidité.....                        | 52 |
| b.Détermination du taux des cendres totales.....                      | 52 |
| ➤ Principe.....   | 52 |
| ➤ Mode opératoire.....  | 52 |
| c .Méthode de dosage de l'azote.....                                  | 53 |
| ✦ Minéralisation.....   | 53 |
| ✦ Distillation.....   | 53 |
| ✦ Titration.....  | 53 |
| ➤ Mode opératoire.....  | 53 |
| ✦ Digestion ou minéralisation de l'échantillon.....                   | 53 |
| ✦ Distillation de l'ammoniac.....                                     | 53 |
| ✦ Titration de l'ammoniac.....  | 54 |
| ➤ Expression des résultats.....                                       | 54 |
| d. Teneur en glucides.....  | 54 |
| e. Détermination de la teneur en matière grasse.....                  | 55 |
| ➤ Principe.....   | 55 |
| ➤ Mode opératoire.....  | 55 |
| f .Teneur en chlorophylles et en caroténoïdes.....                    | 56 |
| I.4.Mesure de potentiel d'hydrogène .....                             | 56 |

## CHAPITRE II Résultats et Discussions

|  |    |
|--|----|
| II.1 Mesure des paramètres microbiologiques.....   | 58 |
| a) Résultats des analyses microbiologiques des germes aérobies mésophiles totaux.....                    | 58 |
| b) Résultats des analyses microbiologiques des coliformes totaux et fécaux.....                          | 58 |
| c) Résultats des analyses microbiologiques des <i>Streptocoques fécaux</i> .....                         | 59 |
| d) Résultats des analyses microbiologiques des anaérobies sulfito-réducteurs ( <i>Clostridium</i> )..... | 59 |
| e) Résultats des analyses microbiologiques des <i>Staphylococcus aureus</i> .....                        | 60 |
| f) Résultats des analyses microbiologiques des levures et moisissures.....                               | 61 |
| II.2 Mesure des paramètres nutritionnels de la Spiruline séchée .....                                    | 63 |
| a) Résultats des analyses de la teneur en eau .....  | 63 |
| b) Résultats des analyses des taux des cendres mesuré par matière Sèche (%MS).....                       | 64 |
| c) Estimation de la quantité des protéines.....  | 65 |
| d) Estimation de la quantité des glucides.....   | 66 |
| e) Détermination du taux de matière grasse.....  | 67 |
| f) Teneur en chlorophylles et caroténoïdes de la spiruline séché.....                                    | 68 |
| g) Résultat de test du pH.....   | 70 |

### Conclusion

### Références bibliographiques

### Annexes

# Sommaire

## Liste des Abréviations

## Liste de Figures

## Liste des Tableaux

|                   |   |
|-------------------|---|
| Introduction..... | 2 |
| ❖ Objectifs.....  | 3 |

## PARTIE I – ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

|  |    |
|--|----|
| I.1 Généralité sur la spiruline.....                               | 7  |
| I.2.Historique de la spiruline.....                                | 7  |
| I.3. Place de la Spiruline pour lutter contre la malnutrition..... | 9  |
| I.4. Répartition géographique.....                                 | 10 |
| I.5 La Spiruline d'un point de vue scientifique.....               | 12 |
| I.5.1 Eléments de biologie de la Spiruline.....                    | 12 |
| I.5.2.Conditions physiques et chimiques de croissance.....         | 14 |
| I.5.3.Composition chimique de la Spiruline.....                    | 16 |
| I.6 Importance nutritionnelle de la Spiruline.....                 | 17 |
| I.6.1 Les protéines.....   | 18 |
| I.6.2 Les glucides.....  | 21 |
| I.6.3 Les lipides.....   | 23 |
| I.6.4 Les acides nucléiques.....                                   | 25 |
| I.6.5 Les minéraux et oligoéléments.....                           | 26 |
| I.6.6 Les vitamines.....   | 27 |
| I.6.7 Les pigments.....  | 30 |

|   |    |
|---|----|
| I.6.8 Les enzymes.....  | 31 |
| I.7.La production de la spiruline.....                                      | 32 |
| I.7.1 Mode de production artisanale.....                                    | 33 |
| I.7.2 Production semi-industrielle et industrielle.....                     | 35 |
| I.8.Le dosage de la spiruline.....  | 36 |
| I.9.L'assimilation de la spiruline.....                                     | 36 |
| I.10.Bienfaits de la spiruline (Avantages à consommer de la spiruline)..... | 36 |
| I.10.1 Usage humain.....  | 36 |
| I.10.2 Usage animale.....   | 41 |
| I.10.3 Autres utilisations.....   | 42 |
| I.11. Effets indésirables (effets secondaires) de la spiruline.....         | 42 |
| I.11.1 Toxines des cyanobactéries.....                                      | 43 |
| I.11.2 Contamination par micro-organismes.....                              | 44 |
| I.12. Prix de vente .....   | 45 |

## **PARTIE II – ETUDE EXPERIMENTALE**

### **CHAPITRE I Matériel et Méthodes**

|  |    |
|--|----|
| I.1 Matériel biologique.....   | 49 |
| I.2. Méthodes d'analyses microbiologiques de la spiruline séchée ..... | 49 |
| I.3. Méthodes d'analyses nutritionnelles de la spiruline séchée.....   | 52 |
| I.4.Mesure de potentiel d'hydrogène.....                               | 56 |

### **CHAPITRE II Résultats et Discussions**

|  |    |
|--|----|
| II.1 Mesure des paramètres microbiologiques.....                     | 58 |
| II.2 Mesure des paramètres nutritionnels de la Spiruline séchée..... | 63 |

### **Conclusion**

### **Références bibliographiques**

### **Annexes**



## Liste des Tableaux

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Tableau 01 | la systématique de la spiruline .....   | 12 |
| Tableau 02 | Composition nutritionnelle pour 100g de la spiruline.....   | 18 |
| Tableau 03 | Pourcentage moyen des acides aminés de la <i>Spirulina platensis</i> selon différents auteurs et de la <i>Spirulina mexican</i> ..... | 19 |
| Tableau 04 | Composition typique en pourcentage des principaux acides gras de 3 espèces de la spiruline.....                                       | 24 |
| Tableau 05 | Composition en minéraux de la Spiruline cultivée en µg/g de sa matière sèche .....  | 26 |
| Tableau 06 | Teneur en vitamines en µg/g de matière sèche de spiruline.....  | 28 |
| Tableau 07 | Teneurs en pigments exprimées en mg pour 10g de matière sèche de <i>Spirulina platensis</i> .....                                     | 31 |
| Tableau 08 | L'ensemble des bactéries contaminants de la spiruline frais ou sec.....   | 45 |
| Tableau 09 | Résultats des germes aérobies mésophiles totaux.....  | 58 |
| Tableau 10 | Résultats des coliformes totaux et fécaux.....  | 59 |
| Tableau 11 | Résultats des Streptocoques fécaux .....  | 59 |
| Tableau 12 | Résultats des anaérobies sulfito-réducteurs ( <i>Clostridium</i> ).....   | 60 |
| Tableau 13 | Résultats des <i>Staphylococcus aureus</i> .....  | 60 |
| Tableau 14 | Résultats des levures et moisissure.....  | 61 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tableau 15 | pourcentage d'humidité mesuré par matière sèche (%MS)..... | 63 |
| Tableau 16 | teneur en cendres de la spiruline séché en (%MS).....      | 65 |
| Tableau 17 | Teneur en protéines dans la spiruline étudiée.....         | 66 |
| Tableau 18 | Teneur en glucides (%MS).....                              | 67 |
| Tableau 19 | dosage de matière grasse dans la spiruline séché .....     | 68 |
| Tableau 20 | taux des pigments dans la spiruline étudiée.....           | 69 |



## Liste des Figures

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figure 01 | Différentes formes de la spiruline.....        | 13 |
| Figure 02 | Cycle biologique de la spiruline.....          | 14 |
| Figure 03 | Exemples de bassins de culture.....            | 33 |
| Figure 04 | Différentes formes de la spiruline séchée..... | 40 |

## Liste des abréviations

**%** : Pourcentage.

**ADN** : acides di nucléique.

**AFNOR** : Association Française de Normalisation

**AGPI** : Acides gras polyinsaturés

**AJR** : Apports journaliers recommandés

**AMM** : Autorisation de Mise sur le Marché

**ARN** : Acides ribonucléiques

**ASR** : Spores des Anaérobies Sulfito-réducteurs

**BMAA**: Beta-Nmethylamino-L-alanine

**C.** : Cuillère

**C°** : Degrés Celsius

**Ca**: Calcium

**CO<sub>2</sub>** : L'Oxyde de carbone

**CRDS** : Centre régionale pour le développement de la santé.

**CREN** : Centre de Récupération Nutritionnelle.

**DM** : Dilution Mère

**Etc.** : Ex étira

**FAO** : Food Agriculture Organisation

**g/j** : Gramme/jour

**G**: Gramme

**GAMT** : Germes des Aérobie Mésophiles Totaux

**h**: heures.

**HTam** : Spiruline Algérienne, référence à Mr Hiri (initiateur de production de Spiruline en Algérie) et à la région de Tamanrasset.

**ISO** : International Standard Organisation

**Kg**: Kilogramme

**M.S** : Matière sèche.

**m<sup>2</sup>** : mètre carré

**mg** : Milligramme

**ML** : millilitre

**mm** : Millimètre

**NA** : Norme Algérienne.

**ND** : Non déterminé

**NF** : Norme française

**NI** : Normes International.

**O<sub>2</sub>** : L'Oxygène

**OMS** : Organisation mondiale de santé

**ONG**: Organisation Nationale (Antenna Technologie France, Technap et Code gaz)

**PE**: Prise d'Essai.

**pH** : potentiel d'Hydrogène

**Tc** : Taux de cendre

**Tr/mn** : Tour par minute.

**ug/g** : micro gramme/gramme

**VIH** : Anti Rétroviraux

# INTRODUCTION

### Introduction

La malnutrition est définie comme un état pathologique dû à l'usage prolongé d'une nourriture ne fournissant pas l'ensemble des éléments nécessaires à la santé touchant l'ensemble de la planète. Elle se manifeste plutôt par des surcharges pondérales dans les pays développés et par des retards de croissance dans les pays en voie de développement.

Dans les pays en développement (PED), les carences en micronutriments sont principalement liées au faible contenu et/ou la faible biodisponibilité des micronutriments des régimes alimentaires. Elles représentent un problème de santé publique aux conséquences physiologiques et économiques non négligeable

Les principales carences identifiées concernent les carences en iode, en fer et en vitamine A, mais d'autres carences comme la carence en zinc, en vitamine B12, en riboflavine et en acide folique coexistent probablement même si leur existence est importante. La carence en fer touche près de 3,5 milliards de personnes à travers le monde principalement les femmes à partir de l'adolescence, les nourrissons et les jeunes enfants. La carence en vitamine A concerne environ 127 millions d'enfants d'âge préscolaire dont 4,4 millions présentent des signes de xérophtalmie (affection des yeux se traduisant par un assèchement de la conjonctive et de la cornée et évoluant vers la cécité en l'absence de traitement) et près de 20 millions de femmes enceintes, avec 25-35% des cas recensés en Afrique. La carence en iode concernerait environ 2 milliards de personnes avec près de 740 millions de goitreux et près de 27% de la population mondiale présenteraient une consommation inadéquate en zinc. Dans les PED, ces différentes carences sont rarement isolées et souvent additionnelles.

Les pathologies les plus graves et les plus fréquentes liées aux carences alimentaires sont la kwashiorkor (troubles physiques : visage pâle et bouffi, œdèmes des membres,...) et le Marasme (succession d'infections et de diarrhées). Environ 20 millions d'enfants entre 1 et 5 ans seraient atteints dans le monde. D'autres pathologies se manifestent dont l'anémie due aux carences en fer, responsable de 20% des décès maternels dans sa forme la plus sévère, la cécité due aux carences en vitamine A, le retard intellectuel dû au manque d'iode, les problèmes de croissance dont le rachitisme dus aux carences en iode et zinc. **(Charpy et al.,2008)**

Selon l'**OMS** et l'**UNICEF**, un enfant sur trois en Afrique et un enfant sur cinq en Asie souffrent de la malnutrition. Ils sont, la plupart du temps, victimes d'un manque de vitamines et autres micronutriments qui peuvent provoquer des conséquences irréversibles s'ils ne sont pas pris en charge suffisamment tôt. La période la plus sensible est celle de 6 mois à 3 ans, classe d'âge où les besoins pour la croissance sont les plus importants. Douze millions d'enfants meurent chaque année. Ces carences alimentaires peuvent être quantitatives (sous nutrition) ou qualitatives (manque de micronutriments) ou les deux (le plus souvent) et sont une cause très fréquente de l'état de la malnutrition (**Charpy et al., 2008**).

De nombreuses organisations à but humanitaire tentent de limiter ce fléau qui ne cesse de s'accroître. Certaines voient que l'apport énergétique doit être compléter sur le plan protéinique.

La découverte d'une algue microscopique connue sous le nom de «Spiruline» constituée jusqu'à 70% de protéines (acides aminés essentiels ou non), soit près de deux fois plus que le soja, qui une source d'éléments nutritifs essentiels : protéines ; vitamines (A, B, C et E), acides gras essentiels non saturés, minéraux (fer, calcium, magnésium, zinc, potassium, soufre, manganèse) (**Jourdan,2002**) révolutionnera le monde de part son importance nutritionnelle reconnue depuis des siècles. La Spiruline ou bombe nutritionnelle est traditionnellement consommée par certaines populations, elle fait l'objet d'une redécouverte depuis quelques années (**Flaquet et Hurni, 2006**).

A l'instar des autres pays, l'Algérie contribue à la valorisation et au développement des cultures des Spirulines d'autant plus qu'elles représentent une ressource naturelle locale. C'est dans ce contexte, la présente étude propose la caractérisation nutritionnelle d'une souche locale de spiruline séché « spiruline HTam».

### ❖ Objectifs de travail :

Cette étude a été réalisée sous forme d'analyse sur la Spiruline séchée afin de déterminer sa valeur nutritionnelle importante. Ces derniers ont été réalisés au niveau de la fromagerie d'Alger « Le Berbère » et au niveau de L'Institut National Spécialisé dans la Formation en Industrie Agro-alimentaire de Sidi Abdelkader de Blida, ainsi au niveau de laboratoire d'analyse de la qualité alimentaire « PILAB » de Blida.

Les principaux objectifs fixés sont :

- Détermination de la potentialité nutritionnelle de la spiruline (Eau, protéines, lipides, cendres, glucides) ;
- Le dosage des pigments majeurs (chlorophylle-a, b, c et caroténoïdes) ;
- L'analyse micro-bactériologique de la spiruline.
- Vérification du niveau de la conformité par comparaison des résultats d'analyses avec les normes.
- Appréciation de l'importance nutritionnelle de la spiruline.

De ce faite, ce mémoire est constitué de trois parties .La première consiste en une étude bibliographique indiquant des généralités sur la spiruline.

La deuxième partie décrit l'ensemble des moyens expérimentaux mis en œuvre lors de ce travail portant les principaux objectifs recherchés. Elle comporte deux principales étapes :

- ✓ La première concerne le matériel végétal utilisé.
- ✓ La seconde étape sera orientée vers les méthodes d'analyses Préconisées, elle repose sur les analyses microbiologiques et biochimiques

Finalement, une conclusion générale est développée pour souligner l'objectif de notre travail qui consiste a connaitre l'intérêt de la Spiruline sur le plan nutritionnelles et son efficacité dans la lutte contre la malnutrition tout en tenant compte du fait que la Spiruline n'est pas encore reconnu dans nos habitudes alimentaire.

## I.1 Généralité sur la spiruline

La Spiruline est une cyanobactérie traditionnellement consommée depuis des siècles par certaines populations (**Farrar, 1966**).

Existant depuis plus de 3 milliards d'années, elle découverte par la première fois par Wittrock Nordstedt en 1844 et sa première culture artisanale de spiruline méritant vraiment cette appellation revient sans doute à FOX Ripley qui fut le premier à lancer cette activité en Inde en 1973 en collaboration avec le Navsāri Agricultural Collège (**Fox, 1999**). Si l'on en croit les traces trouvées dans des stromatolithes en Afrique du sud, les cyanobactéries anciennement appelées algues bleues ou bleu vertes sont des micro-organismes procaryotes vrais, dépourvues de membrane nucléaire, et unis ou pluricellulaires le plus souvent se trouvent en filaments composés de cellules alignées (**Perez, 1997**).

La découverte du dihé sur les marchés de la région du Kanem sous forme de galettes séchées d'une teinte verte tirant sur le bleu montra après une analyse microscopique et chimique qu'il provenait de masses d'un micro-organisme unique récolté à la surface des lacs salés et fortement alcalins des régions chaudes du globe (**Jarisoa, 2005**).

## I.2. Historique de la spiruline « La spiruline, une très vieille histoire »

La spiruline est une des toutes premières formes de vie à s'être manifestée sur la planète puisqu'elle est âgée de 3 milliards d'années, il est vraisemblablement le micro-organisme le plus ancien de la planète !

La découverte de la spiruline est une histoire africaine ... mexicaine ... et française ... Il est d'abord cultivée principalement en Californie et à Hawaï lorsque les Européens abordèrent en Amérique centrale, ils découvrirent que les Aztèques tiraient du grand lac Texcoco, situé près de Mexico, une sorte de « boue » bleue-verte à haute valeur nutritive qui stagne sur les eaux des lacs de Mexico. Puis ils la font sécher pour en faire des sortes de galettes qu'ils consomment". Le produit s'appelait chez les Aztèques le "*tecuitlatl*".

La spiruline était également récoltée en Afrique, plus précisément au nord-est du Tchad, dans la région du Kanem habitée par les Kanembous. De la même manière que les Aztèques, les Kanembous récupèrent la spiruline stagnante et la font ensuite sécher en galettes appelées "*dihé*". Gomara ne le savait pas mais il fut l'un des premiers à décrire la spiruline dans l'objectif de combattre la malnutrition. Et cette boue qu'il décrivait était bien sûr la fameuse algue bleue. Les espagnols prirent l'or et laissèrent la spiruline aux Aztèques. Retour de boomerang amusant de l'histoire : la spiruline est considérée par beaucoup aujourd'hui comme de l'or vert ou de l'or bleu.



## Etude Bibliographie - Chapitre I : La Spiruline

---

En 1940, le professeur Creac'h, découvrit des galettes de **spiruline** sur un marché Tchadien, dans les années 40 par le botaniste et mycologue français Pierre Augustin Dangeard. Une autre description de la spiruline fut faite Dans les 50, l'anthropologue, cinéaste et écrivain Max Yves Brandilly

En années 1965-1967 la spiruline commença à se faire connaître grâce à un botaniste belge, Jean Léonard qui lui aussi découvrit les fameuses galettes bleues-vertes de spiruline sur les marchés tchadiens. La spiruline fut alors analysée et on découvrit vraiment sa composition et tous les bienfaits qu'elle recelait.

Au cours des années 1970, la spiruline est devenue populaire dans les pays industrialisés comme aliment santé ou supplément alimentaire. A l'époque, les intentions de tous ces chercheurs n'étaient pas dans une optique commerciale. Le but était d'apporter une réponse aux pays du tiers-monde pour lutter contre la malnutrition et la famine, notamment celle des enfants. Mais également dans les autres pays dans un but de bien-être voire dans une optique thérapeutique dont l'Organisation des Nations unies a reconnu la pertinence de la spiruline dans son agenda de développement durable, et l'Institution Intergouvernementale pour l'Utilisation de la Micro-algue Spiruline contre la Malnutrition.

Ce n'est que depuis quelques années que la spiruline commence à devenir populaire et utilisée en tant que complément alimentaire naturel. Les recherches publiées à ce jour sur la spiruline et la malnutrition présentent des faiblesses importantes, mais plusieurs essais ont donné des résultats positifs.

La spiruline a connu un boom dans la fin des années 90 - début 2000. Mais le marché est encore naissant et la spiruline a de l'avenir devant elle.

### I.3. Place de la Spiruline pour lutter contre la malnutrition

La production totale en 1993 était de 6,6 millions de tonnes (5.4 milliards USdollards) les principales espèces sont les algues brunes (68% en volume) et les algues rouges (21%). La culture d'algue se pratique essentiellement en Asie puisque le continent représente 98% de la production totale.

La Spiruline est utilisée aussi pour lutter de la malnutrition, selon la **FAO** ; le nombre de personnes souffrant de la faim dans le monde a augmenté de 105 millions en 2009, on compte à l'heure actuelle 1.02 milliard de personnes souffrant de la malnutrition.

Actuellement de nombreuses ONG (ANTENNA, TECHNAP...), associations locales et autres sources de financement (Banque Africaine du Développement, CRDS au Bénin) des pays du Sud sont basées sur la composition de cet organisme en micronutriments, son potentiel pour la santé et le fait qu'il soit cultivable localement. Elles ont développé les procédés de culture et leur action se poursuit, confortée par les témoignages des personnes qui utilisent la Spiruline pour combattre les carences en micronutriments chez les enfants et les autres groupes de personnes vulnérables (**Charpy et al., 2008**).

Malgré leurs efforts, la Spiruline ou bien les algues en général n'ont jamais été utilisés à grande échelle par les organismes internationaux de la santé. Les programmes alimentaires devraient s'efforcer de maintenir ou d'améliorer la diversité du régime alimentaire, voir la distribution des suppléments en micronutriments ou des aliments enrichis (**Anonyme, 2009**).

### I.4. Répartition géographique

La Spiruline croît naturellement pour son caractère thermophile et ses besoins importants en lumière dans la zone géographique tropicaux-équatoriale globalement entre le 35° de latitude nord et le 35° de latitude sud ; ainsi que dans les lacs salins de régions tropicales et semi-tropicales **(Fox, 1999)**.

Sa forte plasticité écologique permet de la retrouver à l'état naturel à la fois dans les lacs alcalins en Afrique (Tchad, Ethiopie, Tunisie...) en Amérique latine (Mexique, Pérou...) en Asie du Sud (Inde, Sri Lanka, Thaïlande...) Cet organisme est dit ubiquiste. Il est cependant beaucoup moins abondant en Amérique du Nord et en Europe. **(Castenholz et al., 2001)**.

#### ➤ En Afrique

Se localisée principalement sur 3 pays : Niger, Burkina Faso et Madagascar.

#### ➤ Au Niger :

L'Etat déclare avoir mobilisé les Ministères de la Santé, de l'Environnement, de l'Agriculture et de la Coopération sur l'intérêt de la Spiruline dans le domaine de la malnutrition. La Spiruline est officiellement reconnue comme Médicament Traditionnel Amélioré (MTA) et les fermes peuvent bénéficier d'une Autorisation de Mise sur le Marché (AMM). Dans les Centres de Santé Intégrés (CSI), la Spiruline est distribuée en phase 2, à défaut de dons de Plumpy'nut. Un regain d'appétit est unanimement constaté chez l'enfant dénutri. A bas prix, les mères la privilégient en phase ambulatoire lorsqu'elles la voient cultiver localement. La distribution de la Spiruline est envisagée par le personnel médical comme une solution durable **(Charpy et al., 2008)**

#### ➤ Au Burkina Faso :

Le Ministère de la Santé a financé le projet Spiruline « Nayalgué » dans l'objectif de contribuer à l'amélioration de la santé de la population grâce à l'utilisation de la Spiruline. Elle serait intégrée dans un programme diversifié de lutte contre la malnutrition.

Sa culture locale montrerait aux populations qu'elles peuvent agir sur leur développement. La Spiruline ne fait cependant pas partie du protocole officiel de traitement de la malnutrition. Distribuée dans les CREN de préférence en phase 2 (elle serait trop protéinée pour les malnutris sévères), la Spiruline apporterait aux enfants un regain d'appétit, est reçue comme un bienfait par les mères qui la considèrent comme une « vitamine ». Les médecins lui attribuent une action préventive à la malnutrition lorsqu'il est possible de se la procurer localement en complément de la nourriture de base. Ils l'utilisent aussi en phase de récupération, à raison d'une cuillerée de 2 à 3g /jour.

Au Centre de Traitement Ambulatoire (CTA) d'Ouagadougou elle est prescrite par trois médecins en accompagnement des traitements aux Anti Rétroviraux (ARV), aux personnes atteintes du VIH SIDA. Elle apporterait :

- ✓ Un gain de poids.
- ✓ Un gain en lymphocytes CD4.
- ✓ Une diminution des infections opportunistes.

Plusieurs travaux de recherche ont été publiés par **(Simpore et al., 2006,)**.

Le plus récent portant sur les effets de la Spiruline sur les défenses immunitaires des enfants malnutris atteints du VIH. Le Ministère de la santé a lancé une série d'études épidémiologiques et cliniques sur l'efficacité de la Spiruline. Des recherches sur l'amélioration de la culture de Spiruline sont en cours.

### ➤ **A Madagascar**

Cependant des représentants nationaux de la nutrition (Office National de Nutrition) et de la santé (Ministère) ainsi que des autorités régionales de Tuléar dont Mme la Sénatrice, M. le Maire, M. le Président de l'Université, M. le Directeur de l'Institut Halieutique et des Sciences de la Mer (IHSM), étaient présents au colloque international « Spiruline et développement » qui s'est tenu à Tuléar les 28-30 avril 2008. Une quinzaine de médecins et nutritionnistes nationaux ont participé à cet événement. La Spiruline est distribuée dans quelques CREN depuis au moins 5 ans et de plus en plus dans les dispensaires. Des recherches sont menées à l'IHSM de Tuléar, sur la biodiversité fongique dans les bassins de culture de Spiruline et à l'école supérieure des sciences agronomiques (ESSA) d'Antananarivo, sur l'administration de la Spiruline aux poulets de chair **(Razafindrajaona et al., 2008)**

### ➤ **En Algérie**

Mise à part des essais de recherche, la production de la Spiruline reste au stade artisanal et expérimental.

L'unique producteur connu à ce jour est de **M. Hiri Abdelkader** qui connaît parfaitement le processus de production de cette espèce d'algue, Il dispose d'un bassin installé à Tamanrasset d'une superficie d'environ 20 m<sup>2</sup> et produit 20 kg de spiruline sèche par an.

Plusieurs avantages peuvent s'offrir pour la production de la Spiruline en Algérie notamment les conditions climatiques du sud du pays **(Razafindrajaona et al., 2008)**

### I.5 La Spiruline d'un point de vue scientifique :

#### I.5. 1 Eléments de biologie de la Spiruline

##### ➤ Taxonomie

La Spiruline est une cyanobactérie (anciennement désignée par le terme « algue bleue » puis cyanophycée).

Elle est limitée entre le règne animal et le règne végétal, comprend des bactéries autotrophes, gram négatives ; capables de la photosynthèse ; assurant en complément avec production d'oxygène et une fonction de respiration incomplète et, certaines espèces majoritairement filamenteuses ; capables de fixer l'azote atmosphérique et peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires. Selon **Vidal** (2008), la systématique de la Spiruline est donnée dans le tableau suivant:

**Tableau 01** : la systématique de la spiruline selon Vidal (2008)

| Règne                 | <i>Monera</i>  |
|-----------------------|--|
| Sous règne            | <i>P. Procaryota; Phylum: Cyanophyta</i>                                 |
| Classe                | <i>Cyanophyceae</i>  |
| Ordre                 | <i>Nostocales</i>  |
| Famille               | <i>Oscillatoriaceae</i>  |
| Genre                 | <i>Arthrospira.</i>  |
| Espèce et sous-espèce | <i>A. plantensis, A. maxima, A. toliara</i><br><i>A. lonar et autres</i> |

La spiruline est faite à partir de différentes espèces du genre *Arthrospira* qui est une cyanobactérie anciennement appelée *cyanophycées* ou « algues bleues » des eaux chaudes peu profondes et saumâtres de la ceinture intertropicale. Le terme *Arthrospira* est mieux adapté car le genre *Spirulina* existe, mais s'applique à d'autres cyanobactéries, assez éloignées du point de vue taxonomique et sans valeur alimentaire. La confusion entre les deux noms *Arthrospira* et *Spirulina* est due à la décision d'unifier les deux genres *Arthrospira Stizenberger* et *Spirulina Turpin* sur la base de leurs trichomes en spirale. Néanmoins la « vraie » *Spirulina* n'est pas affiliée au genre *Arthrospira*.

### ➤ Morphologie et caractères généraux

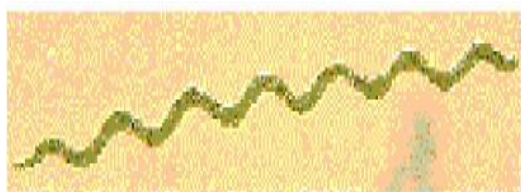
La Spiruline est une cyanophycée microscopique d'une longueur moyenne d'environ 250µm. Elle est composée de filaments mobiles de 10 à 12 µm de diamètre non ramifiés et enroulés en spirale, généralement en 6 ou 7 spires. Cette forme hélicoïdale lui donnant l'allure d'un minuscule ressort lui a valu son appellation de « Spiruline » (**Geitler, 1932**). Cependant les Spirulines présentent différentes formes (**Figure 1**). On trouve des formes spiralées classiques, ondulées et parfois droites. Cette particularité est en relation directe avec les conditions écologiques rencontrées dans leur habitat (**muhling et al., 2003**)



Forme spiralée (type «Toliara »)



Forme spiralée (type «Lonar»)



Forme ondulée (type « Paracas »)



Forme droite (type « M2 »)

**Figure 01** : Différentes formes de la spiruline  
(**Razafindrajaona et al., 2008**)

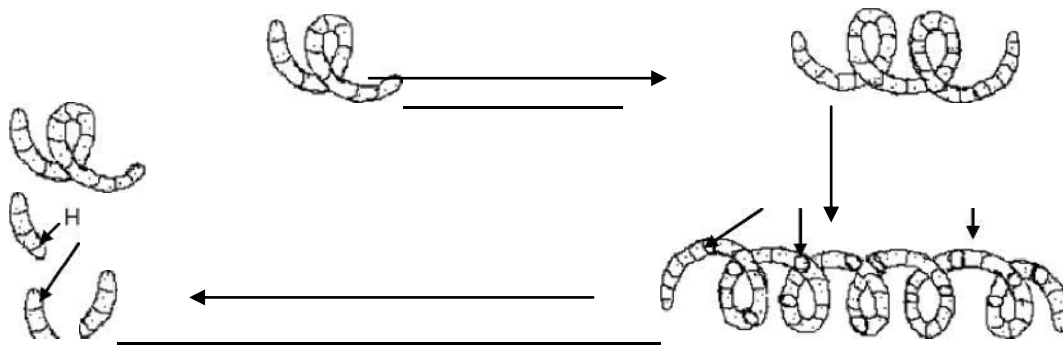
En général ; la paroi cellulaire de la spiruline est constituée d'une membrane composée de 4 couches minces de muco-polymères et de polysaccharides, le cytoplasme est dépourvu de noyau malgré la présence d'acides nucléiques, renferme plusieurs inclusions les plus importantes : les granules de cyanophycées, les carboxysomes, les vésicules de gaz, les granules de glycogène et de phosphate (**Charpy et al., 2008**).

Plus précisément ; la spiruline est constituée de cellules transparentes empilées bout about formant aussi un filament ou un trichome. L'enroulement du trichome sur lui-même s'effectue suivant le sens déguillette d'une montre lorsqu'on regarde au-dessus de la spirale.

Cette morphologie typique lui permet de se déplacer dans l'eau en adoptant le mouvement de la vie.μμμ

### ➤ Cycle biologique

La spiruline croît par photosynthèse et se multiplie par scission toutes les 7 heures. Il est facile et peu coûteux de reconstituer son milieu naturel.



**Figure 02** : Cycle biologique de la Spiruline (**Balloni et al. ,1980**)

Les micros algues présentent des temps de doublement sensiblement plus longs que les micro-organismes : il s'agit de 24h environ, au lieu de 20 min à 1h.

On distingue 03 phases de croissance :

- 1) Phase de démarrage : adaptation aux conditions,
- 2) Phase de croissance exponentielle : reproduction optimale des cellules,
- 3) Phase stationnaire : arrêt de la croissance.

Cette dernière se reproduit par segmentation des filaments « asexuée ». (**Jourdan, 2006**).

### **I.5.2.Conditions physiques et chimiques de croissance**

Pour se développer, la Spiruline se développe dans des eaux chaudes et bénéficiant d'une intensité lumineuse élevée, a besoin d'éléments minéraux simples tels-que l'eau potable (éviter les eaux dures), les sels minéraux, le CO<sub>2</sub> et l'O<sub>2</sub> qu'elle puise directement dans son milieu tout en utilisant la lumière solaire comme source d'énergie grâce à son système pigmentaire. Ce mode de synthèse de biomasse est la « photo autotrophie » (**Iteman, 2008**)

La Spiruline croît dans des milieux naturels caractérisés par des eaux saumâtres, chaudes (28-40°C) alcalines (8 < pH < 11,5) et natronées (fortement concentrées en carbonates et bicarbonates de sodium) de la zone intertropicale (**Mazo, 2004**). En règle générale les phosphates, les carbonates, les nitrates et le fer, sont les éléments limitant de la production phytoplancton que dans les milieux aquatiques. Dans les gisements naturels, ces éléments sont apportés par les bassins versants. 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. (**Iteman, 2008**).

D'après (**Jourdan, 2006**), La température du milieu de culture doit donc se situer entre (20°C et 43°C) avec un pH optimum autour de 9,5. Une forte intensité lumineuse conjuguée avec une forte agitation (pour éviter la photolyse sans modifier l'intensité lumineuse) pour donner une croissance optimale (**Fox, 1999**).

### ➤ pH optimum

1) Un pH optimum d'un milieu de culture neuf à confectionner dépend de son utilisation. S'il doit être inséminé pour démarrer une nouvelle culture, son pH doit être d'au moins 9 : s'il est trop bas la culture risque de mal démarrer, avec formation de grumeaux ou précipitation de la spiruline au fond. Le natron ou le mélange carbonate + bicarbonate, ou l'eau de cendre carbonatée sont donc bien adaptés à ce cas.

Par contre si le milieu neuf doit servir d'appoint à une culture existante son pH peut être avantageusement voisin de 8, ce qui contribue à maintenir le pH de la culture suffisamment bas par apport de bicarbonate. C'est typiquement le cas des bassins en cours d'extension ("à géométrie variable"). Dans ce cas le milieu doit être à base de bicarbonate seul, si ce dernier est disponible.

### 2) Mesure de potentiel d'hydrogène sur la spiruline séchée

En mesurant le pH d'une suspension à 4 % de spiruline sèche dans l'eau. Lorsqu'une spiruline a été séchée à température assez haute (60 à 65°C) et qu'elle est réhydratée, ses cellules éclatent et le pH baisse, jusqu'à 5 parfois. Le pH obtenu est d'autant plus bas que la spiruline est bien essorée. Ce bas pH serait dû à l'acidité interne des cellules et/ou à la fermentation commençante. (**Jordan, 2006**)

En milieu naturel, lorsque les conditions sont optimales, les Spirulines peuvent se développer en grande quantité et entrent alors en compétition avec d'autres organismes. Lors des efflorescences, la consommation des carbonates et bicarbonates entraîne une augmentation du pH limitant ainsi la croissance des autres microorganismes (**Iteman, 2008**)



Par ailleurs, il faut savoir que tant que la spiruline est en croissance active, bien nourrie, récoltée, agitée, à pH>9,5, d'une belle couleur vert foncé et que le milieu est régulièrement purgé, aucune espèce d'algue concurrente ne réussit habituellement à envahir le bassin. Cependant, l'apparition d'algues étrangères est toute fois possible (**Jourdan, 2002**),

Il arrive, très rarement, que des spirulines présentent des déformations, ou une boursouffure, ou alors des excréments jaunes à une extrémité ou sur un côté des filaments, faisant penser à un éclatement de la paroi avec épanchement du contenu des cellules (spirulines dites "étripées"). Dans la pratique, ces anomalies disparaissent d'elles-mêmes au bout de quelques jours de marche dans des conditions (**Iteman, 2008**)

### I.5.3.Composition chimique de la Spiruline

La composition chimique de la spiruline dépend des éléments chimiques de milieu de culture.

- L'ammoniac et l'urée avec des concentrations limites (au de la d'un seuil elle devient toxiques)
- Nitrate souvent apporté comme source d'azote.
- Le phosphate peut être apporté par phosphate : monoamoniaque ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) tri sodique ( $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) di potassique( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ )
- Le potassium peut être apporté par le nitrate de potassium. Le chlorure de potassium, le sulfate di potassique.
- Le magnésium employé est le sulfate de magnésium ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) (**Fox, 1999**).

En règle générale, le milieu standard le plus utilisé est celui de **Zarrouk (voir annexe)** apportant l'ensemble des éléments nutritifs essentiel à son développement (**Jourdan, 2006**) et un deuxième milieu celle de **Hiri** (milieu algérien).

En milieu naturel, dans la région du Kanem (Tchad), la Spiruline récoltée n'est pas de qualité égale d'un « Ouadaï » à l'autre. En milieu cultivé, il est possible de jouer sur les intrants et d'influer sur sa composition. La culture en bassin permet en tous les cas de maîtriser la qualité.

La plupart des études des constituants de la Spiruline ont été réalisées sur *Spirulina platensis* (connue aussi sous l'appellation de *Arthrospira platensis* ou *S.geitler*). Cette espèce sert de référence car sa composition est relativement constante même si elle varie selon la souche, selon son origine géographique, mais aussi selon les procédés de culture, de séchage et de broyage et le mode de conditionnement (**Iteman , 2008**).

### **I.6 Importance nutritionnelle de la Spiruline**

Les produits naturels utilisés comme compléments alimentaires intéressent de plus en plus les populations. La Spiruline, qui ne s'avère pas toxique, répond à la législation sur les compléments alimentaires. La commercialisation de la Spiruline pour la santé semble indépendante de l'obtention de preuves d'efficacité, non réclamées pour les compléments alimentaires.

De nombreuses recherches sont effectuées principalement en Asie et sur le continent américain, sur les propriétés des molécules présentes dans la Spiruline. Ces recherches sont prometteuses, même s'il n'y a peu de preuve d'efficacité chez l'homme (**Gershwin et Belay, 2007**)

D'après **Flaquet et Hurni (2006)**, c'est d'abord l'impressionnante teneur en protéines des spirulines (tableau02) qui a attiré l'attention des chercheurs comme les industriels.

**Tableau 02** : Composition nutritionnelle pour 100g de la Spiruline (**Vidal, 2008**).

| Composés                 | Quantités                 |
|--------------------------|---------------------------|
| Valeur énergétique       | <b>358 kcals (1496kj)</b> |
| Protéines (g)            | <b>60</b>                 |
| Glucides (g)             | <b>16</b>                 |
| Lipides (g)              | <b>6</b>                  |
| <b>Minéraux (mg)</b>     | <b>8000</b>               |
| Calcium                  | <b>25-50</b>              |
| Phosphore                | <b>80</b>                 |
| Fer                      | <b>7-10</b>               |
| Cuivre                   | <b>0.3</b>                |
| Magnésium                | <b>20-40</b>              |
| Sodium                   | <b>90-120</b>             |
| Zinc                     | <b>0.12</b>               |
| Sélénium                 | <b>0.5</b>                |
| Chlorure                 | <b>0.25</b>               |
| Iode                     | <b>0.1</b>                |
| <b>Vitamines (mg)</b>    |                           |
| Riboflavine              | <b>17000IU</b>            |
| B1                       | <b>10-35</b>              |
| B2                       | <b>0.2-0.4</b>            |
| B3                       | <b>1.2</b>                |
| B6                       | <b>0.8</b>                |
| B8                       | <b>0.5</b>                |
| B12                      | <b>0.15-0.20</b>          |
| E                        | <b>1</b>                  |
| K                        | <b>0.2</b>                |
| <b>Caroténoïdes (mg)</b> |                           |
| Bêta-carotène            | <b>100</b>                |
| Lutéine                  | <b>30-40</b>              |
| Zéaxanthine              | <b>110</b>                |
| Chlorophylle a           | <b>100-130</b>            |
| Chlorophylle b           | <b>460</b>                |

### I.6.1 Les protéines

La spiruline contient une forte proportion de protéines végétales (55 % à 70 % de son poids) d'excellente qualité (proportion des acides aminés et digestibilité optimales), soit de 2,5 g à 3,5 g de protéines par 5 g de poudre. Elle représente 10 à 11% de la masse humide (**Clément, 1975 ; Fox, 1999**) Une valeur tout à fait exceptionnelle.

Ce pourcentage est bien plus élevé que celui du poisson (25%), du soja (35%), de la poudre de lait (35%) et des céréales (14%). La Spiruline est très

## Etude Bibliographique - Chapitre I:La Spiruline

riche en matières azotées et en contient deux fois plus que le soja, trois fois plus que la viande ou le poisson. Cette richesse est cependant à relativiser compte tenu de la faible quantité de Spiruline utilisée en complément alimentaire « <10g par jour » (**Henrikson, 1994**).

On révèle une variation du contenu en protéines de 10 à 15 % selon le moment de la récolte par rapport à la photopériode .mais contrairement à d'autres sources de protéines contenant des fibres dures et difficiles à digérer (**Vidal,2008**).

L'ensemble des acides aminés contenant dans la spiruline sont inscrites dans le tableau suivant :

**Tableau03** : Pourcentage moyen des acides aminés de la *Spirulina platensis* selon différents auteurs (**Jacquet 1974 ; Clément 1975 et Fox 1999**) et de la *Spirulina mexican* d'après (**Borowitzka.MA et Borowitzka.LJ ,1988**)

| <b>Acides aminés essentiels (%)</b>     |                     |                     |                 |                        |
|---|---------------------|---------------------|-----------------|------------------------|
| <b>Acides aminés</b>                    | <b>Jacquet 1974</b> | <b>Clément 1975</b> | <b>Fox 1999</b> | <b>Borowitzka 1988</b> |
| Isoleucine                              | 5,60                | 6,40                | 5,98            | 5,70                   |
| Leucine                                 | 8,00                | 9,00                | 8,71            | 8,70                   |
| Lysine                                  | 4,20                | 4,80                | 5,28            | 5,10                   |
| Méthionine                              | 2,25                | 2,60                | 2,85            | 2,60                   |
| Phénylalanine                           | 4,40                | 4,60                | 5,09            | 5,00                   |
| Thréonine                               | 4,70                | 5,50                | 5,58            | 5,40                   |
| Tryptophane                             | 1,00                | 1,60                | 1,48            | 1,50                   |
| Valine                                  | 5,70                | 6,90                | 7,72            | 7,50                   |
| <b>Acides aminés non essentiels (%)</b> |                     |                     |                 |                        |
| Alanine                                 | 7,25                | 7,90                | 8,24            | 7,90                   |
| Arginine                                | <u>6,60</u>         | 6,70                | 7,92            | 7,60                   |
| Acide aspartique                        | 9,30                | 9,20                | 9,50            | 9,10                   |
| Cystéine                                | 0,95                | 0,90                | 0,93            | 0,90                   |
| Acide Glutamique                        | <b>ND</b>           | 12,90               | 13,20           | 12,70                  |
| Glycine                                 | 4,80                | 5,00                | 5,07            | 4,80                   |
| Histidine                               | 1,60                | 1,60                | 1,50            | 1,50                   |
| Proline                                 | 3,60                | 3,90                | 4,32            | 4,10                   |
| Sérine                                  | 5,00                | 5,60                | 5,46            | 5,30                   |
| Tyrosine                                | 4,30                | 4,90                | <b>ND</b>       | 4,60                   |

Selon le tableau 03 :D'un point de vue qualitatif, les protéines de la spiruline sont complètes car contient tous les acides aminés essentiels qui représentent 47%du poids total des protéines (**Vidallo ,2008**)

La plus forte teneur sont celle de la leucine, la valine et l'isoleucine.les acides aminés soufrés (méthionine et cystéine) ainsi que d'autre non-soufrées (tryptophane, lysine et histidine) essentiels chez l'enfant, sont peut abondants (**Bujard et al ., 1970**) ; (**AFFA, 1982**) . Ce spectre d'acides aminés montre que la valeur biologique des protéines de la spiruline est très haute, et que l'optimum pourrait être atteint par complémentation avec une bonne source d'acides aminés soufrés (**Léonard et Compère , 1967**)

L'une des protéines de la spiruline est la phycocyanine (15% du poids de la spiruline) qui est l'association de protéines avec des pigments hydrosolubles. Plusieurs études ont démontré que la phycocyanine avait pour fonction de stimuler le système immunitaire et qu'elle jouait un rôle dans la fabrication des globules blancs et rouges (**Pag, 1974**)

Contrairement à d'autre microorganismes proposés comme source de protéines (levures, chlorelles..), la spiruline ne contient pas de parois cellulosiques mais une enveloppe de murine relativement fragile constitué de mucopolysaccharides, elle se casse très rapidement sans cuisson ni traitements spéciaux destinés à rendre ses protéines accessibles, un avantage considérable tant du point de vue simplicité de production que pour la préservation de constituants de hautes valeur.

L'utilisation protéinique nette (NPU) est déterminée par la digestibilité c'est-à-dire la proportion d'azote protéique absorbée ainsi que par la composition en acides aminés. La valeur de NPU est déterminée expérimentalement en calculant le pourcentage d'azote retenu lorsque la source de protéines étudiée est le seul facteur nutritionnel limitant. Elle est estimée entre 53 et 61 % soit 85 à 92 % de celle de la caséine souvent utilisée comme protéines de références.

L'efficacité protéique PER (protéine efficiency ratio) représente le gain de poids de l'animal ou de l'individu divisé par le poids des protéines ingérées, les protéines de référence sont la lactalbumine ou la caséine. A titre d'exemple, la valeur PER de la caséine étant de 2,5 et celle de la spiruline déterminée chez le rat en croissance est estimée à 1,90 (**Vidallo, 2008**).

### I.6.2 Les glucides

Les glucides représentent 13,6 à 25% de la matière sèche des Spirulines **(Quillet ,1975) ;(Shekharam et al., 1987) ;(Falquet et Hurni ,2006)**. Ce micro-organisme ne possède pas de paroi cellulosique (Gram négatives) mais une enveloppe relativement fragile, constituée de polysaccharides formée de glucosamine et d'acide muramique associés à des peptides. Cette faible teneur en cellulose explique sa digestibilité de l'ordre de 75 à 83% **(Costa et al., 2002)**. De ce fait, la Spiruline ne nécessite pas de cuisson ni même l'administration d'un traitement spécial pour une bonne digestibilité protéique **(Jourdan, 2006)**

L'essentiel des glucides assimilables est constitué de polymères tels que des glucosanes aminés (1,9 % du poids sec) et des rhamnosanes aminés (9,7 %) ou encore de glycogène (0,5 %) **(Flaquet et Hurni, 2006)**. A la différence de la plupart des plantes mais à l'instar du corps humain, la spiruline stocke l'énergie sous forme de glycogène, de sorte que le corps la convertit rapidement en énergie, C'est donc une source naturelle d'énergie rapide qui ne risque pas de déclencher de l'hypoglycémie ni de trop faire travailler le pancréas, comme c'est le cas pour le sucre raffiné industriel.

- Glucides simples et polyols à petites molécules

Les sucres simples comme le glucose, le fructose et le saccharose existent à l'état de traces. Le glycogène représente 0,5%, le glycérol et des polyalcools comme le mannitol et le sorbitol sont présents en petite quantité. **(Charpy et al., 2008)**.

- Glucosanes aminés et Rhamnosanes aminés

L'essentiel des glucides assimilables est constitué par ces polymères. Ils constituent l'ensemble des mucilages extractibles par l'eau, soit 11 à 12% du poids sec. Le glucosane et le Rhamnosanes constituent respectivement 1,9% et 9,7% du poids sec de la Spiruline La glucosamine représente une part non négligeable des polysaccharides. Par contre, le galactose et ses dérivés sont absents de cet équipement glucidique. **(Quillet , 1975)**.

- Cyclitols

Présents sous forme phosphorylée, les Cyclitols correspondent à 2-3 % de la matière sèche de la Spiruline. Ils se composent essentiellement de meso-inositol phosphate qui constitue une source de phosphore organique ainsi que d'inositol (350-850mg de matière sèche) **(Challem et al., 1981)**.

Cette teneur en inositol serait selon **(Falquet et Hurni , 2006)** environ huit fois celle de la viande et plusieurs centaines de fois celle des végétaux les plus riches en cette molécule. Les Cyclitols phosphatés sont aussi des capteurs de calcium qui peuvent avoir un effet décalcifiant si l'apport en calcium devenait insuffisant **(Quillet, 1975)**.

- Glucides des parois cellulaires

Ces glucides se retrouvent sous la forme d'acide sialique à de très faible teneur(0,5%),de glucannes aminés et de Rhamnosannes aminés, ainsi que d'acide muramique et glucosamine sous forme de chlorhydrate, tous deux associés à des peptides et à un pourcentage totalisant2% **(Clément et al., 1967) ; (Quillet, 1975)**.

La paroi de la Spiruline présente une teneur en glycogène estimée à environ 0,5% de son poids sec **(Quillet, 1975) ; (Fox, 1999)** et une teneur en cellulose très faible, soit 0,5% de son poids frais .Elle serait donc facilement assimilable même par les personnes ayant une absorption intestinale faible. **(Jacquet ,1974)**.

- Polysaccharides sulfatés

La Spiruline est constituée aussi de polysaccharides sulfatés spécifiques comme le spirulane-calcique (Ca-Sp) ou le spirulane-sodique (Na-Sp) Ces polysaccharides sont porteurs de nombreux résidus sulfatés et se composent de rhamnose, ribose, mannose, fructose, galactose, xylose, glucose, d'acide glucuronique et galacturonique, ainsi que d'ions calcium et sodium. Ils auraient d'après des études in vitro des propriétés anticoagulantes, immunostimulantes et antivirales **(Lee et al., 2001)**.

- ✓ **Activité anticoagulante :** Le *Spirulane Calcique (Sp-Ca)* agirait en activant le cofacteur II de l'héparine, molécule qui inhibe la thrombine, donc la coagulation **(Hayakawa et al., 1996)**. Le *Spirulane Sodique (Sp-Na)*, autre polysaccharide sulfaté spécifique à la Spiruline, aurait aussi des effets anticoagulants **(Yamamoto et al., 2003)**.
- ✓ **Renforcement du système immunitaire :** Plusieurs expériences positives sur les animaux attestent que la Spiruline régulerait favorablement le système immunitaire Elle augmenterait l'activation des macrophages, l'activité des cellules T et l'activité des cellules naturellement destructrices (NK). Ce processus permettrait la libération des gamma-interféron (IFN -  $\gamma$ ), ce qui peut éventuellement rendre les virus inactifs. Ces actions se feraient par le biais des Polysaccharides **(Pascaud et al., 1993) ; (Qureshi et al., 1996) ; (Borchers et al., 2007)**.
- ✓ **Activité antivirale :** L'activité antivirale de la Spiruline a été étudiée sur l'inhibition de la pénétration du virus *Herpes simplex* dans les cellules HeLa et chez des hamsters par **(Hayashi et al., 1993)**. Plus tard, mettent en évidence le rôle de *Sp-Ca* qui interviendrait selon deux mécanismes :

1) Inhibition de la pénétration des virus

2) Inhibition de la phase de réplication des virus

- ✓ Activité radio protectrice : **(Zhang et al., 2001)** considèrent que la Spiruline pourrait améliorer la restauration de l'hématopoïèse chez l'homme et être ainsi utilisée comme traitement dans les thérapies anticancéreuses pour en diminuer les effets secondaires.

- Immulina

Un nouveau polysaccharide d'un poids moléculaire élevé a été isolé chez *Spirulina platensis*. Cet activateur potentiel des monocytes et macrophages humains a été nommé « Immulina ». Ce polysaccharide, structurellement complexe et fortement hydrosoluble, représente entre 0,5% et 2% du poids sec de cette cyanophycée. **(Pugh et al.,2001)** ont isolé « Immulina » de *Spirulina platensis* et observent in vitro une activation des monocytes 100 à 1000 fois plus élevée que celle produite par des préparations de polysaccharides utilisés habituellement en clinique pour traiter les cancéreux. Un article plus récent **(Lobner et al., 2008)** portant sur l'ingestion d' « Immulina » par 11 patients en bonne santé rapporte un effet immédiat mais temporaire sur les défenses immunitaires.

### I.6.3 Les lipides

Les lipides représentent généralement de 6 à 8% du poids sec de la Spiruline mais ce pourcentage peut atteindre 11% **(Hudson et Karis, 1974)**. Bien que plusieurs publications **(Bujard et al., 1970)** ; **(Santillan, 1974)** aient donné une valeur de 5,6 à 7 % du poids sec en lipides totaux, de meilleurs systèmes d'extraction permettent d'obtenir des valeurs jusqu'à 11 % **(Ariel, 2003)**.

La composition en lipides totaux se caractérise par un bon équilibre entre acides gras saturés et acides gras polyinsaturés (AGPI). Elle se subdivise en deux fractions : une fraction saponifiable « ou acides gras » (83%) et une fraction insaponifiable (17%) **(Clément, 1975)**.

- Fraction saponifiable :

Elle est estimée entre 4,9 à 5,7% de la matière sèche de la Spiruline **(Fox, 1999)**, est essentiellement composée de monogalactosyl, diglycéride et de digalactosyl diglycéride (23%), de sulfoquinovosyl diglycéride (5%) et de phosphatidyl glycérol (25,9%) **(Xue et al., 2002)**. Les triglycérides ne sont présents qu'à de très faibles taux (0,3%). La phosphatidyl choline, la phosphatidyl éthanolamine et le phosphatidyl inositol ne sont pas présents en quantité appréciable. Il est à noter que 4,6% de phospholipides sont encore indéfinis. la composition typique des principaux acides gras de 3 espèces de la Spiruline est représentée dans le tableau suivant :



**Tableau 04** : Composition typique en pourcentage des principaux acides gras de 3 espèces de la Spiruline d'après **Pascaud et al. (1993)**

| Acides gras                       | <i>S pacifica</i> (%) | <i>S maxima</i> (%) | <i>S platensis</i> (%) |
|-----------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|
| acide. Palmitique (16:0)          | 44,2                  | 63,0                | 25,8                   |
| acide.Palmitoléique(16:1) oméga-6 | 4,4                   | 2,0                 | 3,8                    |
| acide.Stéarique (18:0)            | Traces                | 1,0                 | 1,7                    |
| acide.Oléique (18:1) oméga-6      | 0,4                   | 4,0                 | 16,6                   |
| acide.Linoléique (18:2) oméga-6   | 24,3                  | 13,0                | 40,1                   |
| acide.Gamma-linolénique(18:3)     | 22,1                  | 13,0                | 40,1                   |
| acide.Alpha-linolénique(18:3)     | Traces                | Traces              | Traces                 |

Tableau04 montre une forte concentration en acides gras essentiels dans la spiruline (acides gras insaturés C18). Ces acides gras incluent les oméga-3 et des oméga-6 qui sont qualifiés d'essentiels car l'organisme humain en a absolument besoin et ne peut les produire.

Les acides gras oméga-3 et oméga-6 de la Spiruline préviendraient l'accumulation de cholestérol dans l'organisme. Ceci pourrait expliquer en partie la diminution des taux en cholestérol et triglycérides observés lors des expériences de **(Ramamoorthy et Premakumari ,1996)** ; **(Samuels et al., 2002)**. Ces expériences sur l'homme sont cependant réalisées avec de faibles effectifs et sur des sujets souffrant d'hyper cholestérolémie ou Hyperlipidémie.

L'acide gamma-linolénique (non-essentiel car il peut être synthétisé à partir de l'acide gras linoléique) constitue 10 à 20% des acides gras (soit 1-2% du poids sec) chez *Spirulina maxima* et jusqu'à 40% chez *S. platensis*, (soit 4% du poids sec). La Spiruline figurerait parmi les meilleures sources connues d'acide gamma-linolénique, avec le lait humain, et quelques huiles végétales peu connues (huile d'onagre, de bourrache, de pépin de cassis et de chanvre) **(Ciferri, 1983)** ; **(Cohen et al., 1993)**. La présence d'acide gamma-linolénique est à souligner du fait de sa rareté dans les aliments courants et que c'est un précurseur de médiateurs chimiques des réactions inflammatoires et immunitaires **(Falquet et Hurni, 2006)**.

Les sulfolipides tels les sulfoquinovosyl diglycérides qui représentent 5% de la fraction saponifiable, intéressent les chercheurs pour leur activité protectrice contre des infections virales. Le composant lipide sulfoquinovosyldiacylglycerol (SQDG) de *Spirulina platensis* riche en sulfolipides a démontré par expérience *in vitro* sa capacité à inhiber la

transcriptase inverse<sup>1</sup> du hiv-1 et du hiv-2 alors que ce dernier est naturellement résistant à cette classe de molécules (**Kiet et Durand , 2006**).

Le contenu en acide gras de la Spiruline peut être modifié suivant les conditions de culture (**Colla et al., 2004**).

- La fraction insaponifiable

Elle est composée essentiellement de stérols, de terpènes, d'hydrocarbures saturés (paraffines) et de pigments. Cette fraction représente 1,1% à 1,3% de la matière sèche de la Spiruline (**Fox, 1999**).

Bien que certaines études révèlent l'absence de stérols, il semblerait que ces derniers représentent néanmoins 1,5% de la fraction lipidique non polaire de la Spiruline (**Falquet et Hurni, 2006**).

D'après **Hudson et Karis (1974)** ; **Clément (1975)**, les taux de stérols libres ne dépassent pas 0,015% du poids sec de la cyanophycée. Ces stéroïdes sont principalement le colionastérol, l'avenasterol et en plus faible quantité, le cholestérol. Certains des stérols présents pourraient partiellement expliquer l'activité antimicrobienne de la Spiruline.

Les terpènes représentent de 5 à 10% de la fraction insaponifiable Chez *Spirulina platensis*, ils sont essentiellement représentés par l'alpha et le beta-amyrine, triterpène pentacyclique (**Clément ,1975**) La fraction saponifiable, représentant 4,9 à 5,7% de la matière sèche de la Spiruline (**Fox, 1999**)est essentiellement composée de monogalactosyl diglycérade et de digalactosyl diglycérade (23%), de sulfoquinovosyl diglycérade (5%) et de phosphatidyl glycérol (25,9%) (**Xue et al, 2002**). Les triglycérades ne sont présents qu'à de très faibles taux (0,3).

Les hydrocarbures saturés à longues chaînes (paraffine) constituent 25% des lipides insaponifiables chez *Spirulina platensis* et *Spirulina maxima* (**Bujard et al., 1970**) soit 0,1 à 0,3% de la matière sèche Les deux tiers sont constitués de n-heptadécane et le tiers restant d'hydrocarbures linéaires saturés en C15, C16, et C18, ainsi que trois hydrocarbures saturés à chaînes ramifiées non identifiés Les paraffines sont fréquemment retrouvées dans diverses sources alimentaires. (**Tulliez et al., 1975**).

### 1.6.4 Les acides nucléiques

La spiruline renferme 4,2 à 6% d'acides nucléiques totaux (30% ADN et 70% ARN) dans sa matière sèche (**Santillan, 1974**). L'ARN en produit deux fois plus que l'ADN.

La teneur en acides nucléiques (ADN et ARN) est un point nutritionnel important car la dégradation biochimique d'une partie de leurs composants (Les purines : adénine et guanine) produit en dernier lieu de l'acide urique. Toutefois, il faudrait pour obtenir cet effet, consommer plus de 80 grammes de la spiruline sèche par jour, soit 20 fois plus que la dose nécessaire et suffisante habituellement.

L'excès de cet acide peut entraîner à la longue des calculs rénaux et des crises de gouttes. Il est admis que la dose maximale d'acides nucléiques tolérables à long terme est de 4g/j pour un adulte. (La quantité de Spiruline usuellement consommée ne dépasse pas 10 g de matière sèche (**Ariel, 2003**))

### I.6.5 Les minéraux et oligoéléments

Les minéraux spécialement intéressants chez la spiruline sont : le calcium, le phosphore le magnésium fer, le zinc et le potassium qui permettent d'éviter des carences nutritionnelles. Comme présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 05** : Composition en minéraux de la Spiruline cultivée en µg/g de sa matière sèche d'après (**Falquet et Hurni, 2006**)

| Minéraux  | Teneur (µg/g) | Minéraux  | Teneur (µg/g) |
|-----------|---------------|-----------|---------------|
| Calcium   | 1300-14000    | Cuivre    | 8-10          |
| Phosphore | 6700-9000     | Chrome    | 2,8           |
| Magnésium | 2000-2900     | Manganèse | 25-37         |
| Fer       | 580-1800      | Sodium    | 4500          |
| Zinc      | 21-40         | Potassium | 6400-15400    |

- **Calcium** : c'est l'élément minéral le plus important et aussi celui que l'on trouve en plus grande quantité dans l'organisme. c'est une substance essentielle a plusieurs niveaux.il est indispensable au métabolisme, l'organisme humain étant incapable de le synthéser.il structure et entretien les os et les dents, participe au bon fonctionnement du système nerveux, régularise la rutme cardiaque, favorise l'assimilation de la vitamine B12 participe au métaboliser le fer et joue un rôle dans la libération de certains neurotransmetteurs. Elle contient plus de calcium que le lait. (**vidalo, 2008**)
- **Phosphore** : c'est le deuxième minéral le plus important du corps humain. On le trouve pratiquement dans toutes les cellules.il participe au processus de minéralisation osseuse, aide à digérer les glucides, le calcium et les vitamines D et B2 (riboflavine) et B3. (**vidalo ,2008**)
- **Magnésium** : la carence en magnésium est très fréquente chez les enfants en malnutrition grave, car ceux-ci n'absorbent souvent que des bouillies de céréales qui sont pauvres en magnésium. La Spiruline peut être considérée

comme une excellente source alimentaire de magnésium avec une teneur de 2000-2900µg/g. (**Briend, 1998**)

- **Fer** : La spiruline est une excellente source en fer soit de 3 mg à 8 mg par 5 g (580-1800 ug/g) environ 45 fois supérieure à celle des épinards, autant dire que la gourmandise de Popeye ne fait pas le poids. par comparaison; les céréales complètes classées parmi les meilleures sources de fer n'en contiennent que 150 à 250 ug/g; de plus le fer d'origine végétale ne présente qu'une très faible biodisponibilité, seul environ 5 % de ce fer est réellement absorbable, à cause de la présence de facteurs antinutritionnels (comme les phytates et les tanins) qui empêchent la métabolisation du fer ; quand aux suppléments de fer donnés sous forme de sulfate ferreux, Ils peuvent poser des problèmes de toxicité. (**Flaquet et Hurni, 2006**)
- **Zinc** : le zinc est essentiel au bon fonctionnement du système immunitaire, les personnes souffrant d'une carence importante présentent une susceptibilité accrue à divers agents pathogènes La spiruline cultivée contient généralement que des traces (21-40µg/g), alors qu'on peut en trouver dans certaines spirulines naturelles près de 400µg/g (**Campanella et al . , 1999**).
- **Potassium**  
La teneur en potassium ( $6,4 \cdot 10^3$  -  $15,4 \cdot 10^3$  µg/g) pourrait être intéressante, notamment dans les pays industrialisés où le rapport potassium/sodium serait trop faible dans la grande majorité des aliments disponibles (**Falquet et Hurni, 2006**). Le besoin en potassium d'un enfant de 6 mois à 3 ans est estimé de  $700 \cdot 10^3$  à  $3000 \cdot 10^3$  µg. Si l'intégralité du potassium était biodisponible une dose de 10 g de Spiruline couvrirait pour le moins 2 % et pour le mieux 22 % de ces besoins.
- **Sélénium**  
Le sélénium est un antioxydant car il agit contre les radicaux libres. Il n'y a pratiquement pas de sélénium dans la Spiruline naturelle mais il est possible d'enrichir la Spiruline en sélénium (**Cases et al., 2002**) ; (**Li et al., 2006**) ; (**Chen et al., 2006**) ont montré la biodisponibilité par les rats du sélénium à partir de Spiruline fortifiée. Notons que le besoin en Se d'un enfant de 6 mois à 3 ans est estimé à 20 µg.
- **Iode**  
La carence en iode provoque des troubles irréversibles du développement. Il est possible d'obtenir des souches de Spiruline capables de fixer l'iode (**Singh, 1994**) ;(**Mazo, 2004**) mais les sels d'iodes sont chers et la Spiruline ne semble pas concentrer activement cet élément. Notons que le besoin journalier en iode d'un enfant de 6 mois à 3 ans est de 130 à 90 µg.

### 1.6.6 Les vitamines

La Spiruline contient une large gamme de vitamines (Tableau 06). Les valeurs du tableau sont variables car elles concernent différentes productions avec des procédés de conservation variés. En effet, les vitamines sont sensibles à la chaleur. D'après une étude (**Bujard et al., 1970**), les teneurs en vitamines

## Etude Bibliographique - Chapitre I:La Spiruline

seraient diminuées d'environ un tiers dans le cas de séchage sur des tambours chauffants.

La granulométrie du produit final intervient également dans la préservation immédiate et la conservation à long terme des vitamines notamment pour le  $\beta$ -carotène (**Seshadri et al., 1991**). Une granulométrie plus élevée permettrait une meilleure conservation. Pour ce cas le séchage par pulvérisation est déconseillé.

La teneur en vitamines en  $\mu\text{g/g}$  de matière sèche de la Spiruline est citée dans le tableau ci-après :

**Tableau 06** : Teneur en vitamines en  $\mu\text{g/g}$  de matière sèche de Spiruline d'après **Falquet et Hurni (2006)** complété par d'autres références pour la Vitamine E :

|                   |        |                                    |                              |
|-------------------|--------|------------------------------------|------------------------------|
| B1 (thiamine)     | 34-50  | B9 (folate)                        | 0,5                          |
| B2 (riboflavine)  | 30-46  | B12 (cobalamine)                   | 0.10-0.34*                   |
| B3 (niacine)      | 130    | C(acide-ascorbique)                | Traces                       |
| B5 (pantothénate) | 4,6-25 | Provitamine A ( $\beta$ -carotène) | 700-1700                     |
| B6 (pyridoxine)   | 5-8    | Cryptoxanthine                     | 100                          |
| B8 (biotine)      | 0,05   | Vitamine E                         | 120**<br>50-190***<br>13**** |

\*\* (Falquet et Hurni, 2006)

\*\*\* (Vincenzini et al., 1980) ;

\*\*\*\* (Gomez-Coronado et al., 2004)

Parmi les vitamines hydrosolubles, on note la présence de vitamines du groupe B.

La spiruline est la deuxième source de vitamines B1, derrière la levure de bière.

- Vitamine B12

Parmi les vitamines hydrosolubles, on note la présence de vitamines du groupe B. La spiruline est l'une des seules sources d'origine végétale disponible, contenant quatre fois plus de vitamine B12 que le foie du bœuf cru, longtemps donné comme la meilleure source ; cette teneur exceptionnelle la fait recommander aux personnes atteintes d'anémie pernicieuse (**Belay, 1997**). Plus récemment, elle est rediscutée par (**Falquet et Hurni, 2006**) que la plupart des cyanobactéries utilisées en complément alimentaire contiennent une part prédominante de pseudo vitamine B12, inactive chez l'homme. Le besoin journalier en vitamine B12 d'un enfant de 6 mois à 3 ans est de 0,5 à 0,9  $\mu\text{g}$ . Si l'intégralité de la vitamine B12 (hors

le pseudo) était biodisponible, une dose de 10 g de Spiruline couvrirait de 142 % (teneur basse) à 486 % (teneur haute) des besoins de l'enfant.

La Spiruline contient une teneur très élevée en bêta carotène. Cette provitamine représente 80 % des caroténoïdes totaux, le reste étant principalement composé de xanthophylle, de crypto-xanthine, d'échinénone, de zéaxanthine et de lutéine (**Pierlovisi, 2007**).

Une étude récente de (**Wang et al. , 2008**) portant sur des chinois adultes montre que l'ingestion de 4.5 mg de  $\beta$ -carotène provenant de la spiruline apporte 1mg de vitamine A.

- Vitamine E

On note dans le Tableau 6 des teneurs en vitamine E variant de 13 à 120  $\mu\text{g/g}$  (**Vincenzini et al., 1980**). Cette très forte variabilité des teneurs est liée probablement à des méthodes de dosage soit des qualités de Spiruline différentes. Cette teneur est insuffisante pour satisfaire l'apport journalier recommandé, mais ses propriétés anti-oxydantes pour les acides gras insaturés expliquent la bonne conservation de ces derniers dans la spiruline séchée (**Ariel, 2003**).

Selon la **FDA** les besoins journaliers d'un enfant de 6 mois à 3 ans sont de 5  $10^3$  à 6  $10^3$   $\mu\text{g}$  et donc deux cuillères à café de la spiruline apportent 20% des besoins quotidiens en vitamines E (**vidalo ,2008**). Si la biodisponibilité était de 100 %, une dose de 10 g de Spiruline couvrirait de 2 à 22 % de ces besoins (**Iteman, 2008**)

Quant à la teneur en vitamine E de la spiruline, elle est pratiquement égale à celle du germe de blé.

- Vitamine A

Parmi les vitamines liposolubles, on note une teneur très élevée en B-carotène. Cette provitamine A représenterait 80% des caroténoïdes totaux et présente en quantité 15 fois plus importante que dans la carotte (**Pierlovisi, 2007**), le reste étant principalement composé de xanthophylle, de cryptoxanthine, d'échinénone, de zéaxanthine et de lutéine. La vitamine A n'étant pas synthétisée par l'organisme humain, elle doit être obligatoirement apportée par l'alimentation. Elle est impliquée dans la croissance des os et la synthèse de pigments de l'œil. La Spiruline ne contient pas de vitamine A libre, seulement du B-carotène. Les teneurs en B-carotène du Tableau 6 sont élevées, cependant un surdosage de B-carotène ne peut être toxique. L'organisme humain convertit ce pigment en vitamine A « ou rétinol » en quantité nécessaire à ses besoins (**Henrikson, 1994**). Il n'y a donc pas de risque d'excès de vitamine A (hypervitaminose).

Une étude récente de (**Wang et al., 2008**) portant sur des chinois adultes montre que l'ingestion de 4.5 mg de B-carotène provenant de la Spiruline apporte 1mg de vitamine A Ainsi, les teneurs données dans le Tableau 6 correspondraient en terme de vitamine A à 156\_378  $\mu\text{g}$  de vitamine A par g

de Spiruline. Il faudrait prendre entre 3 et 6 g de Spiruline pour couvrir les besoins journaliers recommandés chez l'adulte, estimés à 900 µg.

En ce qui concerne les enfants de 6 mois à 3 ans, si le coefficient de conversion du B-carotène en vitamine A est le même que pour les adultes, compte tenu de leur besoin journalier en cette vitamine (300 - 500 µg), il leur faudrait une dose de Spiruline entre 1 et 3 g/j.

Il est donc recommandé d'en consommer si vous voulez profiter de ses bienfaits tels que :

- ✓ La bêta-carotène dans la spiruline permet de réduire les risques de cancer des poumons, de l'estomac, de l'œsophage, de la prostate, de la gorge, des seins, du larynx, de la vessie.
  - ✓ Excellente pour les affections des yeux et la vision de manière générale.
  - ✓ Fortifie le système immunitaire et réduit les risques d'infections.
  - ✓ Favorise les cicatrisations des plaies.
  - ✓ Protège la peau des agressions extérieures, notamment du soleil.
  - ✓ La bêta-carotène dans la spiruline aide à protéger les cellules cérébrales des dommages liés à l'âge.
  - ✓ Permet de diminuer les risques d'infarctus et les accidents vasculaires cérébraux.
- 
- La vitamine C n'existe qu'à l'état de trace dans la Spiruline

### I.6.7 Les pigments

La spiruline doit son surnom d'arc-en-ciel à ses nombreux pigments ;

- Les caroténoïdes
  - ✓ Un rôle purificateur pour l'organisme (purifie le sang).
  - ✓ Une influence positive sur la fabrication de globules rouges
  - ✓ Elle alcalinise l'organisme, ce qui permet de lutter contre l'ostéoporose.
  - ✓ Elle fait baisser le taux de cholestérol.
  - ✓ Elle régule l'acidité gastrique.
  - ✓ Elle combat la constipation. **(Vidal, 2008).**
- La phycocyanine, c'est le seul pigment bleu naturel pouvant servir de colorant alimentaire et auquel on attribue une activité antioxydante importante. D'après **Vonshak (1997)**, la fraction protéique pourrait contenir jusqu'à 20 % de phycocyanine.

Les pigments sont responsables de la couleur caractéristique de certaines espèces de flamants qui consomment cette cyanobactérie dans l'Africain

Valley. Ces teneurs en pigments de *Spirulina platensis* apparaissent dans le Tableau 07.

**Tableau 07:** Teneurs en pigments exprimées en mg pour 10g de matière sèche de *Spirulina platensis*

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

Les teneurs en phycocyanine et phycoérythrine varient selon la souche et les conditions de culture. En effet, les teneurs en phycobiliprotéines (qui captent l'énergie lumineuse vers les photosystèmes) sont régulées par l'intensité de l'éclairement.

Le Tableau 07 ; montre que la cyanobactérie *Spirulina platensis* est une excellente source de phycocyanine. D'après **Vonshak (1997)**, la fraction protéique pourrait contenir jusqu'à 20 % de phycocyanine. La phycocyanine aurait une activité Anti tumorale, elle induirait un mécanisme d'apoptose (autodestruction) des cellules cancéreuses elle aurait aussi une activité antioxydant et également un rôle d'hépatoprotection (**Li et al ., 2006**).

En outre, D'après l'étude de (**Fedkovic et al. ,1993**) la forte teneur en ce pigment pourrait être d'un grand intérêt industriel ; les antioxydants comme le  $\beta$ -carotène contenus dans la Spiruline permettraient d'inhiber à la fois l'effet mutagène et l'effet régulateur induit par les radicaux libres, préservant ainsi nos tissus.

### 1.6.8 Les enzymes

L'algue bleue contient une grande quantité d'enzymes, dont la principale est le Super oxyde dismutase ou SOD, enzyme antioxydant (**Venkataraman et Becker, 1985**).

La spiruline, faible en calories, contient une mine de nutriments dans un très petit volume. Elle peut être associée à des régimes amaigrissants, car faible en calories.

La spiruline ne remplace pas les aliments caloriques tels que le manioc, le riz, le blé, la pomme de terre ou le maïs, mais c'est UN ingrédient idéal de la sauce protéinée.

Elle possède des valeurs nutritionnelles très impressionnantes fait partie des aliments à haute densité nutritionnelle comme: le germe de blé, la levure de bière, le soja, les fruits secs, le foie, les œufs; elle est, pour cela, souvent



considérée comme « un coupe-faim »,ou encore un «Alicament».(Itemen,2008)

### I.7.La production de la spiruline

La culture des micros algues consiste à mettre en œuvre la photosynthèse au niveau cellulaire.

Durant ces quinze dernières années, le nombre de productions artisanales de Spiruline n'a cessé de s'accroître, particulièrement dans les pays en voie de développement. C'est grâce à l'appui financier et technique des ONG que ces productions ont vu le jour. L'objectif des ONG est de créer un maximum de fermes aquacoles dans les contrées touchées par la malnutrition, afin de rendre la Spiruline accessible aux populations.

Sur le continent africain, les fermes existent dans une quinzaine de pays. La culture de Spiruline suscite souvent l'intérêt des autorités.

En France, une quinzaine de fermes ont été créées suite à l'ouverture en 2004, au Centre de Formation Professionnelle et de Promotion Agricoles (CFPPA) de Hyères, d'une formation à la culture de la Spiruline à vocation humanitaire (Charpy et al., 2008).

La production de Spiruline se fait à plusieurs échelles : artisanale, semi-industrielle et industrielle. Les éléments de différenciation de ces modes de production sont la surface totale des bassins de culture et leurs surfaces unitaires, les moyens et matériaux utilisés, les degrés de technologie, les objectifs. Le processus de fabrication de la Spiruline passe cependant par les mêmes étapes obligatoires, lesquelles seront décrites ci-après, sur la base des méthodes artisanales.

(Jourdan, 2006).

- **Ripley Fox** est un précurseur des projets de culture de la Spiruline à l'échelle artisanale pour lutter contre la malnutrition. En 1985, dans le cadre du système de santé villageoise intégré, il a proposé une alternative pour la petite production, utilisant les concepts de bioconversion. Son objectif était l'amélioration de l'état de santé des enfants malnutris dans les PED. Plus tard, J-P Jourdan, sensibilisé par la thèse de Patricia Bucaille (Bucaille 1990) sur l'utilisation de la Spiruline pour soigner les enfants atteints de malnutrition sévère (1986-1987), a organisé en 1992 au Zaïre la construction de plusieurs petits bassins. Il a lancé par la suite sur les continents sud-américain (Pérou, Chili) et africain (République Centre Afrique).des productions artisanales de Spiruline à vocation humanitaire.

### I.7.1 Mode de production artisanale

- **Le démarrage d'une culture**

Pour lancer une production artisanale de Spiruline il faut de l'eau contenant des nutriments, du soleil et une température entre 25 et 40°C.

Pour la mettre en place et en assurer le suivi, il faut avoir fait le bon choix du site et des matériaux de construction, disposer de quelques instruments de laboratoire (balance, loupeux microscope), de quelques outils simples à réaliser, d'intrants (engrais) et d'une souche de spiruline robuste.

Le choix du site doit tenir compte du climat : l'exposition au soleil pour un maximum d'intensité lumineuse, la température (au dessous de 20°C, la croissance est stoppée) l'accès à l'eau (cours d'eau, fleuves, puits, mer) y' de la possibilité d'acheter les intrants

Le choix d'un site pour l'implantation d'une ferme de Spiruline en Afrique dépend en outre de la volonté et de la compétence d'un partenaire local et de l'acceptation par les populations locales



**Bâche plastique**



**Béton**

**Figure 03 : Exemples de bassins de culture (Itemen, 2008)**

-Actuellement la taille minimum recommandée pour un bassin est de 60m<sup>2</sup>. Les bassins sont remplis d'eau à un niveau atteignant 15 à 20 cm, ces bassins doivent être dans des endroits ensoleillés, ni en un lieu inondable, ni près d'une zone polluée.

Avant ça il faut respecter certaines notes :

- Des allées de circulation entre les bassins
- Un local pour le stockage des produits chimiques
- Un local pour les analyses et les contrôles, le conditionnement
- Un emplacement pour les séchoirs solaires (Jourdan, 2006)

Le milieu de culture est basé sur celui de Zarrouk (1966), modifié la plupart du temps en fonction des disponibilités des intrants.

L'agitation des bassins se fait de plus en plus avec une roue à aube ou une pompe exceptée pour les petits bassins encore agitée au balai

Les sites de production ne sont pas toujours situés à proximité d'un gisement naturel de Spiruline. Les souches circulent d'une exploitation à l'autre et franchissent les frontières. Lorsque le choix est possible, les souches préférées sont la *Platensis*, la *Lonar*, la *Paracas*, considérée à l'heure actuelle comme la plus résistante et la plus productive.

### ▪ Récolte et extrusion

Dans de bonnes conditions il est possible de récolter chaque jour 1/6 à 1/3 de la culture. La culture est filtrée à travers deux dispositifs, en général superposés. Le premier est constitué d'une toile fine (maillage environ 300 µm de vide) qui retient les grumeaux, insectes, larves et feuilles. Le second est un tissu à mailles plus fines (environ 30 µm) qui retient la Spiruline.

La biomasse humide est pressée. La Spiruline fraîche ainsi obtenue peut être consommée directement, ou séchée pour conservation.

D'après (**Jourdan, 2002**) le fait d'avoir une culture assez dense dès le début de culture, évite le développement des algues étrangères, elles sont privées de lumière donc restent au fond. Les algues intruses peuvent être de simples chlorelles (algue verte monocellulaires comestibles) des *Oocystes* (grosses chlorelles) ou des cyanobactéries toxiques.

### ▪ Séchage et conditionnement

La biomasse est extrudée en spaghettis afin de pouvoir la sécher plus facilement. Elle est mise à sécher dans des séchoirs solaires, à gaz ou électriques. La norme de la teneur en eau de Spiruline sèche est inférieure à 10%. En général la Spiruline vouée à la commercialisation contient 7 % d'eau. Le séchage dans un four jusqu'à 60°C semble ne pas modifier de façon notable les propriétés de la Spiruline

La méthode la plus simple, et sans doute la moins chère en investissements, consiste à utiliser les séchoirs électriques Stoeckli; il en faut une douzaine pour sécher les 5 kg/jour, avec une fournée de nuit. Le séchage en étuve électrique demande un peu moins de travail parce que les plateaux sont plus grands. L'étuve peut être couplée à un capteur solaire (en toiture) ou à un déshumidificateur pour économiser l'électricité. Dans ce dernier cas, particulièrement adapté aux climats chauds et humides, le matériel ne doit pas être isolé thermiquement et l'air en circulation doit être refroidi en dessous de 35°C.

Les spaghettis secs sont versés dans un récipient intermédiaire de 100 litres à travers un entonnoir de dimension adaptée à celle des plateaux. Ils sont écrasés au pilon puis broyés et ensachés. Les emballages sont scellés sous vide par une machine du type utilisé pour emballer le fromage en Suisse

La Spiruline sèche est alors broyée sous forme de poudre ou sous forme de paillettes et conservée dans un récipient étanche à l'abri de l'humidité et de la lumière. La Spiruline peut être conditionnée dans des

sachets, boîtes ou flacons sous formes de brindilles, de poudre, de gélules et de comprimés (**Itemen, 2008**)

La spiruline a une durée de vie et de conservation de deux ans, à l'abri de la lumière et de l'humidité. A stocker à température ambiante. Il existe aussi de la spiruline fraîche. Le problème de celle-ci est sa durée limitée de conservation.

Par conséquent, seul un conditionnement opaque et sous vide (dans des sachets aluminés multicouches thermos cella bels) pour garantir la conservation longue durée de la spiruline peut aller jusqu' à cinq ans à 30° C (**Jourdan, 2002**)

### **I.7.2 Production semi-industrielle et industrielle**

Les systèmes de production semi-industrielle et industrielle se différencient par l'ordre de grandeur de l'investissement, la surface des bassins de culture, le tonnage de production, et la sophistication des techniques de production Les fermes semi-industrielles sont des systèmes de production qui peuvent être modulaires et démarrer à partir de petites exploitations de type artisanal. Ces fermes sont constituées de bassins de 200 à 1000 m<sup>2</sup> avec une surface totale exploitée entre 3000 m<sup>2</sup> et 1 hectare. Leur capacité de production annuelle est de 10 à 50 tonnes (**Ayala et al., 2006**).

La demande de Spiruline au niveau mondial est en augmentation et certaines exploitations sont passées à une échelle industrielle. Les productions industrielles sont représentées, depuis plus de 20 ans, par de grosses compagnies telles qu'Earthrise, Cyanotech ou Siam Algae. Cette production se distingue des précédentes par l'importance des moyens mis en place dont ceux pour les contrôles de qualité, sa capacité de production et son objectif, purement commercial. Une exploitation industrielle, d'une surface totale de plusieurs hectares, peut produire entre 50 et 500 tonnes de Spiruline sèche par an. Les bassins ont une surface de 1000 à 5000 m<sup>2</sup> La plupart des productions industrielles utilisent des systèmes informatisés contrôlant automatiquement la production (**Itemen, 2008**)

Le séchage dans ce cas se fait par différents modes :

- **Séchoir solaire modèle "Bangui"** : se fait par circulation d'air chaud au Travers de 8 cadres en moustiquaire plastique (surface utile totale = 1, 2 m<sup>2</sup>) sur lesquels est disposée la biomasse extrudée à sécher.
- **Séchoir solaire à gaz** : Le séchage peut aussi se faire directement par les gaz de combustion, convenablement dilués pour régler leur température (en jouant sur la hauteur des plateaux par rapport au brûleur), mais à deux conditions :
  - Brûleur de bonne qualité (ne charbonnant pas et donnant une flamme bleue)
  - Gaz de bonne qualité (le gaz butane courant en France convient).

- **Séchoir solaire à chauffage indirect** : Le séchoir est constitué d'un caisson en tôle noire mate portant 5 plateaux amovible (cadre bois + moustiquaire nylon),

### **I.8.Le dosage de la spiruline**

la dose de spiruline utilisée comme complément alimentaire(en dehors des états de malnutrition sévère) se situe aux alentours de 3à5g par jour. En lien direct avec ses propriétés détoxiquâtes, lorsque les dosages de départ sont trop élevés, des symptômes que des troubles gastro-intestinaux et /ou des céphalées peuvent survenir. on conseille généralement de consommer jusqu'à 5 g de spiruline par jour un peu avant les repas et comme la spiruline peut avoir un effet stimulant chez certaines personnes, il est préférable de ne pas en prendre le soir. **(Jourdan, 2006).**

### **I.9.L'assimilation de la spiruline**

La paroi de la cellule de la spiruline est très mince, contrairement aux algues de mer: les nutriments sont donc rapidement et complètement absorbés par le corps et facilement assimilées par des enfants et personnes âgées, elle peut être accompagnée avec un jus de fruit pour faciliter encore plus l'assimilation de certains composants notamment le fer, aussi saupoudrée sur un yaourt, dans un plat. Certains éléments nutritionnels de la spiruline seront mieux assimilés par votre organisme si vous y ajoutez une source de vitamine C avec des oranges, des kiwis, des brocolis etc.

La spiruline contient une très faible teneur en cellulose, ne pose pas de problèmes d'assimilation par l'organisme est très digeste et bien assimilable par le corps, contrairement à d'autres compléments alimentaires qui demandent beaucoup d'énergie pour leur digestion.

En effet, l'organisme ne stocke pas les vitamines, protéines et oligo-éléments. Notre métabolisme fait un petit peu du "à consommer sur place". Il prend ce dont il a besoin et s'il y en a trop. **(Itemen, 2008)**

### **I.10.Bienfaits de la spiruline (Avantages à consommer de la spiruline) :**

#### **I.10.1 Usage humain**

Notons toutefois, que la spiruline commence à faire l'objet de recherches culinaires et qu'un recueil de recettes à base de spiruline a été publié, elle est considérée comme un complément alimentaire et répond à la législation dans un cadre juridique complet en transposant dans le droit national la majeure partie de la directive européenne n° **2002/46/CE**. En effet,

la spiruline a un potentiel étonnant sur le plan nutritionnel 1 kg sec de la bactérie équivaut à une tonne de fruits et légumes et de viandes en termes de vitamines, protéines et acides aminés. Un gramme de spiruline suffit donc pour nourrir une personne, ce qui représente un gain de poids considérable. Cette micro algue existe sous deux états :

### ➤ **Biomasse fraîche**

La biomasse fraîche de bonne qualité peut être directement consommée après pressage ou bien elle peut être mise en conserves (congelée, salée, sucrée ou séchée). Fraîche, elle peut se garder en récipient fermé jusqu'à 4 jours à 1°C, 2 à 3 jours à 5°C, un jour à 8°C, mais seulement si elle n'a pas été lavée (avant de consommer une spiruline conservée au réfrigérateur, vérifier son odeur). Bien que le meilleur moment pour récolter soit le matin, il est possible de retarder un peu la récolte jusqu'à un moment plus opportun pour la cuisine ou le repas si l'on n'a pas de réfrigérateur. En cours de stockage en réfrigérateur, en récipient non fermé, il arrive que des sels résiduels migrent en surface du produit, lui conférant un goût amer : dans ce cas enlever la "croûte". Le meilleur mode de stockage en réfrigérateur est sous la forme de saucisses (sans contact avec l'air) qui évite tout risque de retombée de goutte d'eau distillée sur la biomasse. En climat tempéré, la spiruline fraîche récoltée l'hiver peut se conserver très longtemps au réfrigérateur à 5°C, 10 à 15 jours par exemple. Dans l'option congélation, veiller à ne pas congeler de trop grosses masses unitaires qu'il serait impossible de diviser lors de l'utilisation : le mieux est souvent de faire des "glaçons" très pratiques (on peut utiliser les bacs à glaçons classiques).

-Les personnes qui n'aiment pas l'odeur un peu forte de la spiruline sèche (odeur rappelant le poisson séché) préféreront la spiruline fraîche (ou congelée), qui n'a pratiquement ni odeur ni goût si elle est de bonne qualité et qui semble posséder un certain pouvoir exhausteur de goût, un peu comme le glutamate de sodium, et permettre donc de relever le goût de nombreux mets auxquels on l'ajoute. La spiruline fraîche de bonne qualité étant de consistance très ferme on peut faciliter son emploi en lui rajoutant peu d'eau puis de crème ou d'huile pour en faire une sauce verte de la consistance souhaitée, éventuellement assaisonnée d'ail ou d'oignon. On prépare facilement une sauce délicieuse pour accompagner des gâteaux d'apéritif en mixant spiruline fraîche + crème fraîche + un peu de fromage bleu, etc.

La spiruline fraîche et crue est environ deux fois plus efficace que la spiruline séchée et trois fois plus que la spiruline séchée et cuite, car plus digeste et plus riche en certains éléments actifs comme le bêta-carotène, la phycocyanine, l'acide gamma-linoléiques et le fer assimilable.

La spiruline congelée doit être décongelée et utilisée très rapidement, sinon elle se gâtera : le mieux est de la plonger dans de l'eau bouillante pour en faire un bouillon ou une sauce "instantanés" à accommoder au choix (**Jourdan, 2006**)

## Etude Bibliographique - Chapitre I:La Spiruline

---

La spiruline est un aliment extrêmement riche. Elle possède la composition la plus complète connue à ce jour. C'est grâce à cette richesse exceptionnelle que ce « Super Aliment » recèle de bienfaits pour la santé parmi eux :

Le premier bienfait de la spiruline est de compléter l'alimentation quotidienne afin d'apporter à votre organisme tous les éléments nutritionnels nécessaires à son bon fonctionnement et couvrent une grande majorité des besoins nutritionnels journaliers.

La spiruline est une bonne aide au régime équilibré.

- ✓ Augmenter l'endurance.
  - ✓ Améliorer sa résistance.
  - ✓ Aider le corps de la mère durant la grossesse.
  - ✓ Éviter les carences alimentaires et de malnutrition.
  - ✓ Redonner de l'éclat aux cheveux à la peau et aux ongles.
  - ✓ Mieux supporter les règles, la ménopause et la grossesse.
  - ✓ Renforce le capital musculaire: grâce à sa teneur en protéines végétales (60%).
  - ✓ Réduire les douleurs musculaires.
  - ✓ Garder ou retrouver la vitalité.
  - ✓ Elle permet à travers un phénomène de photosynthèse de produire de l'oxygène à partir du gaz carbonique. Et qui dit oxygène dit développement de la vie, et qui dit développement de la vie dit au final développement de nous-mêmes..
- ✓ propriétés antioxydants, un effet sur le taux d'insuline, immunostimulantes et qu'elle peut réduire les taux de lipides sanguins (le taux cholestérol) grâce à ses éléments antioxydants et aussi grâce à ses acides gras polyinsaturés, de l'acné, les allergies, les maladies cardiovasculaires (l'hypertension) en raison des antioxydants.
- ✓ Réduire les symptômes de la rhinite allergique. A la différence de la plupart des aliments, la spiruline ne semble jamais provoquer de réactions allergiques, que ce soit par contact ou par sa consommation.

L'activité purifiante de la spiruline pure permet une évacuation rapide et efficace de la dioxine de carbone et l'acide lactique. Elle permet de ce fait une augmentation de l'énergie et une récupération plus rapide après un entraînement ou une compétition.

Par sa teneur en Fer et en vitamine B12, en bêta-carotène, la spiruline favorise la production de globules rouges du sang. Cela permet de mieux transporter l'oxygène dans tout le corps présente grand intérêt pour les sportifs notamment sur le plan de l'oxygénation des muscles et ainsi combattre la fatigue et

## Etude Bibliographique - Chapitre I:La Spiruline

---

l'anémie, les risques du surentraînement et les douleurs musculaires et l'antifatigue.

- ✓ Intervenant dans l'intégrité des cellules, indispensable au bon fonctionnement du système immunitaire grâce à son richesse en acides gras essentiels.

Ralentir le vieillissement de la peau grâce à ses molécules anti-oxydantes (acide gamma-linoléiques, phycocyanine, tocophérol, carotène, sélénium et zinc) elle assure un renouvellement cellulaire rapide. Les antioxydants de la spiruline réduisent l'activité des radicaux libres, responsables du vieillissement. De plus, les acides gamma-linoléniques de la spiruline apportent souplesse, élasticité, et donc douceur à l'épiderme.

- ✓ Aide à combattre les affections virales telles que les gastro, gripes, etc.
- ✓ Augmente la vigilance mentale.

La spiruline permettrait des actions sur l'organisme grâce à la phénylalanine, un acide aminé dont une des propriétés serait qu'il aurait un pouvoir coupe-faim qui pourraient effectivement aider à perdre du poids.

- ✓ Améliore le transit et restaure la flore intestinale.
- ✓ Lutte contre les problèmes de sommeil.
- ✓ Régénère les cellules.
- ✓ Favorise la cicatrisation.
- ✓ Booste l'énergie et améliore l'humeur.

véhiculer l'oxygène dans notre organisme, de le désintoxiquer en activant la circulation, mais surtout de maintenir un bon équilibre acido-basique, favorise la santé des bactéries pro-biotiques grâce à sa concentration en chlorophylle également la spiruline a une action de stimulation de la production de lactobacilles. Cette des micro-organismes qui permettent d'améliorer l'absorption intestinale et la digestion.

Purifier des métaux lourds (les dioxydes, mercure, l'arsenic, cadmium et le plomb...) stockés dans notre organisme provoquant fatigue, cystites ou mycoses. Elle a la propriété de fixer les métaux lourds, les pesticides et les toxines et de nettoyer le corps des impuretés (nephrotoxicité des reins) et de les évacuer vers les intestins en raison de leur effet detoxifiant.

Contrairement à d'autres algues bleu-vert, la spiruline n'est pas contaminée par des toxines appelées microcystines<sup>25,26</sup> et l'anatoxine-a.

La spiruline est excellente pour les sportifs : dû à la forte proportion de protéines qui sont un élément essentiel à des fonctions dans la formation des muscles et la régénération des fibres. la spiruline contient également des polysaccharides - sucres naturels, pour simplifier - qui sont donc une source d'énergie immédiate.



La Spiruline est un excellent supplément alimentaire pour les personnes âgées, les sportifs, les adolescents, les femmes enceintes,... en clair, pour toute personne souhaitant un bon équilibre alimentaire puisque est une algue remplie de bons éléments alors consommez de la spiruline pour votre bien-être et afin de maintenir sa bonne santé et prévenir toutes sortes de maladies.

Une réduction par la spiruline des effets provoqués par les rayons gammas.

L'efficacité de la spiruline pour réduire l'appétit et perdre du poids grâce à la chlorophylle qu'elle contient.

La spiruline une culture respectueuse de l'environnement , très écologique car elle nécessite peu d'eau et aucun pesticide ; cyanobactérie 100% naturelle, sans organisme génétiquement modifiés, ni pesticides, sans additifs, sans conservateurs, ni colorants.(**Chopra et Bishnoi . ,2007**)

### ➤ Spiruline cuite

En cas de doute sur la qualité bactériologique de la spiruline, fraîche ou sèche, il est prudent de la cuire au moins une ou deux minutes, surtout pour les personnes affaiblies ou les enfants en bas âge: on peut pour cela l'ajouter à la soupe ou à la sauce en fin de cuisson. On peut préparer un bouillon en délayant la spiruline dans l'eau bouillante, et arrêter la cuisson dès que "ça monte" (comme le lait). La phycocyanine (pigment bleu) est détruite au-dessus de 70°C en présence d'eau. L'acide gamma-linoléique n'est pas détruit lors de la cuisson (10 minutes à l'ébullition) d'une bouillie de sevrage à base de farines de céréales et de spiruline sèche (**Jourdan, 2006**) comme l'ont montré des essais faits par **Dupire (1998)**. Il arrive que la spiruline devienne brune dans l'eau bouillante, mais ce n'est pas toujours le cas.

La spiruline est généralement vendue sous différents forme : en comprimés, en capsules qui sont plus chers, ou en gélules, saupoudrée bleu-vert déshydratée(ou spiruline concassée) ou, parfois, en minuscules brindilles ou en paillettes ou en brindilles aussi sous forme d'aiguillettes, plus savoureuse que les poudres ou les comprimés.



**Figure 04:** Différentes formes de la spiruline séchée (**vidalo, 2008**)

La spiruline peut être consommée en plusieurs manières :

Délayer la spiruline dans un verre d'eau ou de jus de fruits tel quelle. est de la dissoudre dans de l'eau, puis d'ajouter une source de sucre, comme du miel. Une façon intéressante et agréable de la consommer

Saupoudrer sa spiruline sur des plats froids : yaourts, fromages blancs, petits suisses, céréales, salades de crudités. En l'ajoutant à un smoothie à base de boisson de soya à la vanille biscuits, bonbons et séchée en spaghetti, de petits fruits, de graines de lin ou de chia, nouilles, soupes instantanées, barres énergétiques.

Pour permettre à ceux qui n'aiment pas son goût d'algue, typique « vert » et pour les gens qui n'aiment pas ou ne consomment pas assez de légumes de profiter de ses vertus nutritionnelles (**Sisso, 2001**).

### **I.10.2 Usage animale**

La Spiruline notamment le second choix peut se valoriser dans l'alimentation des animaux (poulet, vaches, chevaux, poissons crustacées larves de crevettes, etc.), elle améliore leur santé, leur apparence, leur qualité et/ou leur performance (**Jourdan, 2006**).

- ✓ Pour augmenter la pigmentation, la spiruline est utilisée pour ses pigments afin d'accentuer la coloration des poissons d'ornement et pour améliorer la pigmentation des crevettes et des poissons (**Regunathan et Wesley, 2006**). En aquariophilie pour accentuer la coloration des poissons d'ornement (**James et al. , 2006**).
- ✓ Favoriser la croissance et la fertilité. Des études sur les poissons d'aquarium tels le *Xiphophorus helleri* (**James et al., 2006**) et la crevette *Fenneropenaeus chinensis* (**Kim et al., 2006**) ont montré les effets bénéfiques de *Spirulina platensis* dans ce domaine.

Pour améliorer les performances des animaux, elle est vendue comme additif à la nutrition des taureaux reproducteurs, des chevaux de course

En aquaculture, la Spiruline est ajoutée aux granulés dans la nourriture des poissons d'élevage, plus souvent soumis à des infections virales et/ou bactériennes que les poissons sauvages. (**Charpy et al., 2008**).

### I.10.3 Autres utilisations

D'après **Harrigan et Goetz (2002)**. Le groupe des cyanobactéries produit une variété de métabolites secondaires dans leur milieu de culture. Beaucoup de ces produits naturels ont des activités antibiotique, algicide, antiviral, fongicide (**Harrigan et al., 1999**) ; (**Mundt et al., 2001**).

- En cosmétique, la Spiruline est utilisée dans les masques cryogéniques et crèmes anti-âge, par son action sur le renouvellement cellulaire et la tonicité des tissus. Elle est aussi utilisée en synergie avec d'autres algues, comme agent cicatrisant et antiseptique (**Spolaore et al., 2006**).
- Dans l'agroalimentaire, elle est utilisée comme colorant naturel (la phycocyanine est un des rares pigments naturels de couleur bleue) dans les chewing gums, sorbets, sucreries, produits laitiers, boissons non alcoolisées. Elle apparaît également dans une gamme de produits algaux mélangée à du sel, des tagliatelles etc. En Suisse et au Japon, il existe depuis longtemps du pain à la Spiruline (**Mundt et al., 2001**).
- Dans l'aérospatiale, l'agence spatiale européenne (ESA) s'est intéressée à la Spiruline dans le cadre de son programme MELISSA (Micro-Ecological Life Support System Alternative). Ce projet, prévoit d'utiliser dans l'espace un écosystème artificiel fermé<sup>11</sup> composé de plantes supérieures et de micro-organismes, en vue des voyages à longue distance (Terre - Mars par exemple). Commencé en 1989, ce programme implique à présent une dizaine d'équipes dans toute l'Europe et au Canada. (**Razafindrajaona et al., 2008**)

### I.11. Effets indésirables (effets secondaires) de la spiruline

Concernant les effets secondaires de la spiruline, on peut affirmer sans ambages qu'il n'en existe pas. Bien que la spiruline soit un supplément nutritionnel pur et naturel, quelques cas d'effets secondaires très rares ont été enregistrés dont la spiruline est déconseillée en raison de ses effets secondaires, à ces groupes de personnes (extrêmement rares) :

- Les personnes atteintes de phénylcétonurie, qui ne peuvent métaboliser la phénylalanine, acide aminée présente dans la spiruline.
- Les personnes atteintes d'hémochromatose, maladie génétique rare caractérisée par une hyper absorption de fer par l'intestin.
- Chez certaines personnes, divers symptômes comme des troubles gastro-intestinaux et des maux de tête peuvent survenir, notamment lorsque les dosages de départ sont trop élevés. Pour éviter ces symptômes reliés aux propriétés détoxifiantes de la spiruline, commencer par 1 g par jour

(1/4 c. à thé) durant 1 semaine et augmenter progressivement la dose au cours des semaines suivantes.

- La spiruline a une action detoxifiante. Il est donc recommandé de commencer par de petites doses et d'augmenter progressivement afin d'éviter des désagréments intestinaux éventuels (gaz).ces cures peuvent être périodiques et durent généralement 1 mois. Il est également possible d'en consommer quotidiennement tout au long de l'année. Sachez également que "forcer la dose" ne servira à rien le surdosage n'ayant aucun effet multiplicateur des bienfaits.
- Les algues marines renferment beaucoup de substances y compris des métaux lourds! Restez donc vigilant si vous en consommez sous une forme non dénaturé et si vous n'êtes pas sûr de sa provenance.
- En France les plupart des lots de spiruline vendues dans les commerces sont issues de bassins d'eaux douces, le risque de contamination par les métaux lourds est donc nul.

Par contre, elle est moins énergétique qu'un œuf par exemple, puisqu'elle contient très peu de calories (**Anonyme, 2006**)

### I.11.1 Toxines des cyanobactéries

Certaines cyanobactéries synthétisent des toxines, ainsi les micro cystines synthétisées par *Planktothrix agardhii*, auraient entraîné des déficiences hépatiques et la mort de patients traités dans un centre d'hémodialyse au Brésil en 1996 (**Jochimsen et al., 1998**). La même cyanobactérie aurait contaminé les organismes aquatiques du lac Varese en Italie en août 1997 (**Prati et al., 2001**). Cependant des études dont celle réalisée dans l'étang de Bolmon (**Kohler et Hoeg, 2000 ; Briand et al., 2002 ; Chomérat et al., 2006**)

ont montré que la toxicité de *Planktothrix agardhii* n'est pas toujours exprimée. En ce qui concerne les Spirulines, elles ne possèderaient pas les gènes qui assurent la synthèse des cyano toxines (**Charpy et al ., 2008**)

Les cyano toxines ne seraient pas présentes dans la Spiruline. Il existe aujourd'hui une méthode « Multiplex PCR » (**Saker et al., 2007**) de détection des gènes impliqués dans la synthèse des micro cystines, qui sont des cyano toxines présentes dans les cyanobactéries.

Des analyses réalisées par un laboratoire indépendant ont montré l'absence de Beta-Nmethylamino-L-alanine (BMAA) dans la Spiruline produite par Cyanotique. Cependant il paraît important de vérifier si le gène responsable de la synthèse du BMAA existe dans génome de la Spiruline et si c'est le cas, de connaître les conditions de cultures qui provoquent ou non l'expression du gène (**Razafindrajaona et al., 2008**). A cause de ce risque,

**(Gantar et Svircev, 2008)** estiment qu'il vaut mieux extraire les molécules actives de la Spiruline plutôt que la consommer directement

- Un acide aminé potentiellement toxique, le Beta-N-méthylamino-L-alanine (BMAA), serait présent dans 97 à 98% des cyanobactéries souches et espèces **(Cox et al., 2005)**. Des observations sur le peuple Chamorro (Micronésie) ont montré que cette molécule pourrait être responsable de la maladie d'Alzheimer **(Weiss et Choi, 1988)**. La neurotoxicose de cette molécule fait l'objet de publications récentes **(Cruz et al., 2006)** mettent en cause la neurotoxicose du BMAA chez la souris; **(Lobner et al., 2007)** montrent que le BMAA à faible dose associé à un traumatisme peut jouer un rôle dans les maladies neuro dégénératives chez la souris et appellent à de nouvelles recherches.

La spiruline absorbe très facilement les métaux lourds présents dans le milieu de culture. Certains sont toxiques pour l'homme (mercure, plomb, cadmium). **(Jourdan, 2006)**

Dans un récent ouvrage **(Chamorro et al., 2007)** rapportent que les évaluations de toxicité sur des animaux nourris à court et long terme avec de fortes doses de Spiruline n'ont pas révélé de toxicité. Ils considèrent qu'il faut cependant être prudent avant d'extrapoler le modèle animal à l'homme.

### I.11.2 Contamination par micro-organismes

Dans le milieu de culture, au pH élevé (> 9, 5) où l'on travaille, la majorité des microbes dangereux pour l'homme sont normalement inactivés en deux jours. Attention aux cultures à pH < 9,5 (cultures jeunes à base de bicarbonate, ou trop forte injection de CO<sub>2</sub>), qui risquent de ne pas bénéficier de cet effet protecteur. Par ailleurs il a été signalé le risque que certains microbes pathogènes introduits dans des cultures de spiruline (sans doute par suite d'une mauvaise observation des règles d'hygiène) deviennent résistants aux pH élevés, ce risque pouvant être augmenté si le sucre est utilisé comme apport de carbone; mais il n'a jamais été confirmé.

Il a été signalé aussi l'existence de microbes ou parasites africains risquant d'être résistants aux pH élevés: là non plus aucun cas réel n'a été observé si l'on suit des règles normales d'hygiène.

Les cultures contiennent par ailleurs des microbes bio-dégradeurs adaptés au milieu de culture et qui jouent un rôle bénéfique, à côté du zooplancton, en purifiant le milieu et en recyclant des nutriments, tout en aidant à éliminer l'oxygène et en fournissant du gaz carbonique.

Des germes de moisissures sont toujours présents dans les cultures car des moisissures apparaissent régulièrement sur le flottant laissé longtemps sans agitation (comme à la surface des confitures artisanales), et l'analyse bactériologique décèle couramment de 5 à 500 colonies/g. **(Jourdan, 2006)** les différents germes existants lors d'une contamination sont montrés dans le tableau ci-dessus :

**Tableau 08:** L'ensemble des bactéries contaminants de la spiruline frais ou sec:

| Bactéries                            | Norme admise sur produit frais ou sec France (germe/g) |
|--------------------------------------|--|
| Germes aérobie (30°C)                | ≤100 000   |
| Coliformes fécaux (44,5°C)           | <10  |
| Anaérobies sulfite-réducteurs (46°C) | <100   |
| Clostridium perfringens              | ≤1   |
| Salmonella                           | absence dans 25g                                       |
| Staphylococcus aureus                | ≤100   |
| Streptocoques                        | 0  |
| Leveures et moisissures              | ≤100   |

### (FOX, 1999)

L'usage du sucre comme apport de carbone, ainsi que le fait de ne pas récolter pendant longtemps, provoquent une augmentation dans la culture du nombre de microorganismes filamenteux apparemment incolores, qui gênent la filtration mais ne se retrouvent pratiquement pas dans le produit fini (N.B. ces filaments apparemment incolores semblent provenir des boues où ils sont présents en grand nombre).

Une analyse bactériologique de vérification devrait être faite sur le produit fini de temps en temps (une ou deux fois par an). En raison des risques de contamination après récolte, une pasteurisation du produit fini peut être nécessaire mais elle doit être évitée si possible (**Jourdan, 2006**).

D'après **Jourdan (2002)** le fait d'avoir une culture assez dense dès le début de culture, évite le développement des algues étrangères, elles sont privées de lumière donc restent au fond. Les algues intruses peuvent être de simples chlorelles (algue verte monocellulaires comestibles) des Oocystes (grosses chlorelles) ou des cyanobactéries toxiques.

### I.12. Prix de vente

Il est très difficile d'obtenir des renseignements permettant de connaître la production mondiale actuelle et les coûts de production de la Spiruline. Les chiffres donnés ne le sont qu'à titre indicatif, ils viennent pour la plupart d'une étude réalisée en 2000 par le bureau d'étude Tracte bel Consulte en association avec le Centre Universitaire de Biotechnologie Algale (CUBIA, Belgique)

La production mondiale a régulièrement augmenté surtout depuis 1995, elle serait aujourd'hui supérieure à 4000 Tonnes. La Spiruline est commercialisée en poudre sèche à l'état brut ou bien intégrée dans les produits finis, elle est généralement vendue sous forme de gélules ou de comprimés ou directement intégrée dans les aliments (agroalimentaire) et dans les crèmes (cosmétique)

## Etude Bibliographie - Chapitre I:La Spiruline

---

La Spiruline des productions artisanales en France est vendue de 75 à 130 € le Kg. En Afrique, les prix de vente sont bien inférieurs généralement de 25 à 40 € le kg très variable selon le prix de revient, mais relativement bon marché

Dans les pays développés, la Spiruline issue de la production industrielle est vendue au prix de gros sous forme de poudre de 16 à 19 € le kg en qualité humaine et de 8 à 13 € le kg en qualité animale. Elle apparaît sur le marché sous forme de comprimés à 200 € le kg et sous forme de gélules à 500 € le kg. **(Charpy et al., 2008).**

Le prix de vente de la spiruline sèche est extrêmement variable selon les lieux, les quantités, la qualité, l'emballage, la conjoncture, etc. En 1999 le prix international par tonne est tombé autour de 10 \$/kg sous la pression chinoise. Au détail on trouve de la spiruline en poudre autour de 80 \$/kg, tandis qu'en gélules elle se vend en pharmacie autour de 300 \$/kg

En ce qui a trait au rapport efficacité/prix, la spiruline n'est pas beaucoup plus chère par portion de 10 g que les aliments comme : les œufs ; la viande rouge, le lait, le soja, poisson bœuf, lorsqu'on l'achète en gros format et en poudre. **(Itemen, 2008)**

# Chapitre I: Matériel et Méthode



## I.1. Matériel biologique

### ➤ Microorganisme

Le prélèvement de la souche mère de Spiruline Htam a été effectué dans la région de Tamanrasset au niveau de la Guelta du Palmier situé à 1824 m d'altitude et à 23°N et 5°E dans des conditions aseptiques pour éviter toute contamination de la souche mère, le transport de l'échantillon est assuré d'une manière à éviter tout contact avec l'air extérieur.

## I.2. Méthodes d'analyses microbiologiques de la spiruline séchée

Les analyses microbiologiques visent le contrôle de la souche Spiruline Htam. Elles se font par isolement des microorganismes du substrat solide et les mettre en suspension dans un diluant et les placer après au contact d'un milieu Nutritif et dans les conditions favorables de développement (humidité et température).

### • Préparation des dilutions des produits solides:

Dans ce cas la préparation de la dilution se fait selon les étapes suivantes :

-introduire aseptiquement 25 grammes de produit à analyser (la spiruline séchées) dans un sachet stérile contenant au préalable 225 ml de TSE, homogénéiser pendant 3 à 4 minutes selon la texture du produit, cette suspension constitue alors la dilution mère (DM) qui correspond donc à la dilution 1/10 ( $10^{-1}$ ).

### ▪ Dilutions décimales

- Introduire aseptiquement 1 ml de la solution mère dans un tube contenant 9 ml de diluant stérile « TSE », on obtient la dilution 1/10(DM)

-Introduire ensuite aseptiquement à l'aide d'une pipette en verre graduée et stérile 01 ml de la dilution mère, dans un tube à vis stérile contenant au préalable 09 ml de diluant « TSE »: cette dilution constitue alors la dilution  $10^{-2}$ , mélanger soigneusement et doucement.

-Changer de pipette et prendre aseptiquement 1 ml de la dilution  $10^{-2}$ , à introduire dans un tube à vis stérile contenant au préalable 09 ml de diluant TSE :cette dilution est alors 1/100 ou  $10^{-3}$ , mélanger soigneusement et doucement.

Les principaux microorganismes recherchés sont indiqués comme suite :

### **a. Recherche et dénombrement des germes totaux à 30°C (AFNOR VFV 08-051)**

Pour la recherche des germes aérobies, il est nécessaire de procéder à un ensemencement en profondeur d'une gélose TDYM coulée dans des boîtes de pétries, l'incubation se fait à 30°C en aérobiose pendant 72h.

Les colonies des germes mésophiles totaux se présentent sous formes lenticulaires en masse de couleur blanchâtre. Le démembrement consiste à compter toutes les colonies ayant poussées sur les boîtes en tenant compte des facteurs suivants :

- ✓ Ne dénombrer que les boites contenant plus de 30 colonies et moins de 300 colonies.
- ✓ Multiplier toujours le nombre trouvé par l'inverse de sa dilution et faite ensuite la moyenne arithmétique des colonies entre les différentes dilutions.

### **b.Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux (AFNOR NF V 08 -050)**

Pour la recherche des coliformes, il faut procéder à un test de présomption sur le milieu sélectif VBL réservé à la recherche des coliformes totaux et un test de confirmation dans une eau peptonée exempte d'indole réservé à la recherche des coliformes fécaux essentiellement Escherichia. Coli. La lecture finale s'effectue selon la table de MAC GARDY.

### **c.Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux (AFNOR NF T 90-411)**

La Recherche ainsi que le dénombrement des streptocoques fécaux se fait en milieu liquide (milieu Rothe simple et double concentration) par la technique du NNP (nombre de plus probable) selon la table de Mac Grady.

### **d.Recherche et dénombrement des anaérobies sulfito -réducteur (AFNOR NF V 08-056)**

Les anaérobies sulfito -réducteur sont un groupe de germes appartenant au genre Clostridium, germes anaérobies qui ont la capacité de réduire les sulfites en sulfure par réaction d'oxydation. La recherche se fait sur une gélose viande foie avec une lecture tous les 9h.

Sont considérés comme positifs les tubes présentant des tâches noires qui correspondent à des spores de Clostridium.

### **e.Recherche et dénombrements des staphylocoques (ISO 6888-1999)**

La recherche des staphylocoques est réalisée sur la gélose de Baird Parker, Incuber à 37°C pendant 24h.

Leur lecture est caractérisée par la formation de colonies noires, brillantes, convexes, entourées d'un halo d'éclaircissement du jaune d'œuf (2 à 5 mm de diamètre, correspondant à une protéolyse), à l'intérieur du halo il peut apparaître une zone opaque due à l'action d'une lécithinase.

### **f.Recherche et dénombrement des levures et des moisissures (AFNOR NFV 08-052)**

Il est nécessaire de procéder à un ensemencement sur un milieu de culture sélectif OGA à 25 °C pendant 5 jours, le comptage se fait à partir de nombre de colonies obtenu sur le milieu gélosé.

### I.3. Méthodes d'analyses nutritionnelles de la spiruline séchée

#### a. Détermination de la teneur en humidité (NF V 04-282/ ISO 5534).

La détermination de la teneur en humidité s'est faite par étuvage à  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  jusqu'à stabilité du poids. Les résultats exprimés en pourcentage du poids d'eau par rapport au poids initial, sont exprimés par l'équation suivante :

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100$$

**H** : taux d'humidité, exprimé en pourcentage (%) en masse ;

**m<sub>0</sub>** : masse, en grammes, de la capsule vide ;

**m<sub>1</sub>** : masse, en grammes, de la capsule et de la prise d'essai ;

**m<sub>2</sub>** : masse, en grammes, de la capsule et le résidu sec.

Il faut signaler que cette méthode ne mesure pas la teneur en eau proprement dite, le terme « humidité » que nous avons utilisé pose problème également. Le terme correct pour le résultat de cette méthode devrait être « perte de masse » ce qui ne correspond pas seulement à de l'eau, mais à tous les composés volatils dans les conditions opérationnelles de séchage.

#### b. Détermination du taux des cendres totales (NA 732/1991 tirer des méthodes normalisées AFNOR NFV 03-720 décembre 1981)

##### ➤ Principe

Le taux de cendres a été déterminé après incinération d'une prise d'essai dans un four à moufle réglé à  $560^{\circ}\text{C}$ .

##### ➤ Mode opératoire

-On pèse 2g de l'échantillon dans une capsule

-On verse 2 ml d'éthanol sur la prise d'essai et on enflamme durant 2h

-ensuite on refroidit et on humidifie les cendres avec quelques gouttes d'eau et on chauffe à nouveau dans le four à moufle durant 1h

-puis on transfère la capsule dans le dessiccateur et on la laisse refroidir à la température ambiante et on pèse

Les résultats, exprimés en pourcentage du poids de cendres par rapport au poids initial, ont été obtenus à partir de l'expression suivante :

$$C = \frac{m_3 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100$$

**C** : Taux de cendres, exprimé en pourcentage (%) en masse ;

**m<sub>0</sub>** : Masse, en grammes, du creuset vide ;

**m<sub>1</sub>** : Masse, en grammes, du creuset et de la prise d'essai ;

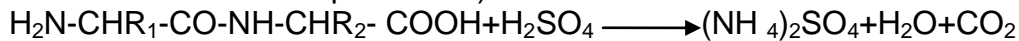
**m<sub>3</sub>** : Masse, en grammes, du creuset et son contenu (cendres) après incinération.

### c .Méthode de dosage de l'azote ISO8968-1

Le dosage se fait en 3 étapes pour chaque souche :

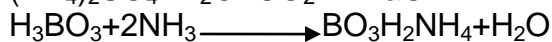
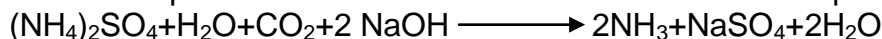
#### ✦ Minéralisation

On minéralise la prise d'essai (la spiruline) par l'acide sulfurique concentré qui transforme l'azote organique en ion d'ammonium, en présence de catalyseurs (sulfate de cuivre et sulfate de potassium) donc l'azote libéré a l'état d'ammoniac ( $\text{NH}_4$ )



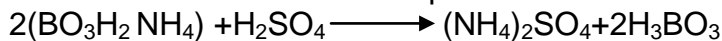
#### ✦ Distillation

Un axé de NaOH neutralisé l'acide sulfurique et libéré l'ammoniaque entraine par distillation qui sera recueilli dans une solution d'acide borique



#### ✦ Titrage

La solution obtenue est titrée par une solution d'acide sulfurique



#### ➤ Mode opératoire

Pour la préparation de notre échantillon, on met dans le Matra de kjeldahl

6g de sulfate de potassium ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ )

0.5g de sulfate de cuivre ( $\text{Cu SO}_4$ )

1g de la spiruline séchée

25 ml de l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) a 0.25 N

La détermination des protéines par la méthode kjeldahl s'effectue en 3 étapes :

#### ✦ Digestion ou minéralisation de l'échantillon

Pendant l'étape de la digestion, l'azote protéique est transformé en azote ammoniacal par oxydation de la matière organique dans l'acide concentré à haute température (408°C)

#### ✦ Distillation de l'ammoniac

Après la minéralisation ajouter 50ml d'eau distillée et 04 gouttes d'indicateur mixte (pH neutre 4.4 et 5.8)

On dispose le Matra dans le l'appareil de kjeldahl

On ajoute dans le Matra 8 a 10 ml de NaOH a 35 % (l'ajout se fait automatiquement)

Dans l'autre poste de l'appareil on met de l'acide borique

L'ammoniac est ensuite distillé par la vapeur d'eau dans une solution d'acide borique et réagit avec ce dernier pour former des sels borates d'ammonium.

### ✦ Titration de l'ammoniac

L'ammoniac sous la forme de borate d'ammonium est titré directement à l'aide d'une solution de HCl à 0.1N

On fait un blanc (on ajoute 5 ml de l'eau distillée et 20 ml de l'acide sulfurique à la place de 25 ml de l'acide sulfurique) en mettant tous les réactifs sauf l'échantillon, pour qu'on est sûr que l'ammoniac contenu dans les matras est l'ammoniac de notre échantillon.

### ➤ Expression des résultats

Le pourcentage des protéines dans l'échantillon est obtenu en multipliant le pourcentage d'azote par un facteur *f* dépendant du type d'aliment analysé

$$T_p = \frac{1.4 \times 0.25 \times (V_1 - V_0) \times f}{p}$$

*V*<sub>1</sub> : volume en millilitres d'HCl utilisé pour la détermination

*V*<sub>0</sub> volume en ml d'HCl utilisé pour la détermination de l'essai à blanc

*P* : masse en gramme de la prise d'essai (1g).

*f* : facteur de conversion des protéines de l'échantillon est de 5.6.

### d. Teneur en glucides (Miron *et al.*, 2003)

La méthode utilisée pour déterminer le taux des carbohydrates est inspirée de celle de la réaction acide sulfurique + anthrone adaptée à la biomasse algale.

A 100 mg de biomasse sont ajoutés 8 ml d'acide perchlorique agité fortement et laissé pour hydrolyse pendant 12 h.

Cinq (5) ml du réactif à l'anthrone fraîchement préparé sont ajoutés à 1 ml du filtrat précédemment obtenu puis chauffés à 100°C pendant 12 minutes, une couleur verte se développe en raison de la formation d'un complexe glucose – anthrone, auquel on détermine la densité optique à 630 nm après refroidissement du mélange.

Le blanc étant 5 ml du réactif additionné à 1 ml d'eau distillée. Un courbe étalon est réalisé en préparant des concentrations connues de D<sup>+</sup>glucose dissous dans de l'eau distillée. Densité optique et concentration en glucose (*C*<sub>g</sub>; mg/ml) sont la relation suivante :

$$C_g = 0,536 \times DO_{630} + 0,0028$$

*C*<sub>g</sub> : concentration de glucose (mg/ml).

### e. Détermination de la teneur en matière grasse par SOXHLET

#### ➤ Principe

L'extraction de la matière grasse avec un solvant (n-hexane) puis l'élimination du solvant et la pesée de la matière grasse.

#### ➤ Mode opératoire

Dans une capsule en verre, on pèse 1g de l'échantillon à tester

On met la capsule dans l'étuvage réglée à 103 ° c pendant 2 heures

On retire la capsule et on met dans le dessiccateur

Après refroidissement, mettre la spiruline dans une cartouche d'extraction

L'extraction de la matière grasse se fait par (n-hexane) qui dissout graduellement la matière grasse.

-Le solvant contenant la matière grasse retourne dans un ballon par déversement successifs causés par un effet de SIPHON dans le coude latéral

-Une fois l'extraction est terminée n-hexane est récupéré et la matière grasse

-On met le ballon contenant la matière grasse dans l'étuve pendant 1 heure à 103 °c

-Laisser refroidir dans le dessiccateur

-Peser le bécher contenant la matière grasse, l'expression des résultats se fait selon la réaction suivante :

$$MG(\%Ms) = \frac{Bp - Bv}{p} \times 100$$

**MG** : Taux de la matière grasse exprimé en pourcentage (%) en masse

**Bp** : poids de ballon plein après extraction.

**Bv** : poids de ballon vide avant extraction.

**P** : la prise d'essai.

### **f. Teneur en chlorophylles et en caroténoïdes (Hausmann, 1973)**

La quantité des chlorophylles est mesurée par spectrophotométrie, 5 mg de poids sec de micro algue sont centrifugés (800 x g pendant 2 min) puis mélangés à 8 ml d'acétone 90% (v/v) pour extraire tout les pigments.

La suspension est agitée vigoureusement puis mise à l'obscurité à 4°C pendant 48 h. Un surnageant est obtenu après centrifugation (800 tr pendant 5 min). La densité optique de ce dernier est lue au spectrophotomètre (UV - Visible) à 665, 645 et 630 nm.

La quantité des chlorophylles est calculée selon les équations suivantes :

$$[ch_a] = 11,6 DO_{665} - 1.31 DO_{645} - 0.14 DO_{630}$$

$$[ch_b] = 20,7 DO_{645} - 4.34 DO_{665} - 4.42 DO_{630}$$

$$[ch_c] = 55,0 DO_{630} - 4.64 DO_{665} - 16.3 DO_{645}$$

Ch<sub>a</sub>, Ch<sub>b</sub> et Ch<sub>c</sub> sont les concentrations des chlorophylles a, b et c en mg/l. Les caroténoïdes sont extraits en ajoutant des parts de 1 ml d'éthyle éther jusqu'à obtention d'un extrait clair. Le solvant est ensuite évaporé, le culot obtenu est alors suspendu dans 5 ml d'acétone 90% (v/v) puis lu par spectrophotométrie à 444 nm. La concentration en caroténoïdes (Ct en mg/l) est donnée par l'équation suivante ;

$$Ct = 4,23x DO_{444} - 0,043$$

### **I.5 .Mesure de potentiel d'hydrogène:**

Le mesuré de pH se fait par un pH mètre à la température ambiante par addition de 4 % de spiruline sèche dans l'eau avec agitation ; après une heure en mesuré le pH par prolongement d'électrode au fond de bécher et on lits le résultat.



### II.2 Résultats des analyses nutritionnelles de la spiruline séchée

#### a. Résultats des analyses de la teneur en eau

La mesure de la teneur en eau est définie comme étant la quantité en gramme d'eau rapportée à 100 g de substances sèches, elle constitue pour les céréales et ses dérivées une opération capitale qui présente trois intérêts :

- Un intérêt technologique qui détermine la conduite rationnelle des opérations de récoltes, de séchage, de stockage et de transformation industrielle.
- Un intérêt analytique qui rapporte les résultats de toutes les analyses à une base fixe (matière sèche).
- Et enfin un intérêt commercial et réglementaire.

**Tableau 18 : pourcentage d'humidité mesuré par matière sèche (%MS)**

L'eau étant un constituant instable, son taux est susceptible de varier dans le temps par suite des échanges avec l'atmosphère ou entre les particules qui le constitue (**Bar, 2001**) le tableau suivant montre l'intérêt de cette teneur :

|                 | <b>La spiruline (%MS)</b> |
|-----------------|---------------------------|
| Taux d'humidité | 5,16                      |
| Normes          | 6-8                       |
| Références      | NA 666                    |

Selon le tableau 18 la teneur en eau de la Spiruline mesurée atteint 5,16%, un taux représentatif selon les normes utilisées qui reflète les bonnes conditions de séchage, d'où l'élimination d'une grande quantité d'eau qui pourrait causer son altération pendant le stockage.

Les résultats obtenus sont conformes aux normes exigées. Pour la Spiruline, la teneur en eau est légèrement inférieure par rapport à celle rapportée par **Jourdan (2006)**. Toutefois, nos résultats restent largement inférieurs à ceux rapportés par **Benahmed et al., (1999)** qui y'a trouvé des teneurs s'étendant vers (14.34%) et faible par rapport à celle trouvées par **Lounici (2010)** qui sont de l'ordre de  $8.64 \pm 0.55\%$  pour la Spiruline cultivée sur milieu **Zarrouk** et de  $13.62 \pm 0.54\%$  pour celle cultivée sur le milieu **Hiri**. Cette différence est due aux facteurs extérieurs, autrement dit la période d'entreposage et de manipulation.

Selon **Espirad (2002)** ; une poudre avec un tel taux d'humidité risque de s'agglomérer. Aussi, la répercussion sur le stockage de la spiruline en poudre serait à considérer (**Oliveira et al . , 2009**).

On considère généralement que une algue fraîche et crue est environ deux fois plus efficace qu'une algue séchée et trois fois plus qu' une algue séchée et cuite, car elle est plus digestive et plus riche en certains éléments actifs comme le bêta-carotène, la phycocyanine, l'acide gamma-linoléniques et le fer assimilable.

En effet, le comportement des algues transformées en produit sec en termes de contenu nutritionnel doit répondre avant tout à 4 paramètres :

- ✓ Type de séchage (filaments intacts ou filaments brisés)
- ✓ Taux d'humidité résiduel
- ✓ Protection contre la lumière
- ✓ Protection contre l'oxygène

Il est admis que le taux d'humidité résiduel limite des algues se situe vers 8 % au delà du quel la croissance des moisissures et des bactéries devient possible. (**Belay, 1997**).

### **b. Résultats des analyses des taux des cendres mesuré par matière sèche (%MS)**

Selon le **CODEX STAN 202 (1995)**, le taux de cendres dans un produit alimentaire ne doit pas dépasser 1,1% qui peut avoir un effet défavorable sur la qualité réglementaire sans atteindre sa qualité nutritionnelle

#### **Tableau 19 : teneur en cendres de la spiruline séché en (%MS)**

Les résultats des analyses du taux des cendres mentionnées dans le tableau 19 montrent pour la Spiruline séchée se dernier est conforme aux normes indiquées (**ISO 2251**) d'où la valeur trouvée est de 7,35 % elle de même représentatif à celle mentionnée par **Vidallo (2008)**, avec une valeur de 8%.

|                  | <b>La spiruline (%MS)</b> |
|------------------|---------------------------|
| Taux des cendres | 7 ,35                     |
| Normes           | 6-8                       |
| Références       | ISO 2251                  |

Ces mêmes résultats sont proches à ceux cités par **Lounici (2010)** d'où la Spiruline cultivée sur le milieu de culture **Zarrouk** contient  $8.27 \pm 1.5$  et la Spiruline cultivée sur le milieu de culture **Hiri** en contient  $6.70 \pm 0.4$ . En plus ces teneurs sont légèrement inférieures à celle de la Spiruline de Madagascar (9.8%) **Razafindrajona et al ., (2008)**; Et celle trouvée par **Benahmed et al .,(1999)** qui est de  $9.41 \pm 0.03\%$ .

### c. Estimation de la quantité des protéines

La teneur en protéines est un critère important d'appréciation de la qualité nutritionnelle d'un produit alimentaire.

La teneur en protéines peut décroître de 10 à 15% selon le moment de la récolte, par rapport à la photopériode, mais contrairement à d'autres sources de protéines contenant des fibres dures et difficiles à digérer (**Vidalo, 2008**). Celle en méthionine (acide aminée soufré) de 30% selon le mode de séchage.

Les conditions pour une teneur optimum sont une récolte au début de la photopériode (y est généralement plus élevée le soir) et un séchage par pulvérisation au détriment des tambours chauffants (**Falquet et Hurni, 2006**).

### Tableau 20 : Teneur en protéines dans la spiruline étudiée

Selon l'Arrêté **N°13 du (21/12/1979)** de la norme Française, la teneur en protéine de la Spiruline doit être supérieure à 50%. comme le montre le résultat suivante :

|                    | La spiruline (%MS) |
|--------------------|--------------------|
| Taux des protéines | 64,43              |
| Normes             | 45-65              |
| Références         | ISO 8968-1         |

Selon les résultats mentionnés dans le tableau 20, la teneur en protéine de la Spiruline présente une valeur de 64.43% qui est moyennement supérieure avec  $60.64\% \pm 0.18$  pour la spiruline sur **Zarrouk** et  $55.16\% \pm 0.42$  pour la spiruline en milieu **Hiri**. Et même à celle de Madagascar avec une teneur de 59.3% **Razafindrajona et al.,(2008)**

Cette teneur en protéines de la poudre de Spiruline est supérieure à celle présentée par **Jourdan (2006)**, qui avoisine les 60g pour 100 g de MS.

## Etude Expérimentale Chapitre II : Résultats et discussions

Aussi il faut noter que selon l'Arrêté N°13 du (21/12/1979) de la norme Française, la teneur en protéine de la Spiruline doit être supérieure à 50%.

Le soufre, apporté sous forme de dioxyde (SO<sub>2</sub>) est un constituant de trois acides aminés (cystine, méthionine et cystéine) et il est nécessaire pour la synthèse des protéines, ceci pourrait expliquer en partie, la teneur élevée en milieu **Zarrouk (Van et Shilo, 1986)**.

Notons pour la même occasion que cette teneur dépasse toutes les sources de protéines alimentaires connues : levure de bière (38.8%), lait écrémé en poudre (35.9%), viandes séchées salées (34.3%), et 40 fois plus que les protéines de soja (34.1%), le riz ou de blé. (**Razafindrajona et al., 2008**)

### d. Estimation de la quantité des glucides

La paroi de la Spiruline a un rôle important sur la quantité des glucides qu'est une paroi type bactérie (Gram-) constituée de glucosamine et d'acide muramique associés à des peptides et ne renfermant que très peu de cellulose. Elle ne peut être digérée mais sa fragilité rend le contenu cellulaire plus accessible aux enzymes de la digestion ; le tableau suivant montre le pourcentage élevé de cette teneur :



**Tableau 21 : Teneur en glucides (%MS)**

|                   | La spiruline (%MS) |
|-------------------|--------------------|
| Taux des glucides | 24                 |
| Normes            | 15-25              |
| Références        | ISO 2251           |

D'après les résultats du tableau précédent, le taux des glucides dans la Spiruline est conforme à celles rapportées par la littérature de **Razafindrajona (2008)**; **Shekharam et al., (1987)** et de **Falquet et Hurni (2006)** et qui sont de l'ordre de

15 à 25% de la matière sèche de la Spiruline alors qu'il est élevé à celui cité par **Jourdan (2006)** et qui sont de l'ordre de 6 à 8%.

La quantité des carbohydrates totaux mesurée par la méthode d'**Osborne, (1985)** montre que la Spiruline contient entre 15 – 17 % de matières glucidiques, ce qui est en concordance avec la littérature **Quillet (1975)** qui rapporte un taux variant entre 15 – 25 % selon les conditions de cultures, c'est le cas de cette souche de Spiruline qui est de 24% , il semblerait que cela est due à la présence de magnésium dans le milieu de culture qui participe à la formation et la mise en réserve des sucres et des hydrates de carbones ou par le phénomène de fermentation.

### e. Détermination du taux de matière grasse

La richesse de la Spiruline lui donne un intérêt biologique particulier puisque après hydrolyse elle renferme des acides gras polyinsaturés essentiels à 18-C sont des précurseurs des prostaglandines, molécules ayant une activité anti-inflammatoire et immunostimulante au sein de l'organisme.

**Tableau 22 : dosage de matière grasse dans la spiruline séché**

|                        | La spiruline (%MS) |
|------------------------|--------------------|
| Taux de matière grasse | 7 ,6               |
| Normes                 | 5,6-7              |
| Références             | ISO 659            |

Pour ce qui est de la matière grasse, les résultats trouvés dans le tableau 22 indiquent pour la Spiruline une teneur de 7 ,6%; Cependant elle présente une teneur légèrement élevée par rapport aux valeurs données par **Jourdan (2006)** avec 6 % et se rapprochent de celles données par **Lounici (2010)** et qui varient respectivement de  $6.8 \pm 1.02$  et  $7\% \pm 0.53$  pour la Spiruline cultivée sur le milieu de culture **Hiri** et celle cultivée sur le milieu de culture **Zarrouk**.

De même ces teneurs sont peu élevées de celles données dans la littérature et qui varient de 5.6 à 7% (**Bujard et al., 1970 ; Santillan, 1974; Proteus, 1975 ; Challem et al., 1981; Dillon et Phan ,1993**).

Ces résultats sont proches de celle trouvés par **Hudson et Karis (1974)** ou les lipides représentent 6 à 8% du poids sec de la Spiruline mais ce pourcentage peut atteindre 11% en raison de meilleurs systèmes d'extraction (**Ariel, 2003**). Le contenu en acide gras de la Spiruline peut être modifié suivant les conditions de culture (**Colla et al., 2004**).

### f. Teneur en chlorophylles et caroténoïdes de la spiruline séché

La Spiruline possède l'un des taux les plus élevés en pigments chlorophylliens que l'on puisse trouver dans la nature (environ 1 %), elle ne dépasse pas cependant les niveaux de la Chlorelle (2 à 3 %) qui est aussi une micro-algue très intéressante sur le plan nutritionnel.

**Tableau 23 : taux des pigments dans la spiruline étudiée**

|                         |                   | La spiruline    |       |
|-------------------------|-------------------|-----------------|-------|
| Taux des pigments       | Chlorophylle (g)  | Ch <sub>a</sub> | 15.82 |
|                         |                   | Ch <sub>b</sub> | 10.87 |
|                         |                   | Ch <sub>c</sub> | 10.15 |
|                         | Caroténoïdes (mg) |                 | 8.99  |
| <i>Normes (mg/g MS)</i> |                   | 6-8             |       |
| <i>Références</i>       |                   | ISO 2251        |       |

Selon le tableau 23, la Spiruline contient la chlorophylle a, est le pigment le plus représenté avec un taux de 15.82%, typique chez les végétaux qui correspondent à 15.91% ± 0.28 dans la Spiruline cultivée sur le milieu de culture **Zarrouk** (semble être principalement due à la teneur élevée en magnésium dans le milieu Zarrouk comparativement à celle du milieu **Hiri**).

Cet élément intervient dans la composition de la chlorophylle, Ainsi le nitrate de sodium NaNO<sub>3</sub> intervient dans la composition des chlorophylles (pigment vert) suivi du type b, avec 10.87% et en la chlorophylle c, une valeur de 10.15% ;

## Etude Expérimentale Chapitre II : Résultats et discussions

---

Ces teneurs sont faibles à celles trouvées par **Abd-elbaky et al., (2004)** de l'ordre de 25.6 à 128.7% trouvés sur la *Spirulina maxima* cultivée sur le milieu **Hiri**.

Cette différence entre les valeurs trouvées-normes est due à plusieurs paramètres tels-que :

- 1) Dans le cas d'une culture sous ombrage.
- 2) L'intensité lumineuse.
- 3) Les conditions de culture semblent avoir un effet sur la teneur en ces pigments.
- 4) Le mode de séchage par les ultra-violets peut détruit la chlorophylle.
- 5) Un séchage et une conservation mal réalisés (température trop élevée, exposition à la lumière) entraînent une perte de qualité en chlorophylle.

D'après les résultats la teneur des caroténoïdes de la Spiruline est de 8.99 mg/g , on remarque que cette teneur est légèrement supérieur a celle cultivée sur milieu **Zarrouk** contient 0.84%  $\pm$  0.18 de la matière sèche de caroténoïdes totaux et celle cultivée sur **Hiri** qui contient 0.83%  $\pm$ 0.33 de sa matière sèche soit 8.4 mg/g et 8.3 mg/g de MS.

Ces résultats sont légèrement supérieurs à ceux donnés par **Reuters (2006)** pour *Spirulina platensis*. Elles dépassent les résultats de **Shklar (1988)** et d'**Abd-elbaky (2004)** de l'ordre de 7.32 mg/g de matière sèche. Cette différence pourrait être due à la différente composition des milieux de culture utilisés, elle pourrait être attribuée au fait qu'il existe une relation inverse entre le taux des caroténoïdes et la concentration en azote dans le milieu de culture utilisé ceci au fait que la division des cellules des algues cultivées sous azote, engendre un blocage pendant que la photosynthèse se poursuit, menant aux installations de stockage de composés spécifiques dont les caroténoïdes. (**Colla, 2007**).

### Résultat de test du pH :

Le pH-mètre donné une valeur de 4.8 ; ce qui est le cas d'une spiruline qui a été séchée à température assez haute (60 à 65°C), bien essorée après réhydratation ses cellules éclatent provoquant l'abaissement de pH jusqu'a 4.8. Ce bas pH serait du à l'acidité interne des cellules et/ou à la fermentation commençante (**Jourdan,2006**)





### II.1 Résultats des analyses microbiologiques

#### a) Résultats des analyses microbiologiques des germes aérobies mésophiles totaux

Toute fois, il est à signaler que si la spiruline est séchée à une température assez élevée (60 à 65°C) et qu'elle est réhydratée, ses cellules s'éclatent, entraînant ainsi un abaissement du pH, parfois jusqu'à avoir la valeur 5. Le pH obtenu est d'autant plus bas que la spiruline est bien essorée (dans notre cas le pH est de 4.8) ce pH bas permet la limitation des germes présent.

De même l'abaissement du pH serait dû essentiellement à l'acidité interne des cellules et/ou fait un appel à un début de fermentation (**Jourdan, 2006**).

**Tableau09: Résultats des germes aérobies mésophiles totaux**

| Type de germe   | La Spiruline           |
|-----------------|------------------------|
| GAMT<br>30 °C   | 680 germes / g         |
| Normes (NA1207) | $\leq 10^5$ germes / g |

-Le résultat de tableau 09 montre une faible présence des *germes aérobies mésophiles totaux* au niveau de la spiruline HTam séchée qui restent dans les normes recommandées. Ce nombre de germes (680g/g) explique par une contamination par l'air ambiant au moment de la culture qui se fait dans des bassins, de personnel porteur des germes, ainsi aux conditions de stockage et de transport.

On constate alors que notre spiruline a une bonne qualité bactériologique en raison d'absence des germes aérobies mésophiles totaux.

#### b) Résultats des analyses microbiologiques des coliformes totaux et fécaux

Les analyses microbiologiques des *coliformes totaux et fécaux* qui présentent des risques sanitaires se transmettant par voie fécale et constituent la base du contrôle bactériologique des eaux, responsable des infections hydriques.

**Tableau 10: Résultats des coliformes totaux et fécaux**

| Types des germes  | La Spiruline  |
|-------------------|---------------|
| coliformes totaux | Abs           |
| coliformes fécaux | Abs           |
| Normes (NA 2698)  | <10 germes /g |

-D'après nos résultats indiqués dans le tableau précédent on remarque une absence totale des *coliformes* totaux et fécaux dans la spiruline qui sont en accords avec les normes imposées, on peut dire alors que notre spiruline possède une bonne qualité microbiologique.

### c) Résultats des analyses microbiologiques des *Streptocoques fécaux*

d'après (**Bourgeois et al . , 1996**) , la présence des Streptocoques fécaux indique une contamination d'origine animale

**Tableau 11: Résultats des *Streptocoques fécaux***

| Types de germe       | La Spiruline |
|----------------------|--------------|
| Streptocoques fécaux | Abs          |
| Normes (FOX, 1999)   | 0            |

Le tableau n° 11 montre l'absence des Streptocoques fécaux qui ont un pH de développement Max =9.3 se qui induit leurs absence à cause du milieu alcalin avec un pH de (9.5-11) (**Jourdan ; 2006**)

### d) Résultats des analyses microbiologiques des anaérobies sulfito-réducteurs(*Clostridium*)

La présence d'une charge microbienne importante des clostridium dans les cultures jeunes de spiruline à base de bicarbonate, trop forte injection de CO<sub>2</sub> et /ou une mauvaise observation des règles d'hygiène qui deviennent résistants aux pH élevés, ce risque pouvant être augmenté si le sucre est utilisé comme apport de carbone. (Jourdan, 2006)

**Tableau 12: Résultats des anaérobies sulfito-réducteurs(*Clostridium*)**

| Type de germe                                       | La Spiruline  |
|---|---------------|
| anaérobies sulfito-réducteurs( <i>Clostridium</i> ) | +             |
| Normes N.I (OMS,2002)                               | ≤100 germes/g |

Selon le tableau 12, le résultat montre une charge assez importante des indicateurs de contamination fécale représentés par les spores des Anaérobies Sulfito-réducteurs (*Clostridium*) au niveau de notre spiruline ; Cette charge microbienne est due aux différentes causes reconnues au dessus.

### e) Résultats des analyses microbiologiques des *Staphylococcus aureus*

La présence des staphylocoques aureus donne la meilleure indication de mauvaise condition d'hygiène. (Jourdan, 2006)

**Tableau 13: Résultats des *Staphylococcus aureus***

| Type de germe                | La Spiruline  |
|------------------------------|---------------|
| <i>Staphylococcus aureus</i> | Abs           |
| Normes N.I (OMS, 2002)       | ≤100 germes/g |

D'après le tableau 13, on peut dire que la qualité microbiologique de *la spiruline* est satisfaisante par l'absence des *Staphylococcus aureus* (pH max pour leur développement est de 9.8) cela est due : par leurs sensibilité au pH très alcalins (4.8) et au respect des conditions d'hygiène aux cours de la culture des cyanobactéries ; alors notre échantillon est exempte des germes pathogènes.

### f) Résultats des analyses microbiologiques des levures et moisissures :

Un pH bas constitue une excellente barrière contre la plupart des contaminations, de plus, il semble que certaines substances sécrétées ou contenues dans la spiruline possèdent une intéressante activité bactéricide ou, du moins bactériostatique (Ozdemir et al . , 2004)

Ces résultats sont indiqués dans le tableau suivant :

**Tableau 14: Résultats des levures et moisissure**

| Types des germes       | La Spiruline    |
|------------------------|-----------------|
| Levures                | 900 germes / g  |
| Normes N.I (OMS, 2002) | ≤100 germes / g |
| Moisissures            | Abs             |
| Normes N.I (OMS, 2002) | ≤100 germes / g |

D'après le tableau 14 ; on révèle une charge microbienne importante du point de vue levure chez la spiruline, cette présence peut être expliquée soit par une contamination par l'atmosphère (l'ambiance) au cours de culture, de récolte en plus de transport. Ce résultat explique les risques de l'influence de ces conditions sur la qualité microbiologique de produit.

Le résultat des moisissures est conforme à la norme de référence, ceux qui montre surtout de la conformité des différents étapes de production.

- En général ; d'après les résultats La spiruline séché est exempte de germes d'altération et germes pathogènes, on note seulement les Anaérobies Sulfite-réducteurs (ca peut être une culture jeune : pH < 9,5), ce qui indique la bonne qualité hygiénique et microbiologique du produit due a l'alcalinité très élevée du milieu de culture (pH 9,5 a 11).

- Dans le cas de doute sur la qualité bactériologique de la spiruline, fraîche ou sèche, il est suggéré l'emploi systématique d'eau de Javel pour tous les nettoyages, avec rinçage final à l'eau chlorée (minimum 1 ppm de chlore actif libre, soit environ 1 goutte d'eau de Javel dans un litre d'eau de rinçage) ou de la cuire au moins une ou deux minutes, surtout pour les personnes affaiblies ou les enfants en bas âge.

La meilleure méthode de nettoyage au moment de la culture c'est de transférer provisoirement la majeure partie du contenu du bassin dans un bassin voisin, puis de vidanger les boues, et brosser les bords et le fond, en rinçant. Ainsi, une pasteurisation du produit fini peut être nécessaire mais elle doit être évitée si possible (**Jourdan, 2006**)

### II.2 Résultats des analyses nutritionnelles de la Spiruline séchée

#### a) Résultats des analyses de la teneur en eau

La mesure de la teneur en eau est définie comme étant la quantité en gramme d'eau rapportée à 100 g de substances sèches, elle constitue pour les céréales et ses dérivées une opération capitale qui présente trois intérêts :

- Un intérêt technologique qui détermine la conduite rationnelle des opérations de récoltes, de séchage, de stockage et de transformation industrielle.
- Un intérêt analytique qui rapporte les résultats de toutes les analyses à une base fixe (matière sèche).
- Et enfin un intérêt commercial et réglementaire.

L'eau étant un constituant instable, son taux est susceptible de varier dans le temps par suite des échanges avec l'atmosphère ou entre les particules qui le constitue (**Bar, 2001**) le tableau suivant montre l'intérêt de cette teneur :

**Tableau 15: pourcentage d'humidité mesuré par matière sèche (%MS)**

|                 | La spiruline (%MS) |
|-----------------|--------------------|
| Taux d'humidité | 5,16               |
| Normes          | 6-8 (NA 666)       |

Selon le tableau 15 : la teneur en eau de la Spiruline mesurée atteint 5,16%, un taux représentatif selon les normes utilisées qui reflète les bonnes conditions de séchage, d'où l'élimination d'une grande quantité d'eau qui pourrait causer son altération pendant le stockage.

Les résultats obtenus sont conformes aux normes exigées. Pour la Spiruline, la teneur en eau est légèrement inférieure par rapport à celle rapportée par **Jourdan (2006)**. Toutefois, nos résultats restent largement inférieurs à ceux rapportés par **Benahmed (1999)**, qui y'a trouvé des teneurs s'étendant vers (14.34%) et faible par rapport à celle trouvées par **Lounici (2010)** qui sont de l'ordre de  $8.64 \pm 0.55\%$  pour la Spiruline cultivée sur milieu **Zarrouk** et de  $13.62 \pm 0.54\%$  pour celle cultivée sur le milieu **Hiri**. Cette différence est due aux facteurs extérieurs, autrement dit la période d'entreposage et de manipulation.

Selon **Espirad (2002)** une poudre avec un tel taux d'humidité risque de s'agglomérer. Aussi, la répercussion sur le stockage de la spiruline en poudre serait à considérer (**Oliveira et al . , 2009**).

On considère généralement que une algue fraîche et crue est environ deux fois plus efficace qu'une algue séchée et trois fois plus qu' une algue séchée et cuite, car elle est plus digestive et plus riche en certains éléments actifs comme le bêta-carotène, la phycocyanine, l'acide gamma-linoléiques et le fer assimilable.

En effet, le comportement des algues transformées en produit sec en termes de contenu nutritionnel doit répondre avant tout à 4 paramètres :

- ✓ Type de séchage (filaments intacts ou filaments brisés)
- ✓ Taux d'humidité résiduel
- ✓ Protection contre la lumière
- ✓ Protection contre l'oxygène

Il est admis que le taux d'humidité résiduel limite des algues se situe vers 8 % au delà du quel la croissance des moisissures et des bactéries devient possible. (**Belay, 1997**).

### **b) Résultats des analyses des taux des cendres mesuré par matière sèche (%MS)**

Selon le **CODEX STAN 202 (1995)**, le taux de cendres dans un produit alimentaire ne doit pas dépasser 1,1% qui peut avoir un effet défavorable sur la qualité réglementaire sans atteindre sa qualité nutritionnelle

Les résultats des analyses du taux des cendres mentionnées dans le tableau 16 montrent pour la Spiruline séchée se dernier est conforme aux normes indiquées (**ISO 2251**) d'où la valeur trouvée est de 7,35 % elle de même représentatif à celle mentionnée par **Vidalo (2008)**, avec une valeur de 8%.

**Tableau 16 : teneur en cendres de la spiruline séché en (%MS)**

|                  | <b>La spiruline (%MS)</b> |
|------------------|---------------------------|
| Taux des cendres | 7 ,35                     |
| Normes           | 6-8 (ISO 2251)            |

Ces mêmes résultats sont proches à ceux cité par **Lounici (2010)** d'où la Spiruline cultivée sur le milieu de culture **Zarrouk** contient  $8.27\% \pm 1.5$ . et la Spiruline cultivée sur le milieu de culture **Hiri** en contient  $6.70\% \pm 0.4$ .. En plus ces teneurs sont légèrement inférieures à celle de la Spiruline de Madagascar ( $9.8\%$ ) **Razafindrajona et al., (2008)**; Et celle trouvés par **Benahmed (1999)** qui est de  $9.41\% \pm 0.03$ .

### **c) Estimation de la quantité des protéines**

La teneur en protéines est un critère important d'appréciation de la qualité nutritionnelle d'un produit alimentaire.

La teneur en protéines peut décroître de 10 à 15% selon le moment de la récolte, par rapport à la photopériode, mais contrairement a d'autres sources de protéines contenant des fibres dures et difficiles à digérer (**Vidal, 2008**). Celle en méthionine (acide aminée soufré) de 30% selon le mode de séchage. Les conditions pour une teneur optimum sont une récolte au début de la photopériode (y est généralement plus élevée le soir) et un séchage par pulvérisation au détriment des tambours chauffants (**Falquet et Hurni, 2006**).



**Tableau17: Teneur en protéines dans la spiruline étudiée**

Selon l'Arrêté N°13 du (21/12/1979) de la norme Française, la teneur en protéine de la Spiruline doit être supérieure à 50%. comme le montre le résultat suivante :

|                    | La spiruline (%MS) |
|--------------------|--------------------|
| Taux des protéines | 64,43              |
| Normes             | 45-65(ISO 8968-1)  |

Selon les résultats mentionnés dans le tableau 17, la teneur en protéine de la Spiruline présente une valeur de 64.43% qui est moyennement supérieur avec  $60.64\% \pm 0.18$  pour la spiruline sur **Zarrouk** et  $55.16\% \pm 0.42$  pour la spiruline en milieu **Hiri**. Et même à celle de Madagascar avec une teneur de 59.3% **Razafindrajona et al.,(2008)**

Cette teneur en protéines de la poudre de Spiruline est supérieure à celle présentée par **Jourdan (2006)**, qui avoisine les 60g pour 100 g de MS. Aussi il faut noter que selon l'Arrêté N°13 du (21/12/1979) de la norme Française, la teneur en protéine de la Spiruline doit être supérieure à 50%.

Le soufre, apporté sous forme de dioxyde ( $SO_2$ ) est un constituant de trois acides aminés (cystine, méthionine et cystéine) et il est nécessaire pour la synthèse des protéines, ceci pourrait expliquer en partie, la teneur élevée en milieu **Zarrouk (Van et Shilo ,1986)**.

Notons pour la même occasion que cette teneur dépasse toutes les sources de protéines alimentaires connues : levure de bière (38.8%), lait écrémé en poudre (35.9%), viandes séchées salées (34.3%), **(Razafindrajona et al., 2008)** et 40 fois plus que les protéines de soja (34.1%), le riz ou de blé. **(Anonyme ,2009)**

### **d) Estimation de la quantité des glucides**

La paroi de la Spiruline a un rôle important sur la quantité des glucides qu'est une paroi type bactérie (Gram-) constituée de glucosamine et d'acide muramique associés à des peptides et ne renfermant que très peu de cellulose. Elle ne peut être digérée mais sa fragilité rend le contenu cellulaire plus accessible aux enzymes de la digestion ; le tableau suivant montre le pourcentage élevé de cette teneur :

**Tableau18: Teneur en glucides (%MS)**

|                   | <b>La spiruline (%MS)</b> |
|-------------------|---------------------------|
| Taux des glucides | 24                        |
| Normes            | 15-25(ISO 2251)           |

D'après les résultats du tableau précédent, le taux des glucides dans la Spiruline est conformes à celles rapportées par la littérature de **Razafindrajona (2008)**; **Shekharam et al., (1987)** et de **Falquet et Hurni (2006)** et qui sont de l'ordre de 15 à 25% de la matière sèche de la Spiruline alors qu'il est élevé à celui cité par **Jourdan (2006)** et qui sont de l'ordre de 6 à 8%.

La quantité des carbohydrates totaux mesurée par la méthode d'**Osborne, (1985)** montre que la Spiruline contient entre 15 – 17 % de matières glucidiques, ce qui est en concordance avec la littérature **Quillet (1975)** qui rapporte un taux variant entre 15 – 25 % selon les conditions de cultures, c'est le cas de cette souche de Spiruline qui est de 24% , il semblerait que cela est due à la présence de magnésium dans le milieu de culture qui participe à la formation et la mise en réserve des sucres et des hydrates de carbones ou par le phénomène de fermentation.

### **e)Détermination du taux de matière grasse**

La richesse de la Spiruline lui donne un intérêt biologique particulier puisque après hydrolyse elle renferme des acides gras polyinsaturés essentiels à 18-C sont des précurseurs des prostaglandines, molécules ayant une activité anti-inflammatoire et immunostimulante au sein de l'organisme.

**Tableau19 : dosage de matière grasse dans la spiruline séché**

|                        | <b>La spiruline (%MS)</b> |
|------------------------|---------------------------|
| Taux de matière grasse | 7 ,6                      |
| Normes                 | 5,6-7 (ISO 659)           |

Pour ce qui est de la matière grasse, les résultats trouvés dans le tableau19 indiquent pour la Spiruline une teneur de 7 ,6%; Cependant elle présente une teneur légèrement élevée par rapport aux valeurs données par **Jourdan (2006)** avec 6 % et se rapprochent de celles données par **Lounici (2010)** et qui varient respectivement de  $6.8\% \pm 1.02$  et  $7\% \pm 0.53$  pour la Spiruline cultivée sur le milieu de culture **Hiri** et celle cultivée sur le milieu de culture **Zarrouk**.

De même ces teneurs sont peu élevées de celles données dans la littérature et qui varient de 5.6 à 7% (**Bujard et al., 1970 ; Santillan, 1974; Proteus, 1975 ; Challem et al., 1981; Dillon et Phan ,1993**).

Ces résultats sont proches de celle trouvés par **Hudson et Karis (1974)** ou les lipides représentent 6 à 8% du poids sec de la Spiruline mais ce pourcentage peut atteindre 11% en raison de meilleurs systèmes d'extraction (**Ariel, 2003**). Le contenu en acide gras de la Spiruline peut être modifié suivant les conditions de culture (**Colla et al., 2004**).

### **f) Teneur en chlorophylles et caroténoïdes de la spiruline séché**

La Spiruline possède l'un des taux les plus élevés en pigments chlorophylliens que l'on puisse trouver dans la nature (environ 1 %), elle ne dépasse pas cependant les niveaux de la Chlorelle (2 à 3 %) qui est aussi une micro-algue très intéressante sur le plan nutritionnel.

**Tableau 20 : taux des pigments dans la spiruline étudiée**

|                          |                              |                       | La Spiruline   |
|--------------------------|------------------------------|-----------------------|----------------|
| <b>Taux des pigments</b> | <b>Chlorophylle (%)</b>      | <b>Ch<sub>a</sub></b> | 15.82          |
|                          |                              | <b>Ch<sub>b</sub></b> | 10.87          |
|                          |                              | <b>Ch<sub>c</sub></b> | 10.15          |
|                          | <b>Caroténoïdes (mg/gMS)</b> |                       | 8.99           |
| Normes (mg/g MS)         |                              |                       | 6-8 (ISO 2251) |

Selon le tableau 20, la Spiruline contient la chlorophylle a, est le pigment le plus représenté avec un taux de 15.82%, typique chez les végétaux qui correspondent à  $15.91\% \pm 0.28$  dans la Spiruline cultivée sur le milieu de culture **Zarrouk** (semble être principalement due à la teneur élevée en magnésium dans le milieu Zarrouk comparativement à celle du milieu **Hiri**).

Cet élément intervient dans la composition de la chlorophylle, Ainsi le nitrate de sodium  $\text{NaNO}_3$  intervient dans la composition des chlorophylles (pigment vert) suivi du type b, avec 10.87% et en la chlorophylle c, une valeur de 10.15% ; Ces teneurs sont faibles à celles trouvées par **Abd-elbaky et al., (2004)** de l'ordre de 25.6 à 128.7% trouvés sur la *Spirulina maxima* cultivée sur le milieu **Hiri**.

Cette différence entre les valeurs trouvées-normes est due à plusieurs paramètres tels-que :

- 1) Dans le cas d'une culture sous ombrage.
- 2) L'intensité lumineuse.
- 3) Les conditions de culture semblent avoir un effet sur la teneur en ces pigments.
- 4) Le mode de séchage par les ultra-violets peut détruit la chlorophylle.
- 5) Un séchage et une conservation mal réalisés (température trop élevée, exposition à la lumière) entraînent une perte de qualité en chlorophylle.

D'après les résultats la teneur des caroténoïdes de la Spiruline est de 8.99 mg/g , on remarque que cette teneur est légèrement supérieur a celle cultivée sur milieu **Zarrouk** contient 0.84%  $\pm$  0.18 de la matière sèche de caroténoïdes totaux et celle cultivée sur **Hiri** qui contient 0.83%  $\pm$ 0.33 de sa matière sèche soit 8.4 mg/g et 8.3 mg/g de MS.

Ces résultats sont légèrement supérieurs à ceux donnés par **Reuters (2006)** pour *Spirulina platensis*. Elles dépassent les résultats de **Shklar et Schwartz (1988)** et d'**Abd-elbaky (2004)** de l'ordre de 7.32 mg/g de matière sèche. Cette différence pourrait être due à la différente composition des milieux de culture utilisés, elle pourrait être attribuée au fait qu'il existe une relation inverse entre le taux des caroténoïdes et la concentration en azote dans le milieu de culture utilisé ceci au fait que la division des cellules des algues cultivées sous azote, engendre un blocage pendant que la photosynthèse se poursuit, menant aux installations de stockage de composés spécifiques dont les caroténoïdes. (**Colla et al ., 2004**).

### **g) Résultat de potentiel d'hydrogène:**

Le pH-mètre donné une valeur de 4.8 ; ce qui est le cas d'une spiruline qui a été séchée à température assez haute (60 à 65°C), bien essorée après réhydratation ses cellules éclatent provoquant l'abaissement de pH jusqu'a 4.8. Ce bas pH serait du à l'acidité interne des cellules et/ou à la fermentation commençante (**Jourdan, 2006**).

Conclusion

### Conclusion

La spiruline est un réservoir de nutriments essentiels, un vrai cocktail de vitamines, d'oligo-éléments, de sels minéraux, de glucide, d'acides gras et de protéines végétales. L'objectif principal de ce travail porte sur l'étude des composants nutritionnels majeurs de la spiruline séchée ; ainsi que leurs effets sur la santé humaine surtout pour les personnes qui souffrent de la malnutrition dans le monde.

Par ailleurs, l'ensemble des analyses effectuées lors de ce travail soit nutritionnelles ou microbiologiques ont montré que :

- Sur le plan microbiologique, la spiruline séchée est exempte de germes d'altération et de germes pathogènes par contre *les Anaérobies Sulfito-réducteurs* (c'est le cas d'une culture très jeune) qui sont présents et qui peuvent nuire à la qualité réglementaire sanitaire et hygiénique.
  
- L'aspect nutritionnel représente un facteur primordial dans cette étude :
  - 1) L'eau est le facteur essentiel dans la vie ainsi c'est le premier composant de tous les aliments, sa teneur élevée dans les aliments ou les algues séchés peut favoriser leur altération lors du stockage, surtout pour les aliments incorporés à la Spiruline avec une valeur de 5.16% qui est dans les normes recommandées.
  
  - 2) Un taux de minéraux (7.35%) montre la richesse de la Spiruline en plusieurs oligoéléments à différentes proportions tels que : Calcium; phosphore; fer ; zinc ; magnésium ; sodium ; cuivre ; manganèse ; chrome et le sélénium indispensable au métabolisme et permettent d'éviter des carences nutritionnelles.
  
  - 3) Cette souche de Spiruline a une très haute digestibilité avec une teneur en protéine de 64.43%, particulièrement en lysine qui peut être comblée par l'addition de cette dernière dans les céréales par exemple, une étude déjà menée lors de l'incorporation au couscous de blé dur. (**Revue : Nature et Technologie., 2012**) .Cette grande digestibilité s'explique par le fait que cette cyanobactérie est entourée d'une enveloppe fragile de murine qui rend le contenu cellulaire beaucoup plus accessible aux enzymes de la digestion par rapport aux parois pecto-cellulosiques classiques. Ces protéines seront donc facilement assimilables, même

chez des personnes souffrant de pathologies intestinales freinant l'assimilation des nutriments.

- 4) Le taux des Carbohydrates est de 24% , il montre que la Spiruline est une source naturelle d'énergie rapide qui ne risque pas de déclencher de l'hypoglycémie ni de trop faire travailler le pancréas environ huit fois à celle de la viande et de plusieurs centaines de fois à celle des végétaux les plus riches en cette molécule et une teneur en cellulose très faible, soit 0,5% de son poids frais . Elle serait donc facilement assimilable même par les personnes ayant une absorption intestinale faible.
  
- 5) La composition en lipides totaux est de 7.6% se caractérise par un bon équilibre entre acides gras saturés (les acides gras oméga-3 et oméga-6 qui préviendraient l'accumulation de cholestérol dans l'organisme. Ceci pourrait expliquer en partie la diminution des taux en cholestérol et triglycérides et acides gras polyinsaturés (AGPI) observés lors des expériences de **(Ramamoorthy et Premakumari (1996) et Samuels et al., 2002)**

L'incorporation de la spiruline au certains aliments courants peut augmente l'acide gamma-linoléiques du fait de sa rareté et que c'est un précurseur de médiateurs chimiques des réactions inflammatoires et immunitaires

6) les cyanobactéries contient des pigments présentent un intérêt dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique qu'ils ont des rôles importants dans notre métabolisme.

- ✓ La chlorophylle permet d'oxygéner l'organisme, de le désintoxiquer et surtout de maintenir l'équilibre acido-basique. Elle permet également d'assainir la flore intestinale et bloquer les agents carcinogènes alimentaires a ce niveau.. Une fois la chlorophylle "implantée" dans la muqueuse intestinale, aucune colonisation de bactéries n'est possible et aide à oxygéner les tissus ainsi favorise la santé des bactéries pro-biotiques, le responsable de la coloration verte des végétaux et participant à la photosynthèse, elle est indispensable à la croissance des plantes. Sa structure chimique se compare à l'hémoglobine, Elle a une action purifiante, dépuratif, chélateur des métaux lourds,
  
- ✓ Les Caroténoïdes sont connus pour leur pouvoir protecteur de la peau, elle favorise également le bon fonctionnement du pancréas grâce surtout à l'apport important de chlorophylle.



D'un point de vue nutritionnelle ; La spiruline fait partie des aliments à haute densité nutritionnelle (comme les germes de blé, levure de bière, ferments probiotiques, gelée royale, soja, fruits secs, foie, œuf ...) mais simplement c'est une façon efficace d'augmenter son apport en caroténoïdes, en fer et en protéines avec un seul aliment. En effet un gramme de spiruline peut couvrir les besoins énergétiques journaliers d'une personne, ce qui représente un gain de poids considérable et une valeur nutritionnelle très intéressante.

A titre d'exemple, prendre 2 cuillérées à thé (10 g) de spiruline, équivaut à peu près à ½ à 1 tasse de brocoli (pour le fer), 1 carotte (pour les caroténoïdes) et à 1 œuf (pour les protéines). À l'heure actuelle, aucune étude ne prouve sa supériorité par rapport aux autres aliments dans la prévention ou le traitement des maladies.

Concernant la qualité technologique, chaque produit alimentaire doit répondre à un certain nombre d'exigences afin de le promouvoir et assurer la satisfaction du consommateur. On cas d'incorporation de la spiruline au certains aliments il faut tenir compte tous ces caractères technologiques (viscosité élevée) et sensorielle. **(Revue : Nature et Technologie., 2012)**

Au vue des résultats obtenus, on peut conclure que l'introduction et l'association de la Spiruline dans l'alimentation pourrait être une pratique satisfaisante et encourageante. En perspective, il serait intéressant de réaliser les points suivants ;

- ✓ Faire des études techniques et économiques préalable afin de trouver des moyens de production de la Spiruline a des prix compétitifs.
- ✓ Développer une industrie alimentaire plus large avec des produits enrichis à la Spiruline
- ✓ Tester les produits à grande échelle pour des personnes malades et voir réellement son efficacité thérapeutique.
- ✓ Réaliser des comparaisons sur le potentiel nutritionnel avec d'autres aliments et même d'autres algues comme la chlorelle qui est toujours encoure d'identifications.
- ✓ Développer un produit alimentaire composé de la spiruline et la chlorelle a haute densité nutritionnelle.

# Références bibliographiques

## Références bibliographiques

**ABD ELBAKY H.H., EI BAZ F. K., EI BAROTY G. S., 2004:** Production of antioxydant by the green alga *Dunaliella salina*. Int. J. Agri. Biol. V.103749-57.

**AFFA., 1982 :** Association française pour l'algologie appliqué actes du premier symposium sur la spiruline *Spirulina platensis*(Gom) Geitler de l'AFFA(1982)

**ANONYME., 2009 :** Green Algérie n°30. Sous le Haut Patronage Du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rurale.

**ANONYME., 2006 :** Bilan sur la nutrition/UNICEF. [www.unicef.fr/mediastore/7/1767-4.pdf](http://www.unicef.fr/mediastore/7/1767-4.pdf)).

**ARIEL E., 2003 :** Quel avenir pour la spiruline ? INSTM. Univ Montpellier.

**AYALA A; MANETTI G; BURGOS R; AYALA F., 2006 :** Industrial and semi Industrial production of *Spirulina*, third world potential (modular systems) In Charpy et al. (ed.) International Symposium on Cyanobacteria for Health, Science and Development: 77-81

**BALLONI W., TOMASSELLI S., GIOVENNETTI et MARGHERI M. C., 1980 :** Biologia fondamentale delgenera *Spirulina*, in Materassi R. (ed) Prospective della coltura di *Spirulina* in Italia. Consilio Nazionale delle Ricerche, Rome: 49-85  
Bd Voltaire (Paris)

**BELAY. , 1997:** Mass culture of *Spirulina* outdoors- the Earthise farms experience. In. vonshak,A, A, A., ED. *Spirulina platensis* (arthspira).physiology, cell biology and biotechnology, Taylor and Francis, London.

**BENAHMED D. , AMRANI M . , AZOUAOU M., DAMIR A., BENAMARA S. ,1999 :** Possibilité de fabrication d'un jus naturel a base d'un sirop de dattes communes et d'un extrait de spiruline et jus de citron naturel, Mémoire de Magister en Sciences

Agronomiques, Spécialité : Technologies Alimentaires ; Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques Université de Tizi-Ouzou ,14p.

**BERNARD D., SOULÉ p., 2003** : Informations recueillies auprès de "Nutrition plus" SODIMEX avec leur accord. Extrait du discours de Sally Hesmondhalgh lors de la conférence Nutrition Santé Mer . Revue Vie et Action. [en ligne]. [Consulté le 04-04-2012]. Disponible sur :<http://www.bernerdex@free.fr> /[www.philippe-soule.com/www.biovidex.com/index.php](http://www.philippe-soule.com/www.biovidex.com/index.php)

**BORCHERS A.T, BELAY A, KEEN C.L, et GERSHWIN M.E ., 2007**: Spirulin and Immunity in In Gershwin and Belay (ed.) Spirulina in Human Nutrition and Health : 177-193

**BOROWITZKA MA, BOROWITZKA LJ., 1988**: Micro-Algal biotechnology. New York: Cambridge University Press 477 pp

**BOURGEOIS CM et LEVEAU JY., 1980**. Techniques d'analyse et de contrôles dans les IAA : Le contrôle microbiologique, Ed Technique et documentation-Lavoisier, 2<sup>ème</sup> édition ; Tome 3 ; 454p.

**BOURGEOIS CM., MEXLE J.F., ZUCCA J., 1996**. Microbiologie alimentaire (Tome 2), Aspect microbiologique de la sécurité et qualité des aliments, pp272.292 Ed Lavoisier, Paris.

**BRIAND JF; ROBILLOT C, QUIBIER L.C, BERNARD C., 2002**: A perennial bloom of *Planktothrix agardhii* (Cyanobacteria) in a shallow eutrophic French lake: limnological and microcystin production studies. *Archiv Fur Hydrobiologie* 153: 605-622.

**BRIEND A., 1998** : La malnutrition de l'enfant, Institut Danone, rue du Duc 100, Bruxelles Brayerons O, Nguyen CK, Berger J, Salvignol B, Monvois C, Trèche S (2006) Alimentation infantile au Vietnam Dix ans d'actions et d'enseignements du programme Fasevie Coll. Etudes et Travaux Editions du GRET : 175p

**BUJARD E., BRACO U., MAURON J., MOTTU F., NABHOLZ A., WUHRMANN J.J. et CLEMENT G., 1970:** Composition and Nutritive Value of Blue Green Algae (Spirulina) and their Possible Use in Food Formulations 3rd.international Congress of Food Science and Technology

**CAMPANELLA L; CRESCENTINI G; AVINO P., 1999:** Chemical composition and nutritional evaluation of some natural and commercial food products based on Spirulina. *Analisis* 27: 533-540

**CASES J; WYSOCKA I.A, CAPORICCO B; JOUY N; BESANECON P; SZPUNAR J et ROUANET J.M ., 2002 :** Assessment of selenium bioavailability from high-selenium spirulina subfractions in selenium deficient Rats *J Agric Food Chem.*19; 50(13) : 3867-73

**CASTENHOLZ R.W; RIPPKA R; HERDMAN M et WILMOTTE A., 2001:** *Arthrospira Stizenberger 1852. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* (D. R. Boone & R.W. Castenholz, eds.) 1: 542-543

**CHALLEM J.J., PASSWATER R.A et MINDELL E.M., 1981:** *Spirulina*, Keats Publishing, Inc. New Canaan, Connecticut,

**CHAMORRO CEVALOS G; BARRON B.L et VAZQUEZ -SANCHEZ J .,2007 :**Toxicologic Studies and Antitoxic Properties of Spirulina *in* In Gershwin & Belay (ed.) *Spirulina in Human Nutrition and Health* : 27-50

**CHARPY I ; LANGLADE M. J ; ROMAIN ALLIOD R., 2008:** La spiruline peut elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique ? Institut de Recherche pour le Développement UR 167 (CYROCO).

**CHEN T ; ZHENG W ; WONG Y.S; YANG F et BAI Y., 2006 :** Accumulation of selenium in mixotrophic culture of *Spirulina platensis* on glucose. *Bioresour Technol.* 97: 2260-2265

**CHOMERAT N ; FAYOLLES S et CAZAUBON A., 2006 ;** Toxicité non exprimée par la cyanobactérie potentiellement toxique *Planktothrix agardhii* rencontrée dans

un étang saumâtre méditerranéen : prise en compte du risque dans le choix des espèces cultivées a des fins nutritives. In Charpy et al. (ed.) International Symposium on Cyanobacteria for Health, Science and Development: 25-26

**CHOPRA K et BISHNOI M., 2007:** Antioxydant Profile of Spirulina : A Blue-Green Microalga in Spirulina In Gershwin & Belay (ed.) Spirulina in Human Nutrition and Health : 101-118

**CIFERRI O, 1983:** Spirulina, the edible microorganism. Microbiological Reviews 47: 551-578

**CLEMENT G., 1975 :** Production et constituants caractéristiques des algues Spirulina platensis et S.maxima Ann.Nutr. Aliment. N° 29, p477-487.

**CLEMENT G; GIDDEY C et MENZI R., 1967,** Amino acid composition and nutritive value of the alga Spirulina maxima. Journal of the Science of Food and Agriculture 18: 497-501

**Codex Stan 202., 1995 :** Recueil des Normes Codex pour le couscous de Blé dur.Consulter le 12.04.2010 [www.codexalimentarius.net/.../standards/65/CXS202f.pdf](http://www.codexalimentarius.net/.../standards/65/CXS202f.pdf)

**COHEN Z; REUNGJITCHAWALI M; SIANGDUNG W et TANTICHAROEN M., 1993:** Production and partial purification of gamma-linolenic acid and some pigments from Spirulina platensis. Journal of Applied Phycology 5: 109-115

**COLLA L.M; BERTOLIN T.E et COSTA JAV. , 2004:** Fatty Acids Profile of Spirulina platensis Grown under Different Temperatures and Nitrogen Concentrations. ZEITSCHRIFT FUR NATURFORSCHUNG C 59: 55-59

**COSTA JAV; COLLA L.M; DURATE P; KABKE K et WEBER A., 2002:** Modelling of Spirulina platensis growth in fresh water using response surface methodology. World Journal of Microbiology and Biotechnology 18: 603-607

**COX P.A; BANACK S.A; MURCH S.J ;RASMUSSEN U; TIEN G, BIDIGARE R.R; METCALF J.S; MORISON L.F; CODD G.A et BERGMAN B ., 2005 :** Diverse taxa of cyanobacteria produce beta-N- methylamino-L-alanine, a neurotoxic amino-acid PNAS 102;5074-5078

**CRUZ A.R; AGUADO R; WINKLER D; SHAW C.A., 2006:** Lack of behavioral and neuropathological effects of dietary beta-methylamino-L-alanine (BMAA) in mice. Pharmacol Biochem Behav. 84(2):294-9

**DILLON J.C.et PHAN P.A., 1993:** Spirulina as a source of proteins in human nutrition Bull. Inst. Océano, Monaco, n°spécial, V. 12, 103-107.

**Directive 2002/46/CE du Parlement européen et du Conseil du 10 juin 2002** relative au rapprochement des législations des États membres concernant les compléments alimentaires (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE). Journal officiel n° L 183 du 12/07/2002 p. 0051 – 0057.

**DUPIRE J., 1998:** Objectif; malnutrition. Edition Similia;. enhances neurotoxicity through multiple mechanisms. Neurobiology of Disease 25(2): 360-366,224 p

**ESPIRAD E., 2002 :** Introduction à la transformation industrielle des fruits. Edition Technique et Documentation, Paris, 360p.

**FARRAR W.V., 1966:** Tecuitlatl a glimpse of Aztec food technology, Nature, 211, 341-342.

**FEDKOVIC Y; ASTRE C; PINGUET F; GERBER M; YCHOU M et PUJOL H ., 1993:** Spirulina and cancer Bull. Inst. Oceano., Monaco NS 12: 117-120

**FLAQUET J et HURNI J.P., 2006 :** Aspect nutritionnels de la spiruline .publier par Antenna Technologie.

**FOX R.D., 1999** : La Spiruline. Technique, Pratique et Promesse .EDISUD, Aix en Provence (246).

**GANTAR M et SVIRCEV Z., 2008**: Microalgae and cyanobacteria: Food for thought [Review]. Journal of Phycology 44:260-268

**GEITLER L., 1932**: Cyanophyceae. In : Rabenhorst's Kryptogamenflora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz. Kolkwits R. (Eds.) Leipzig Germany : Akademische Verlagsgesellschaft. 14

**GERSHWIN M.E et BELAY A., 2007**: Spirulina in Human Nutrition and Health. CRC Press: 312pp

**GOMEZ C.DJM ; BANEZ E; RUPREZ F.J et BARBAS C., 2004**: Tocopherol measurement in edible products of vegetable origin, J. Chromatogr. A 1054 : 227–233

**HARRIGON G., GOTEZ G., 2002**: Symbiotic and dietary marine microalgae as a source of bioactive molecules-experience from natural products research. Journal of Applied Phycology 14: 103-108

**HARRIGON G.G; LUESCH H; YOSHIDA W.Y ;MOORE R.E; NAGLE D.G et PAUL V.J., 1999**; Symplostatin 2: a dolastatin 13 analogue from the marine cyanobacterium *Symploca hydroides*. J. Nat. Prod. 62: 655-658

**HAYAKAWA Y; HAYASHI T; HAYASHI K; OZAWA T; NIIYA K et SAKURAGAWA N ., 1996**: Heparin cofactor II-dependent antithrombin activity of calcium spirulan. Blood Coagulation and Fibrinolysis 7: 554-560

**HAYSHI K; HAYASHI T; MORITA N et KOJIMA I., 1993**: An extract from *Spirulina platensis* is a selective inhibitor of herpes simplex virus type 1 penetration into HeLa cells. Phytotherapy Research 7: 76-80



**HENRIKSON R., 1994:** Microalga Spirulina, superalimento del futuro. Barcelona:Ediciones S. A. Urano ISBN 84-7953-047-2

**HUDSON BJF et KARIS IG., 1974:** he lipids of the alga Spirulina. J. Sci. Food Agric 25: 759-763  
Jacquet J (1974) Utilisations biologiques des Spirulines . Bull. Acad. Vét. XLVII

**ITEMAN I ., 2008 :** Colloque International sur la spiruline . Thèse « LA SPIRULINE ET LE DEVELOPPEMENT »

**JACQUET J., 1974 :** Utilisations biologiques des Spirulines . Bull. Acad. Vét. XLVII

**JAMES R; SAMPATH K; THANGARATHINAM R et VASUDEVAN I., 2006:** Effect of dietary spirulina level on growth, fertility, coloration and leucocyte count in red swordtail, Xiphophorus helleri. Israeli Journal Of Aquaculture Bamidgeh 58: 97-104

**JARISOA T., 2005 :** Adaptation de la spiruline du Sud de MADAGASCAR a la culture d'eau de mer .Mise au point de la production à l'échelle villageoise .Thés Doctorat I .H .S. M.Univ de TOLIARA.

**JOCHIMSEN E.M ;CARMICHEAL W.W; AN J ; CARDO D;COOKSON ST;HOLMES CEM ; ANTUNES MBC; MELO FILHO D.A; LYRA T.M; BARRETO V; AZEVEDO SMFO ;JARVIS W.R., 1998:** Liver failure and death following exposure to microcystin toxins at a hemodialysis center in Brazil. The New England Journal of Medicine 36: 373-378

**JOURDAN J.P., 2002 :** Le mystère des droites (en ligne) c2002.(consulté le 20/04/2012)disponiblesur :[http ;//www.com.univurs.fr/IRDS/urcyano/activites/pdf/Spirulin.pdf](http://www.com.univurs.fr/IRDS/urcyano/activites/pdf/Spirulin.pdf)

**JOURDAN J.P., 2006 :** Cultivez votre Spiruline. Manuel de culture artisanale pour la production de la spiruline. Publication Antenna Technologie

**KIET PQ et DURAND- CHASTEL H ., 2006:** Spirulina rich in AIDS-Antiviral Sulfolipids. In Charpy et al. (ed.) International Symposium on Cyanobacteria for Health, Science and Development: 111-117

**KIM C.J; YOON S.K; KIM H.I; PARK Y.H et OH H.M., 2006:** Effect of Spirulina platensis and probiotics as feed additives on growth of shrimp Fenneropenaeus chinensis. Journal of Microbiology and Biotechnology 16. 1248-1254.

**KOHLER J. et HOEG S., 2000:** Phytoplankton selection in a river-lake system during two decades of changing nutrient supply. Hydrobiologia 424: 13-24

**LEE J.B; HAYASHI T; HAYASHI K; SANKAWA U; MAEDA M; NEMOTO T et NAKANISHI H., 1998:** Further purification and structural analysis of calcium spirulan from Spirulina platensis. Journal of natural products, Sept: 1101-1104

**LEE J.B; SRISOMPORN P; HAYASHI K; TANAKA T; SANKAWA U et HAYASHI T., 2001:** Effects of structural modification of calcium spirulan, a sulfated polysaccharide from Spirulina platensis, on antiviral activity. Chemical And Pharmaceutical Bulletin. Jan 49: 108-110

**LEONARD J., et COMPERE P., 1967:** algue bleue de grande valeur alimentaire par sa richesse en protéines, BULL.JORD.BOT.NAT.BELG., v.37,n°1, suppl.23.

**LI B; GAO M.H; ZHANG X.C et CHU X.M., 2006:** Molecular immune mechanism of C-phycoerythrin from Spirulina platensis induces apoptosis in HeLa cells in vitro. Biotechnology And Applied Biochemistry 43(3) : 155-164

**LOBNER D; PIANA PMT; ABED K; SALOUS A.K, et PEOPLES RW., 2007:**  $\beta$ -N-methylamino-L-alanine enhances neurotoxicity through multiple mechanisms. Neurobiology of Disease 25(2): 360-366

**LOBNER M; WASTLED A; LARSEN R; BENDTZEN K et NIELSEN CH., 2008:** Enhancement of Human Adaptive Immune Responses by Administration of a High-Molecular-Weight Polysaccharide Extract from the Cyanobacterium *Arthrospira platensis* Journal of Medicinal Food 11(2): 313-322

**LOUNICI S., 2010:** Caractérisation de la spiruline : *Spirulina htam*, Optimisation des conditions de culture et application industrielle. Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques, Spécialité : Nutrition et transformation des aliments,

**MAO K; VAN DE WATER J et GERSHWIN M.E.,2005:** Effects of Spirulinabased dietary supplement on cytokine production from allergic rhinitis patients J.Med.Food, V .8 n°1, 27-30.

**MAZO V.K., 2004:** Microalgae spirulina in human nutrition. Vopr Pitan 73:45-53.

**MIRON SANCHEZ A; CAMACHO F.G; GOMEZ A.C; MOLINA GRIMA E et CHISIT Y., 2003:** Bubble-colum and airlift photobioreactors for algal culture. "AIChE Journal, V 46, n°9.

**MUHLING M; HARRIS N; BELAY A et WHITTON BA., 2003:** Reversal of helix orientation in the cyanobacterium *Arthrospira*. Journal of Phycology 39: 360-367

**MUNDIT S; KREITLOW S; NOWOTNY A et EFFMERT U., 2001:** Biochemical and pharmacological investigations of selected cyanobacteria. International Journal of Hygiene and Environmental Health 203: 327-334

**OLIVERIA E.G., ROSA G.S., MORAES M.A., PINTO L., 2009:** Moisture sorption characteristics of microalgae *Spirulina platensis*. Braz. J. Chem. Eng. V. 26, n°1 São Paulo.

**OMS. , 2004.** Guidelines for drinking-water quality. Vol.1. Recommandations, 3<sup>rd</sup> Ed. World Health Organization. Geneva.

**OZDEMIR G; KARABAY N.U; DALAY M et PAZARBASI B., 2004:** Antibacterial activity of volatile component and various extracts of *Spirulina platensis*. *Phytother, Res*; V.18 n° 9,754-757.

**PAG. , 1974:** Protein advisory group of U.N., recent developments in spiruline *PAG* bulletin, v.3, n°4, 4-7.

**PASCAUD M; DOUMENGE F; DURAND-CHASTEL H et TOULEMONT A .,1993:** The essential polyunsaturated fatty acids of *Spirulina* and our immune response. *Bull. Inst. océanogr. NS12*: 49-57

**PEREZ R ., 1997:** Ces algues qui nous entourent . conception actuelle rôle dans la biosphère, utilisation , culture .Edi IFREME.

**PIERLOVISI C., 2007:** L'homme et la spiruline un avenir commun ? Composition chimique, intérêts alimentaires et activités biologiques. Faculté des Sciences pharmaceutiques et biologiques. Parie(162)

**PRATI G; MOLTENIB M; POMATIE F; ROSSETTI C et BERNARDINIA G., 2001:** Biological effect of the *Planktothrix* sp. FP1 cyanobacterial extract. *Toxicon* 40(3) : 267-272

**PROTEUS I., 1975:** Clinical Experimentation with *Spirulina* National Institut of Nutrition, Mexico City, (transl. by Proteus, Inc.

**PUGH N; ROSS SA; EISOHLY HN; EISOHLY MA et PASCO DS., 2001:** Isolation of three high molecular weight polysaccharide preparations with potent immunostimulatory activity from *Spirulina platensis*, *Aphanizomenon flos-aquae* and *Chlorella pyrenoidosa*. *Planta Medica* 67: 737-742

**QUILLET M., 1975:** Recherches sur les substances glucidiques élaborées par les Spirulines .*Ann.Nutr. Alim.*29. pp 553-561.

**QURESHI M.A; GARLICH JD et KIDD MT., 1996:** Dietary *Spirulina platensis* enhances humoral and cell-mediated immune functions in chickens. *Immunopharmacology and Immunotoxicology* 18: 465-476

**RAMAMOORTHY A et PREMAKUMARI S., 1996:** Effect of supplementation of *Spirulina* on Hypercholesterolemic patients. *Journal of Food Science and Technology* 33: 124-128

**RAZAFINDRAJAONA J.M , RAOTZANDRINY R, RANDRIA J.N,KOTONORA D.R ., 2008 :** Etude de la valeur nutritionnelle de la Spiruline de Madagascar (*Spirulina Platensis* Var. *Toliara*) ESSA , Université d'Antananarivo, CNARP antananarivo, IHSM , Université de Toliara [http://madarevues.recherches.gov.mg/revues/pdf/files/terre-mg25\(7\).pdf](http://madarevues.recherches.gov.mg/revues/pdf/files/terre-mg25(7).pdf), 162-188p

**REGUNATHAN C et WESLEY SG., 2006:** Pigment deficiency correction in shrimp broodstock using *Spirulina* as a carotenoid source. *Aquaculture Nutrition* 12: 425-432

**REUTERS F.O. ,2006 :**L'Afrique mise sur l'algue verte pour mieux se nourrir, *Le Monde* du 05.03.06

**REVUE « Nature & Technologie » n° 06/Janvier 2012 :** Etude de l'impact de l'incorporation de la spiruline sur les propriétés nutritionnelles, technologiques et organoleptiques.

**SAKER M.L ;WELKER M et VASCONCELOS VM., 2007:** Multiplex PCR for the detection of toxigenic cyanobacteria in dietary supplements produced for human consumption *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 73 :1136-1142

**SAMUELS R; MANI UV; LYER UM, et NAYAK US., 2002:** Hypocholesterolemic effect of *Spirulina* in patients with hyperlipidemic nephrotic syndrome. *Journal of Medicinal Food* 5: 91-96

**SANTILLON C., 1974:** Cultivation of the spirulina for Human Consumption and for Animal Feed. *International Congress of Food Science and Technology.*

**SESHADRI C.V; UMESH BV et MANOHARAN R., 1991:** Beta-carotene studies in Spirulina Society of Applied Algology. International conference No5, vol. 38, no 2-3 : 111-113

**SHEKHARAM KM; VENKATARAMAN LV et SALIMATH PV., 1987:** Carbohydrate Composition and Characterization of Two Unusual Sugars from the Blue Green Alga Spirulina-Platensis. Phytochemistry 26: 2267-2270

**SHKLAR G et SCHWARTZ J., 1988:** Tumor necrosis factor in experimental cancer regression with alphotocopherol, beta-carotene, canthaxanthin and algae extract, Eur J. Cancer Clin. Oncol., V. 24, n°5, 839-50.

**SIMPORE J; KABORE F ; ZONGO F ; DANSOU D ; BERE A ; PIGNATELLI S., BIODI D.M ; RUBERTO G ; MUSUMECI S ., 2006 :**Nutrition rehabilitation of undernourished children utilizing Spirulina and Misola. Nutrition journal.

**SINGH Y., 1994:** Adaptation of a strain of Spirulina platensis to grow in cobalt- and iodine-enriched media. J-Appl-Bacteriol. 76(2) : 149-54

**SISSO B., 2001 :** Saveurs et vertus de la spiruline .Mamaeditions.com, 117 Bd Voltaire (Paris)

**SPOLAORE P ; JOANNIS-CASSAN C ; DURAND E et ISAMBERT A ., 2006:** Commercial Applications of Microalgae. Journal of Bioscience and Bioengineering 101: 87-96

**TUILLIEZ J ; BORIES G ; BOUDENE C et FEVRIER C., 1975:** Les hydrocarbures des algues Spirulines: nature, étude du devenir de l'heptadécane chez le rat et le porc. Ann. Nutr. Alim. 29: 563-572USDB ,137p.

**VAN R. J. et SHILO M., 1986:** Nitrogen Limitation in Natural Populations of Cyanobacteria (Spirulina and Oscillatoria spp.) and Its Effect on Macromolecular Synthesis Appl Environ Microbiol. V. 52 n° 2 , 340-344.

**VENKATARAMAN L.V et BECKER E.W., 1985:** Algal production costs .Biotechnology and Utilization of Algae. the Indian Experience – Sharada Press. P208-212.

**VIDALO J.L., 2008:** Spiruline l'algue bleu de santé et de prévention. ED. Dauphin pp47-82.

**VINCENZIMI M; FERRARI F ; MARGHERI MO et FLORENZANO G ., 1980 :**  
:Quinonoid and tocopherol levels in Spirulina platensis.Microbiologica 3 : 131-136

**VONSHAK A., 1997:** Spirulina platensis .Arthrospira. Physiology, Cell-biology, and Biotechnology", Taylor and Francis.

**WANG J ; WANG Y ; WANG ZX ; LI L ; QINJ ; LAI WQ ; FU T; SUTER P.M ; RUSSELL R.M ; GRUSAK MA ; TANG GW ; YIN S.A., 2008.** Vitamin A equivalence of spirulina beta – carotene in Chinese adults as assessed by using a stable isotope reference method. American Journal of Clinical Nutrition.

**WEISS J.H et CHOI D.W., 1988:** Beta-N-methylamino-L-alanine neurotoxicity:requirement for bicarbonate as a cofactor. Science 241: 973–975.

**WU L–C et HO J–a A.,2007:** Antioxydative and Hepatoprotective Effects of Spirulina » Gershwin et Belay (ed) Spirulina in Human Nutrition and Health 119-151.

**XUE CH ;HU YQ; SAITO H; ZHANG ZH; LI ZJ; CAI YP; OU CR ; LIN H et IMBS AB .,2002:** Molecular species composition of glycolipids from Spirulina platensis. Food Chemistry 77: 9-13

**YAMAMOTO C; NAKAMURA A; SHIMADA S; KAJI T; LEE JB et HAYASHI T., 2003:** Differential effects of sodium spirulan on the secretion of fibrinolytic proteins from vascular endothelial cells: Enhancement of plasminogen activator activity. Journal of Health Science 49: 405-409

**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* (Setch et Gardner) Geitler. Thèse doctorat. Paris

**ZHANG HQ ; LIN AP; SUN Y et DENG YM., 2001**: Chemo- and radio-protective effects of polysaccharide of *Spirulina platensis* on hemopoietic system of mice and dogs. *Acta Pharmacologica Sinica* 22 : 1121-1124



**Annexes**

## Annexe 1 : présentation des unités

-Une formation de niveau mondial « **L'Institut national spécialisé dans la formation en industrie agroalimentaire** de Sidi Abdelkader (Blida) » organise périodiquement des cycles de formation au profit des TS et ingénieur. En plus des formations diplômâtes en transformation céréalière, en contrôle de la qualité, en technologie de la conserve, des boissons, du lait et de ses dérivés sont disponibles en mode d'apprentissage au profit des stagiaires. Toutefois,



et pour lancer le cursus, cela demeurera tributaire de l'implication des industriels et opérateurs économiques pour les prendre en charge puisque ces formations sont basées surtout sur la pratique au sein des entreprises.

-La fromagerie « **le Berbère** » doit sa rapide croissance à de lourds investissements, faisant appel à des équipements de dernière génération et à la mise sur le marché d'une gamme diversifiée de produits, soumis à une charte de qualité dont la rigueur est alignée sur les normes des spécialistes en fromage fondu les plus réputés au monde.



1996 : Création de la société avec au départ une équipe de 60 salariés et une production annuelle de 535 tonnes.

2001 : Nouvelle usine dans la zone d'activité Amara II à Chéraga, dotée d'équipements de dernière génération. Augmentation des capacités de production qui ont atteint un volume de 6500 tonnes.

2007 : Première phase de mise à niveau, en collaboration avec l'Euro développement PME : Aménagements, Installations, Nouveaux équipements.

2009 : Deuxième phase dans le cadre du programme de mise à niveau PMEII : Mise en œuvre d'un système HACCP.

-Laboratoire de contrôle de la qualité « **PILAB** »a Blida : contrôle physico-chimiques ; microbiologiques et toxicologiques des produits agro alimentaire.



## **Annexe2: Milieux, Réactifs et additifs**

### **Milieux des cultures :**

- ✓ Gélose glucosée à l'oxytétracycline (OGA).
- ✓ Gélose viande fois(VF).
- ✓ Gélose de Baird Parker.
- ✓ Gélose TDYM.
- ✓ Bouillon TSE.
- ✓ Milieu sélectif de Rothe S/C et D/C.
- ✓ Milieu sélectif VBL.
- ✓ Eau distillée.
- ✓ Eau peptones exempte d'indole.

### **Réactifs et additifs :**

- ✓ Réactif Ethyle éther.
- ✓ Catalyseur ammoniac.
- ✓ Solution d'Hydroxyde de Sodium à 93%.
- ✓ Acide Sulfurique concentré à 0.25 N.
- ✓ Solution d'acide Borique.
- ✓ Acide Perchlorique.
- ✓ Anthrone.
- ✓ L'éthanol à 95%.
- ✓ Alcool éthylique à95%.
- ✓ Acétone à 90%.
- ✓ D<sup>+</sup>glucose
- ✓ Sulfite de sodium.
- ✓ Tellurite de potassium.
- ✓ Rouge de méthyle
- ✓ Phénolphtaléine.

### **Annexe3 : Matériels d'analyses microbiologiques et physicochimiques:**

#### ✓ **Appareillages :**

- Appareil SOXHLET
- Bain marie.
- Balance analytique de type (QE-400)
- Bec bunsen.
- Centrifugeuse.
- Dessiccateur de type (TESTED FOR 294 KPa).
- Dispositif de Kjeldahl.
- Distillateur.
- Etuve de 130°C de type (MEMMERT Max 220°C)
- Etuves d'incubation (25 °C et 37 °C et 47°C).
- Four à moufle de type (Linn Température Max 1200°C)
- Homogénéisateur de type NF 200.nuvc
- Hotte
- Minéralisateur
- pH mètre.
- Spectrophotomètre.

#### **Verrerie et autres :**

- Bécher.
- Boîtes pétri.
- Burette.
- Eprouvette graduée.
- Erlen-Meyer.
- Flacons stériles.
- Pipette graduée 1 ml, 100ml.
- Pipettes Pasteur.
- Tubes à essai stérile.
- Verreries (tubes aessai, pipettes pasteur, fioles, hotonoir, nacelles, capsules...



Centrifugeuse.



Bain marie.



Balance analytique de type (QE-400)



Minéralisateur+ Hotte



Dessiccateur



Spectrophotomètre.



Homogénéisateur de type  
NF 200



Etuve de 130°C de type  
MEMMERT (Max 220°C)



Bec bunsen.



Etuves d'incubation



Four à moufle type (Linn T°max1200C°)



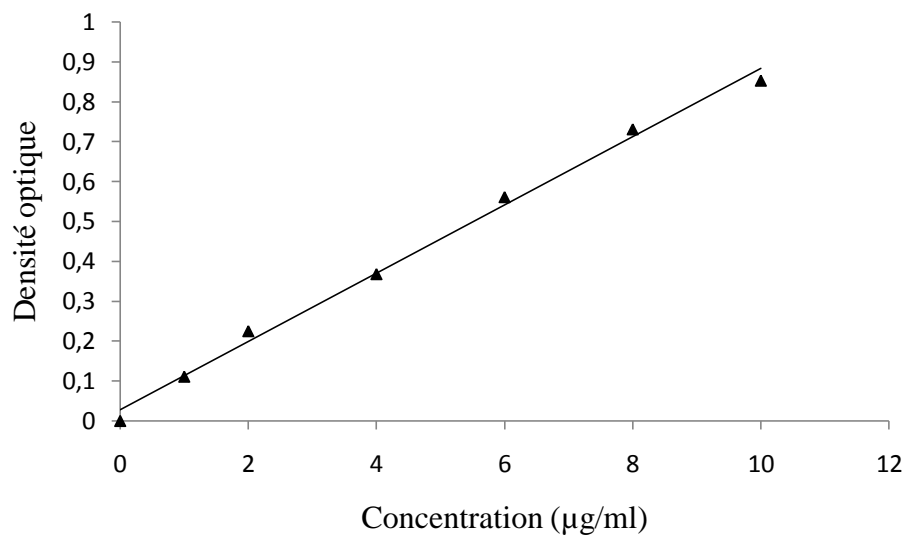
pH mètre

**Annexe 4. La composition du milieu de Hiri (Pour 1l d'eau distillée)**

| Nom  | Quantité (g/l) |
|--|----------------|
| Bicarbonate de soude (NaHCO <sub>3</sub> )                             | 16             |
| Chlorure de sodium (NaCl)  | 1              |
| Phosphate d'ammonium (NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) | 0,1            |
| Sulfate de fer (FeSO <sub>4</sub> )                                    | 0,01           |
| Sulfate de magnésium (MgSO <sub>4</sub> )                              | 0,1            |
| Sulfate de potassium (K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )                 | 0,5            |
| Chlorure de calcium (CaCl <sub>2</sub> )                               | 0,1            |
| Urée azotée CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>                          | 0,1            |

**Annexe 5. La composition du milieu Zarrouk (Jourdan, 1997; Fox, 1999).**

| sésopmoC   | sétitnaQ   |
|--|--|
| <b>Composition du milieu de base (en g/l de solution aqueuse)</b>  |  |
| NaHCO <sub>3</sub><br>K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub><br>NaNO <sub>3</sub><br>K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub><br>NaCl<br>MgSO <sub>4</sub> , 7 H <sub>2</sub> O<br>CaCl <sub>2</sub><br>FeSO <sub>4</sub> , 7 H <sub>2</sub><br>EDTA (acide éthylène diamino<br>tétracétique) | 16.8<br>0.5<br>2.5<br>1.0<br>0.2<br>0.04<br>0.01<br>0.08 |
| 1ml de A5 + 1ml de B6 pour chaque litre de milieu de base  |  |
| <b>Composition de la solution A5 (en g/l)</b>  |  |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub><br>MnCl <sub>2</sub> , 4 H <sub>2</sub> O<br>ZnSO <sub>4</sub> , 7 H <sub>2</sub> O<br>CuSO <sub>4</sub> , 5 H <sub>2</sub> O<br>MoO <sub>3</sub>   | 2.86<br>1.81<br>0.22<br>0.08<br>0.015                    |
| <b>Composition de la solution B6 (en g/l)</b>  |  |
| NH <sub>4</sub> VO <sub>3</sub><br>K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> SO <sub>4</sub><br>NI SO <sub>4</sub><br>NA <sub>2</sub> WO <sub>4</sub><br>TI <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub><br>CO (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>  | 0,0229<br>0,096<br>0,04785<br>0,01794<br>0,04<br>0,04398 |

**Annexe 6 : Courbe d'étalonnage des carbohydrates d'une solution de D<sup>+</sup>glucose****Courbe d'étalonnage du glucose.**



# **Partie II:**

# **Étude Expérimentale**

# Chapitre II

## Résultats et Discussions