



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

Université Kasdi-Merbah Ouargla  
Faculté des Sciences Appliquées  
Département Génie des procédés

Mémoire : MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

Préparée par :

BEN MESSAOUD Elkhansa

SEDDIKI Ferdaws

Thème :

Contribution à l'étude d'une algue *Arthrospira*  
*platensis* « *SPIRULINE Sp* »

Soutenue publiquement : juin 2019 devant le jury

Mr. BAAMER Lotfi	Président	UKM Ouargla
Mr. GOUDJIL Med Bilal	Examineur	UKM Ouargla
M <sup>elle</sup> . ZIGHMI Souad	Encadreur	UKM Ouargla

Année universitaire : 2018/2019

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes très chers parents pour leur amour, leur confiance, leur présence et leur soutien dans les épreuves que la vie nous a réservées.*

*Ma chère sœur : Balkis.*

*Mes chers frères : Elfarouk et Islam.*

*Ma nièce : Ferdaws.*

*Tous les membres de ma famille : BEN  
MESSAOUD et MESSAOUDI.*

*Ma chère amie du ma partage de ce travail :  
SEDDIKI Ferdaws.*

*Mes amies : Oum Kathoum, Zahret Elle Oula,  
Nabila.*

*Tous ceux qui m'ont encouragé de près ou de loin.*

*El Khawssa*

# Dédicace

*A mes très chers parents :*

*Merci de m'avoir permis de faire les études que je souhaitais et de m'avoir toujours soutenu dans mon parcours, merci d'être toujours là pour moi j'ai de la chance de vous avoir comme parents. Je vous aime de tout mon cœur.*

*A mon Amour mon marié :*

*Mon cœur merci de m'avoir soutenu de m'avoir aidé d'avoir sacrifié de nombreux jours pour moi et surtout merci de m'avoir supporté tu m'as redonné l'envie d'avancer la réalisation de mon mémoire mais aussi dans ma vie.*

*Tous les membres de ma famille SEDDIKI, SAADI et KORICHI, mes chères sœur Anfel, Kawthar et mes chers frères Ahmed, Aymen, Anés*

*Ma chère amie qui ma partage ce travail :*

*BEN MESSAOUD El Khanssa*

*Mes amies : Oum Kathoum, Zahret Elle Oula, Nabila.*

*Ferdaws*

## Remerciements

*Tout d'abord nous remercions Dieu tout puissant de la bonne santé, la volonté et la patience.*

*Nous souhaitons remercier notre encadreur **M<sup>elle</sup> ZIGHMI Souad** pour son aide, son orientation les conseils qu'elle nous a prodigué.*

*Je tiens à remercier particulièrement le docteur **Mr. GOUDJIL Bilal** pour toutes ses assistances matérielles et morales.*

*Nous remercions aussi le professeur **Mr. SEGNI Ladjel**, qui nous a permis de travailler dans son laboratoire, et aussi **M<sup>elle</sup> MEFLAH Siham** pour tous son assistances et ses conseils.*

*Egalement nous n'oublions pas le professeur **Mr. MESSAITFA Ammar** pour son accueil dans son laboratoire, et **M<sup>elle</sup> AYACHI Asma**.*

*Nous remercions ici tout spécialement **Mr. HIRI Abdelkader** pour toutes ses instructions et ses conseils et aussi pour nous avoir donné la souche de spiruline pour accomplir ce travail.*

*Nous remercions chaleureusement **Dr. CHERBI** qui nous reçue dans son laboratoire d'analyses médicales, sans oublier **Mr. KORICHI M<sup>ed</sup> Anés**.*

*Nous remercions infiniment le défunt feu **ZEKRI Salah** "que dieu ait son âme et lui accorde sa clémence et sa miséricorde" qui est aussi nous recevoir dans son laboratoire d'analyse physico-chimique.*

*Nous remercions vivement **Mr. SAGGAI Ali** pour ces conseils et ces instructions.*

*Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.*

### Résumé :

La *SPIRULINE* est connue comme source nutritive majeure autour du monde, elle a plusieurs intérêts et activités thérapeutiques, compte tenu de ces intérêts, elle a fait l'objet de notre étude pour mieux la connaître.

L'étude a été réalisée sur l'espèce *SPIRULINE BEHATAM*, Nous avons fait un screening chimique de l'espèce par un extrait qui a été préparé à partir de la biomasse de cette algue avec le solvant n-hexane. Ensuite, nous avons essayé d'examiner quelques effets thérapeutiques de notre extrait, malheureusement, les moyens disponibles nous n'avons pu examiner que l'activité antibactérienne et antifongique. L'activité antibactérienne a été évaluée par la méthode de diffusion en milieu solide sur trois bactéries (*Escherichia coli*, *Staphylococcus* et *Salmonella*) et l'activité antifongique a été évaluée sur deux champignons (*Cladosporium herbarum* et *Trichophyton sp.*).

Enfin, notre extrait a montré un effet antibactérien comparable aux travaux publiés dans la bibliographie, il a montré aussi un bon effet antifongique contre *Cladosporium herbarum*.

**Mots clés :** *SPIRULINE BEHATAM*, screening chimique, activité antibactérienne, activité antifongique.

### ملخص:

تعرف السبيرولينا من الأعشاب البحرية الزرقاء الرائدة من حيث القيمة الغذائية والمنافع العلاجية للإنسان وكذا الكائنات الحية الأخرى، لذا كان الهدف الرئيسي لهذه الدراسة تسليط الضوء على هذه الأعشاب وكذا اختبار بعض من أنشطتها العلاجية.

استعملنا النوع *Spiruline BEHATAM* كنموذج للدراسة، حيث قمنا كمرحلة أولى بالفحص الكيميائي للعشبة وذلك باستخلاص الزيت منها باستعمال المذيب n-hexane، بعد ذلك حاولنا اختبار بعض الأنشطة العلاجية التي توفرها العشبة لكن للأسف لم تسمح الإمكانيات والوسائل إلا باختبار التأثير المضاد للبكتيريا والفطريات لها المستخلص.

قيمنا النشاط المضاد للبكتيريا باستخدام طريقة الانتشار على وسط صلب لثلاثة أنواع من البكتيريا (*Escherichia coli*، *Staphylococcus* و *Salmonella*) والنشاط المضاد للفطريات لنوعين من الفطريات (*Cladosporium herbarum* و *Trichophyton Sp*).

## **Résumé**

---

في الأخير، مستخلص السبيرولينا المستخدمة في الدراسة كان له تأثير مضاد للنشاط البكتيري مثلما وجد في الدراسات السابقة بينما كان له تأثير جيد معتبر ضد أحد أنواع الفطريات المختبرة.

**الكلمات المفتاحية:** *SPIRULINE BEHATAM*، الأعشاب البحرية الزرقاء، النشاط المضاد للبكتيريا والفطريات، استخلاص

الزيت

## **Abstract:**

In addition to its nutritional value, *SPIRULINA* has been used lately as a dietary supplement for an alternative therapy to many health problems. This study comes to highlight some of the chemical compounds of *SPIRULINA* and examine some of its therapeutic activities.

In our study, we have used *SPIRULINA BEHATAM* as a study model. Our work starts with a lipid extraction of the *Spirulina* biomass using a n-hexane solvent, then we tried to test the antibacterial and antifungal activities of this extract. We have assessed the antibacterial activity using the method of diffusion in a solid milieu to a three bacteria (*Escherichia coli*, *Staphylococcus* and *Salmonella*) and the antifungal activity to a two fungi (*Cladosporium herbarum* and *Trichophyton sp*).

Our results showed that, *SPIRULINA BEHATAM*'s n-hexane extract has a slight antibacterial effect comparatively with other solvent extract, a result that is compatible with bibliography researches, however it has a considerable effect on fungi and therefore, it has a good antifungal activity.

**Keywords:** *SPIRULINA BEHATAM*, chemical screening, antibacterial and antifungal activity, lipid

## Sommaire

<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>I</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>III</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>IV</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....	<b>V</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>1</b>

### **PARTIE I : BIBLIOGRAPHIE**

#### **CHAPITRE I : GENERALITES ET PRESENTATION DE LA SPIRULINE**

<b>I. 1. Introduction</b> .....	<b>3</b>
<b>I. 2. Généralités sur les algues</b> .....	<b>3</b>
I. 2. 1. Définition des algues .....	3
I. 2. 2. Classifications des algues .....	3
I. 2. 3. Utilisations des algues .....	4
I. 2. 4. Les systèmes de culture .....	4
<b>I. 3. Présentation de la <i>SPIRULINE</i></b> .....	<b>5</b>
I. 3. 1. Définition .....	5
I. 3. 2. Historique de la <i>SPIRULINE</i> .....	6
I. 3. 3. Morphologie de la <i>SPIRULINE</i> .....	7
I. 3. 4. Les compositions chimiques de la <i>SPIRULINE</i> .....	8
I. 3. 5. Les conditions physiques et chimiques de croissance .....	8
I. 3. 6. La reproduction de la <i>SPIRULINE</i> .....	9
I. 3. 7. La production de la <i>SPIRULINE</i> .....	9
I. 3. 8. Le déplacement de la <i>SPIRULINE</i> .....	9
<b>I. 4. Conclusion</b> .....	<b>9</b>

#### **CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES THERAPEUTIQUES DE LA SPIRULINE**

<b>II. 1 Introduction</b> .....	<b>11</b>
<b>II. 2. Les caractéristiques nutritionnelles et thérapeutiques des constituants de <i>SPIRULINE</i></b> .....	<b>11</b>
II. 2. 1. Protéines .....	11
II. 2. 2. Lipides .....	12
II. 2. 3. Glucides .....	12
II. 2. 4. Vitamines .....	13
II. 2. 5. Minéraux et oligoéléments .....	15

## Sommaire

---

---

<b>II. 3. Les activités biologiques</b> .....	<b>17</b>
II. 3. 1. Activité antibactérienne .....	17
II. 3. 2. L'activité antifongique.....	17
II. 3. 3. Autres activités.....	18
<b>II. 4. Conclusion</b> .....	<b>18</b>

## PARTIE II : ANALYSE PRATIQUE

### CHAPITRE III : EXPERIMENTATION, RESULTATS ET INTERPRETATION

<b>III. 1. Introduction</b> .....	<b>19</b>
<b>III. 2. Modèle d'étude « <i>SPIRULINE BEHATAM</i> »</b> .....	<b>19</b>
<b>III. 3. Situation géographique de <i>SPIRULINE BEHATAM</i></b> .....	<b>19</b>
<b>III. 4. Procédé d'extraction des lipides de <i>SPIRULINE</i></b> .....	<b>20</b>
III. 4. 1. Extraction au Soxhlet par n-hexane .....	20
III. 4. 2. Résultats d'extraction .....	22
<b>III. 5. Mesure le pH de l'extrait</b> .....	<b>24</b>
<b>III. 6. Les activités biologiques</b> .....	<b>25</b>
III. 6. 1. L'activité antibactérienne .....	25
III. 6. 2. Résultats de l'activité antibactérienne .....	27
III. 6. 3. L'activité antifongique .....	28
III. 6. 4. Résultats de l'activité antifongique .....	31
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES</b> .....	<b>35</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	<b>37</b>
<b>ANNAXES</b>	



Liste des figures

Numéro de figure	Titre de figure	Page
<b>Figure I. 1</b>	<i>Exemple d'un système ouvert de culture d'algue.</i>	05
<b>Figure I. 2</b>	<i>Exemple d'un système fermé de culture d'algue.</i>	05
<b>Figure I. 3</b>	<i>Morphologies typiques de la SPIRULINE.</i>	07
<b>Figure III. 1</b>	<i>Spiruline vue au microscope.</i>	19
<b>Figure III. 2</b>	<i>Carte géographique de la région de Tamanrasset.</i>	20
<b>Figure III. 3</b>	<i>Montage d'un appareil de Soxhlet.</i>	21
<b>Figure III. 4</b>	<i>La formule développée de n-hexane.</i>	21
<b>Figure III. 5</b>	<i>Les étapes (A) d'extraction et (B) d'évaporation.</i>	22
<b>Figure III. 6</b>	<i>L'huile extraite obtenue</i>	23
<b>Figure III. 7</b>	<i>le degré de pH de l'extrait obtenu.</i>	24
<b>Figure III. 8</b>	<i>Ensemencement et application des disques chargés de l'extrait de la SPIRULINE</i>	26
<b>Figure III. 9</b>	<i>Protocole expérimentale de l'essai de l'activité antibactérienne</i>	27
<b>Figure III. 10</b>	<i>l'effet antibactérienne du l'extrait lipidique de SPIRULINE</i>	28
<b>Figure III. 11</b>	<i>La préparation des différentes concentrations.</i>	29
<b>Figure III. 12</b>	<i>L'étape de l'inoculation</i>	30
<b>Figure III.13</b>	<i>Protocole expérimentale de l'essai de l'activité antifongique de l'extrait de SPIRULINE</i>	31
<b>Figure III. 14</b>	<i>L'effet de l'extrait de SPIRULINE sur Trichophyton sp</i>	31
<b>Figure III. 15</b>	<i>L'effet de l'extrait de SPIRULINE sur Cladosporium herbarum</i>	32
<b>Figure III. 16</b>	<i>L'effet de l'extrait de SPIRULINE sur les deux souches fongiques</i>	32
<b>Figure III. 17</b>	<i>Taux d'inhibition des souches en fonction de la concentration de l'extrait de SPIRULINE</i>	33

Liste des tableaux

Numéro de tableau	Titre de tableau	page
<b>Tableau I. 1</b>	Position systématique du genre <i>SPIRULINE</i> .	9
<b>Tableau II. 1</b>	Teneurs en vitamine (mg/kg) de matière sèche de la <i>SPIRULINE</i> .	15
<b>Tableau II. 2</b>	Teneur moyenne et principales fonctions des minéraux et des oligoéléments de la <i>SPIRULINE</i> .	16
<b>Tableau III. 1</b>	Les concentrations expérimentales pour l'essai antifongique.	30

**Liste des abréviations**

**DMSO**          Diméthyl sulfoxyde

**PDA**            Potato dextrose agar

**BEHTAM**       BOILEAU Etienne HIRI Abdelkader Tamanrasset

**ATCC**          American Type Culture Collection

---

# Introduction générale

---

### Introduction générale

Les cyanobactéries sont des organismes anciennement appelées algue bleu-vert, elles forment l'essentiel des bactéries capables de photosynthèse avec production d'oxygène, elles présentent une très grande diversité morphologique et aussi elles peuvent être unicellulaires ou filamenteuses. Cette étude représente le genre *Spirulina* ou *Arthrospira* qui est une cyanobactérie filamenteuse dont fait partie une bactérie intéressante dénommée *Spirulina platensis* (ou *Arthrospira platensis*) [1].

La *SPIRULINE* est une algue bleu-vert qui présente l'intérêt scientifique pour ces importances nutritionnelles et phyto-thérapeutiques, puisqu'elle est riche en pigments, protéines, glucides, lipides, vitamines et minéraux et est consommés par les peuples d'Afrique et d'Amérique. On peut citer certaines études ont mis en évidence des vertus thérapeutiques de la *SPIRULINE* : des activités sur le système immunitaire, des effets dans la lutte contre les allergies le cancer et le SIDA mais aussi contre le vieillissement cellulaire, des propriétés anti-inflammatoires et hépato-protectrices. Cette algue a été cultivée dans plusieurs pays pour l'objet de recherches biotechnologiques extensives par son importance écologique, nutritionnel et économique. L'introduction de cette algue en Algérie et particulièrement dans les zones arides est très prometteuse [2].

La *SPIRULINE* a été largement étudiée et son usage est maintenant répandu dans le monde entier comme un produit et un complément alimentaire, qui attire l'attention des chercheurs depuis de nombreuses années. De multiples études portent sur la recherche de nouveaux constituants naturels tels que les composés phénoliques et les huiles essentielles qui ont des intérêts dans l'industrie agroalimentaire (colorants, additifs, agents de conservation, arôme), pharmaceutique, et malheureusement l'exploitation et la valorisation de ces ressources naturelles restent très limités et très artisanales [2-3].

Le premier mini-colloque en Algérie sur la *SPIRULINE* à été à Tamanrasset entre le 18 et 25 Avril 2004, des chercheurs et des scientifiques ayant une expérience de culture et des utilisations de *SPIRULINE* sont venus de France sur l'invitation de monsieur Abdelkader HIRI [35]. La principale 'matière première' de la *SPIRULINE* est la lumière solaire, et le natron c'est la base du milieu de culture puisque les régions à climat désertiques sont riches en natron, ce qui est le cas de Tamanrasset sont donc a priori bien placées pour cultiver la *SPIRULINE* [1].

L'objet de ce travail consiste à réaliser une étude descriptive avec un essai analytique sur une espèce particulière de *SPIRULINE*, présentée dans ce manuscrit en deux parties principales : une partie théorique descriptive (bibliographique) et une deuxième partie pratique analytique.

## **Introduction générale**

---

Nous visons par la première partie avec ces deux chapitres de présenter mieux les algues bleu-vert en générale et la *SPIRULINE* en particulier, avec une analyse des différentes informations présentent dans la bibliographie sur les activités et les intérêts thérapeutiques de ce micro-organisme. Dans le deuxième partie la partie pratique nous avons essayé d'analyser une espèce particulière de *SPIRULINE* et de tester quelques intérêts et activités thérapeutiques, nous avons suivi une méthodologie d'une étude expérimentale qui nous donne des résultats qui sont en mesure être discutés comparativement avec la littérature.

---

## Partie I : Bibliographie

---

---

Chapitre I :  
Généralités et présentation de la *Spiruline*

---



### I. 1. Introduction

Les algues généralement et la *SPIRULINE* particulièrement sont considérées comme des meilleures sources alimentaires. Puisqu'elles sont riches en éléments essentiels pour la santé humaine comme les vitamines, protéines, lipides, acides gras et les éléments minéraux et d'oligo-éléments [6].

La culture de la *SPIRULINE* est considérée comme un jalon majeur pour le développement économique, elle est utilisée au niveau mondial pour leur grande valeur nutritive [7].

Ce chapitre introduit tout d'abord des généralités sur les algues puis une présentation sur l'algue *SPIRULINE* (sa classification, sa morphologie, ses conditions de croissances et ses utilisations ... etc.).

### I. 2. Généralités sur les algues

#### I. 2. 1. Définition des algues

Les algues sont des organismes chlorophylliens se développant soit dans l'eau ou dans des milieux humides. La lumière, l'air et les sels dissous, plus encore l'eau sont nécessaires pour le développement des algues [8].

Les algues sont divisées en deux catégories en fonction de leur taille, les microalgues qui ont une taille en micromètres, et les macro-algues visibles à l'œil nu [8].

#### I. 2. 2. Classifications des algues

On peut classer les algues comme suite [9] :

- **Les chlorophytes** : sont des algues vertes marines, de profondeur jusqu'à 10 mètres, elles stockent de l'amidon dans leurs plastes.
- **Les bacillariophytes ou diatomées** : sont des algues de couleurs jaune, verte et brune, leur paroi constitue principalement de silice.
- **Les pyrrophytes** : sont des algues de couleur brune, leurs parois sont formées par des plaques de cellulose.
- **Les chrysophytes** : appelés aussi les algues dorées de couleur jaune à brune, et leurs parois sont composées de pectines imprégnées.

- **Les rhodophytes** : ces sont les algues rouges qui vivent dans l'eau salée chaude, et peuvent développer à profondeur 200 mètres.
- **Les euglénophytes** : ces algues vivent dans les eaux stagnantes, leurs parois sont constituées de plaques protéiques.
- **Les phéophytes** : sont des algues brunes vivent dans les eaux salées froides de 20 mètres de profondeur, leurs parois sont composées de cellulose.

### I. 2. 3. Utilisations des algues

Les algues ont été et sont encore utilisées dans les domaines suivants [10] :

- ❖ Agro-alimentaires : alginates et gélose sont utilisées comme agents épaississants, stabilisants, émulsifiants, excipients.
- ❖ Dentisterie : les pâtes pour les empreintes dentaires.
- ❖ Agriculture : utilisée comme amendement ou engrais.
- ❖ Pharmacie : on utilise leur propriétés anticoagulantes, laxatives, vermifuges.
- ❖ Industrie chimique : les frustules siliceux sont utilisées comme un isolant phonique ou thermique.
- ❖ Médecine : on utilise les stipes laminaires en gynécologie et chirurgie pour dilater une voie naturelle ou débrider une plaie.

### I. 2. 4. Les systèmes de culture

La culture de *Spiruline* nécessite des sels inorganiques au milieu de culture et une énergie lumineuse, on distingue deux systèmes sont [5] :

- a) Les systèmes ouverts : ils sont des systèmes non contrôlés et ont des couts de construction très faible, ils nécessitent un moins d'entretien et avoir des besoins énergétiques inférieures, mais la productivité de biomasse est très faible (figure I. 1).



***Figure I. 1 : exemple d'un système ouvert de culture d'algue [5].***

- b) Les systèmes fermés : les systèmes fermés sont plus chers que l'ouverts en termes de construction, les exigences énergétiques et l'entretien, mais ils permettent le contrôle des paramètres comme le pH, l'injection de CO<sub>2</sub> et la température. Donc on obtient une biomasse d'une qualité supérieure (figure I. 2).



***Figure I. 2 : exemple d'un système fermé (bioréacteur) de culture d'algue [5].***

## **I. 3. Présentation de la *SPIRULINE***

### **I. 3. 1. Définition**

La *SPIRULINE* est une algue unie ou multicellulaire appartenant au groupe de cyanobactéries (utiliser l'énergie de la lumière pour la photosynthèse), elle vit en eau salée, alcaline et chaude de température environ 30°C à 40°C. Son nom dérive de la configuration physique hélicoïdale et spirulée de ses filaments. Ces derniers prennent la forme hélicoïde quand l'environnement est favorable [11].

La *SPIRULINE* possède une morphologie proche celle des algues, et sa teneur en pigments vert et bleu fait les classer parmi les algues bleu-vert [12].

En effet, elle est longtemps restée classée parmi « les algues bleu-vert », ce pour plusieurs raisons [14] :

- La présence d'un système photosynthèse producteur d'oxygène.
- Son morphologie proche de celle des algues.
- Son habitat aquatique.
- Son aptitude à développer des biomasses importantes.
- Sa couleur liée à sa teneur en pigments bleu (phycocyanine) et vert (chlorophylle).

### I. 3. 2. Classification taxonomique

La classification de *SPIRULINE* est décrite comme suit [11] :

**Tableau I.1** : position systématique du genre *Spiruline*

<b>Règne</b>	<i>Monera</i>
<b>Sous règne</b>	<i>Procaryota</i>
<b>Phylum</b>	<i>Cyanophyta</i>
<b>Classe</b>	<i>Cyanophyceae</i>
<b>Ordre</b>	<i>Nastocales</i>
<b>Famille</b>	<i>Oscillatoriacées</i>
<b>Genre</b>	<i>Arthrospira stizenberger</i> ou <i>Spirulina Turpin</i>

### I. 3. 3. Historique de la *SPIRULINE*

La *SPIRULINE* est utilisée pour la première fois par les peuples dans l'antiquité, puis par les Aztèques (peuple de Mexique) et les populations du Tchad, elle était utilisée comme farine pour les gâteaux et tortillas [11].

Au XV<sup>e</sup> siècle les soldats de l'empereur parcouraient certains kilomètres en mangeant à chaque pause la *SPIRULINE*, afin d'apporter du poisson à l'empereur. Les aztèques récoltaient dans le lac de Texcoco une boue bleue verte qu'ils faisaient sécher au soleil. Cette boue

était utilisée comme un complément de farine qu'ils mangeaient comme du fromage ou pour le pain.

Au XVI<sup>e</sup> siècle, les lacs asséchèrent par les conquistadors pour faire des terres des pâturages et terres cultivables, conséquence de la disparition des algues bleues [11].

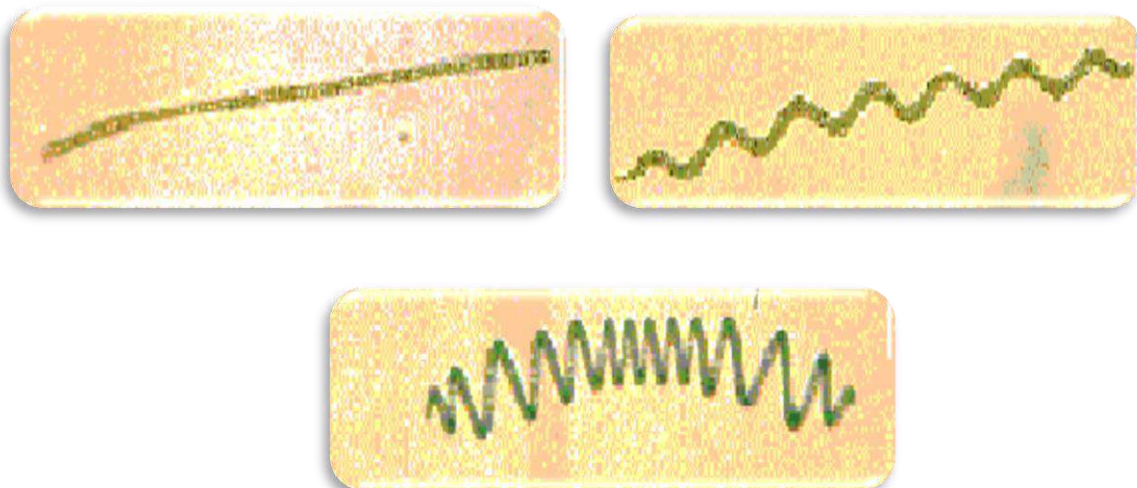
En 1827 c'est la redécouverte de la *SPIRULINE* par Turpin qui l'isola à partir un échantillon de l'eau douce, puis 1844 les deux chercheurs Nordstedt et Wittrock sont signalés la présence d'une microalgue bleu-vert, ne fut vraiment redécouverte qu'en 1940 au Tchad par un botaniste français du nom de Dihé [11].

### I. 3. 4. Morphologie de la *SPIRULINE*

La *SPIRULINE* est composée de filaments mobiles enroulés en spirales et non ramifiés, de diamètre 10 à 12  $\mu\text{m}$  et de longueur 250  $\mu\text{m}$  lorsqu'elle possède 7 spirales [12].

On distingue trois morphologies sont :

- ❖ Les droites : désigne les souches dont les filaments sont étirés.
- ❖ Les spiralées : désigne les souches dont les filaments de la forme d'une queue de cochon.
- ❖ Les ondulées : désigne les souches dont les filaments en spirale étirée.



**Figure I. 3** : morphologies typiques de la *SPIRULINE* [12].

### I. 3. 5. Les compositions chimiques de la *SPIRULINE*

La *SPIRULINE* contient les éléments suivants [13] :

- **Des enzymes** : possèdent une action anti-inflammatoire, protègent des bactéries et des virus, facilitant la digestion et régulant les fonctions hépatiques.
- **Des vitamines** : la *SPIRULINE* contient les vitamines A, E (biotine), B1, B3, B5, B6, B8, B9 (acide folique), et aussi la vitamine B12.
- **Des acides aminés** : elle contient environ 20 acides aminés, parmi ces acides aminés en trouvant : l'acide aspartique, la proline, la théanine, l'isoleucine, la leucine, la sérine, la lysine, l'arginine et l'acide glutamique.
- **Des pigments** : elle contient des caroténoïdes et de la chlorophylle, du superoxyde et de puissants antioxydants.
- **De l'acide siliciure** : elle possède une action antibactérienne.
- **De l'antraquinone** : c'est le seul pigment naturel de couleur bleu qui peut servir comme un colorant alimentaire. L'antraquinone : (appartient à la famille chimique des hydrocarbures aromatiques polycyclique), la spiruline possède une importance antibactérienne et une action antivirale.
- **Du saccharide**
- **De la saponine**
- **De la cellulose**

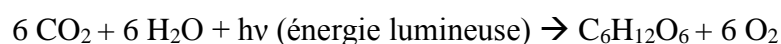
### I. 3. 6. Les conditions physiques et chimiques de croissance

La *SPIRULINE* a besoin des sels, et d'éléments minéraux simples tels l'eau, le dioxyde de carbone, l'oxygène et aussi la lumière solaire comme source d'énergie.

Elle croît dans les milieux naturels des eaux chaudes de température de 28 à 40 °C, saumâtres, alcalines de pH de 8 à 11,5 [15].

Le vent joue un rôle important en créant une agitation qui favorise une dispersion homogène.

La formule générale de la photosynthèse est [14] :



Bien que la *SPIRULINE* ne renferme que de la chlorophylle de type a, il en existe d'autres sortes, en particulier chez d'autres types d'algues : chlorophylles b, c et d [15].

### I. 3. 7. La reproduction de la *SPIRULINE*

Son mode de reproduction est la bipartition par scission simple. C'est une reproduction asexuée, par segmentation des filaments ; ce processus ne doit pas être confondu avec la mitose, laquelle n'existe que chez les eucaryotes.

Sa vitesse de multiplication est particulièrement rapide dès que la température dépasse 30 °C à l'ombre ; lorsque ces conditions sont réunies et que le milieu est favorable, le temps de génération est très court (7heures) [15].

### I. 3. 8. La production de la *SPIRULINE*

En dehors de la 'cueillette' de la *SPIRULINE* issus des lacs où elle pousse naturellement, la *SPIRULINE* doit être produite si on veut couvrir la demande. Or, le seul moyen de la produire en grande quantité est la culture en bassin.

En fonction de la surface totale d'exploitation des bassins et des moyens technologiques utilisées, on distingue la culture familiale, la culture industrielle et la culture artisanale et la production en containers [16].

### I. 3. 9. Le déplacement de la *SPIRULINE*

La *SPIRULINE* est capable d'effectuer deux types de déplacement : la motilité et la flottabilité. Elle évolue dans l'eau en se vissant : ce déplacement s'effectue à la vitesse de 5 µm par seconde.

La *SPIRULINE* peut également fabriquer des vésicules de gaz environ 70 nm de long 10 nm de diamètre, elle se forme et se remplissent de gaz lorsque la lumière de soleil apparaît.

Au cours de la conférence alimentaire mondiale en 1974, la *SPIRULINE* a été déclarée la meilleure source alimentaire du futur » par l'Organisation des Nations Unies (ONU) [6].

## I. 4. Conclusion

Dans cette partie ont conclu que :

- Les algues sont des micro-organismes qui se développent dans des milieux humides.
- Les algues sont divisées en deux catégories selon leur taille, des macro-algues et des micro-algues
- La *SPIRULINE* est une algue unie ou multicellulaire riche en nutriments essentiels.
- Pour la croissance, la *SPIRULINE* a besoin de : l'eau, CO<sub>2</sub> et la lumière, elle croît à une température de 28 à 40°C dans l'eau salée et alcaline.
- Les systèmes ouverts de culture permettent d'obtenir un faible coût de construction et une faible productivité de la biomasse. Par contre les systèmes fermés sont chers mais ils sont donnés une productivité élevée.
- La température de la reproduction de *SPIRULINE* est 30 °C à l'ombre et le temps de génération maximum 7 heures.



---

Chapitre II :  
Les Caractéristiques thérapeutiques de la *Spiruline*

---

## **II. 1 Introduction**

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

Dans ce chapitre, nous essaierons de surligner quelques études antérieures et quelques références bibliographiques qui ont mis en évidence la *SPIRULINE* comme un cas d'étude pour des raisons nutritionnelles et thérapeutiques, dont le but est de compléter nos informations sur cette espèce et aussi pour nous aider à orienter notre étude pratique.

## **II. 2. Les caractéristiques nutritionnelles et thérapeutiques des constituants de *SPIRULINE***

En général la *SPIRULINE* est composée de 55 à 70% de protéines, 15 à 25% de glucides, 4 à 7% de lipides, 7 à 13% de minéraux et de 3 à 6% d'eau. Cette composition est très complète et variée : avec un excellent apport en protéines, une bonne répartition des lipides, des glucides, des vitamines, des minéraux et des oligo-éléments [2].

### **II. 2. 1. Protéines**

La *SPIRULINE* en tant qu'espèce représentative des cyanobactéries a été reconnue et utilisée dans le monde entier comme la source majeure des protéines [17].

Les protéines sont les molécules organiques les plus abondantes dans le corps humain, ils sont sous forme d'enzymes, d'hormones, d'anticorps, réparant les tissus, et essentiels à l'équilibre acido-basique. Vingt acides aminés sont à la base des protéines, le corps étant capable d'en fabriquer douze, les huit autres étant considérés comme essentiels et doivent être apportés par l'alimentation. La *SPIRULINE* contient ces huit acides aminés essentiels en proportions intéressantes et directement assimilables. La teneur en protéines de la *SPIRULINE* est élevée avec des variations de 10 à 15% selon le moment de la récolte. Plus la luminosité est élevée, plus le pourcentage en protéines est élevé. Elle représente 10 à 11% de la masse humide, soit 60 à 70% de sa matière sèche. Ce pourcentage est bien plus élevé que celui du poisson (25%), de la viande (20%) du soja (35%), de la poudre de lait (35%) et des céréales (14%) [2].

La *SPIRULINE* ne possède pas de paroi cellulosique mais une enveloppe relativement fragile, constituée de polysaccharides. Cette faible teneur en cellulose explique sa digestibilité de l'ordre de 75 à 83% [18]. De ce fait, la *SPIRULINE* ne nécessite pas de cuisson ni même l'administration d'un traitement spécial pour une bonne digestibilité protéique. Au bout de 18 h, 85% des protéines sont digérées et assimilées. La NPU (l'Utilisation Protéique Nette) de la *SPIRULINE* est de 83% à 90% et

est d'autant plus intéressante lorsqu'elle est comparée à celle des lentilles (30%), de la viande de bœuf (15%) ou du lait de vache (12%) [19].

### **II. 2. 2. Lipides**

LA *SPIRULINE* n'est pas un aliment gras, les lipides ne représentent, généralement, que 6 à 8% de son poids sec, mais ce pourcentage peut atteindre 11% à 14% maximum selon les modes d'extraction ou la souche de *SPIRULINE* utilisée. Le contenu en acide gras de la *SPIRULINE* peut être aussi modifié suivant les conditions de culture [20].

Les lipides peuvent être séparés en une fraction saponifiable (83%) et une fraction insaponifiable (17%) contenant essentiellement une paraffine, des pigments, des stérols et des alcools terpéniques.

#### II.2.2.1. Les acides gras

En règle générale, après hydrolyse, la *Spiruline* renferme principalement des acides gras poly insaturés essentiels à 18 atomes de carbones, notamment de la série oméga-6 ( $\omega 6$ ). C'est en effet une des meilleures sources d'acide gamma-linoléique (18:3 $\omega 6$ ) après le lait humain et certaines huiles végétales onéreuses [21]. D'autres acides gras essentiels comme l'acide linoléique (18 :2 $\omega 6$ ) sont retrouvés dans la *SPIRULINE* ainsi qu'un fort pourcentage d'acide palmitique (acide gras saturé) permettant de préférer certaines souches à d'autres [22].

Les acides gras omega-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 & Prema kumari (1996) et Samuels et al. (2002) [2].

#### II.2.2.2. La fraction insaponifiable

La fraction insaponifiable 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*. Certains des stérols présents pourraient partiellement expliquer l'activité antimicrobienne de la *SPIRULINE*, tandis que les hydrocarbures saturés à longues chaînes (paraffine) qui constituent 25% des lipides insaponifiables de la *SPIRULINE* peuvent être lui donne un caractère toxique.

### **II. 2. 3. Glucides**

Les glucides constituent 15 à 25% de la matière sèche des *SPIRULINES*. Ces hydrates de carbone composent notamment sa membrane cellulaire. Les parois cellulaires des *Spirulines* s'apparentent à celles des bactéries Gram-positives puisqu'elles sont formées de glucosamines et

d'acide muramique associés à des peptides [23]. Bien que non digestibles, ces parois sont relativement fragiles et rendent le contenu cellulaire très accessible aux enzymes de digestion : c'est là un avantage important par rapport aux organismes pourvus de parois celluloses (levures, chlorelles...).

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.

D'autre part, 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 rhamnose constituent respectivement 1,9% et 9,7% du poids sec de la *SPIRULINE*. La glucosamine représente une part non négligeable des polysaccharides [24].

### **II. 2. 4. Vitamines**

Bien que n'ayant pas de valeur énergétique, les vitamines sont essentielles à l'organisme. Elles interviennent dans de nombreuses fonctions biologiques : croissance et développement du squelette, transformation et utilisation des macronutriments, vision, coagulation du sang, systèmes musculaires, nerveux, immunitaires.... Le corps humain étant incapable de les fabriquer (hormis la vitamine K et la D), leur apport par une alimentation équilibrée et diversifiée est primordial pour un bon fonctionnement de l'organisme et pour la prévention de nombreuses pathologies.

La *SPIRULINE* est une algue vitaminée, elle est la deuxième source de vitamine B1 derrière la levure de bière. Elle contient aussi une concentration relativement élevée de provitamine A, vitamine B 12 et  $\beta$ -carotène [14].

Le  $\beta$ -carotène représente 40 à 80% des caroténoïdes présents dans la *SPIRULINE*, la conversion du b-carotène en vitamine A se fait chez l'humain dans une proportion d'environ 17 à 20% seulement, proportion qui peut aussi varier selon la dose de b-carotène absorbée et, sans doute, selon l'état physiologique de la personne. Quelques grammes de *Spiruline* suffisent donc à couvrir entièrement les besoins en vitamine A d'un adulte [25].

Par ailleurs, il existe une controverse quant à la quantité de vitamine B12 sous forme active présente dans la *SPIRULINE*. D'une part, la vitamine B12 de la *Spiruline* serait constituée de deux analogues dont le majoritaire est une forme inactive : le pseudo vitamine B12 qui ne se fixe pas sur le facteur intrinsèque et est donc inactive. Une étude portant sur la supplémentation en *SPIRULINE* chez des enfants déficitaires en vit B12 n'a pas permis une amélioration de l'anémie macrocytaire [26]. De plus, l'American Dietetic Association (Association des Diététiciens du Canada), l'académie

Américaine de nutrition et de diététique et plus récemment l'ANSES dans un communiqué récent paru le 30/11/17, affirment que la *SPIRULINE* ne peut être considérée comme une source fiable de vitamine B12 active, ni les végétaliennes, puisqu'elle est majoritairement présente sous une forme inactive [27].

Seule la vitamine C n'est pas présente dans la *SPIRULINE* (suivant les études elle peut être présente en quantité négligeable).

Le tableau suivant (tableau II.1) présente les teneurs en vitamines de la matière sèche de la *SPIRULINE* :

**Tableau II.1** : Teneurs en vitamine (mg/kg) de matière sèche de la *SPIRULINE*.

Vitamines	Teneur (mg/kg de matière sèche)	Besoin /jour (mg pour un adulte)
<b>β carotène (pro-A)</b>	1700	/
<b>Thiamine (B1)</b>	55	1.5
<b>Riboflavine (B2)</b>	40	1.8
<b>Pyridoxine (B6)</b>	3	2
<b>Cyanocobalamine (B12)</b>	0.4	0.003
<b>Acide ascorbique (C)</b>	90	15-30
<b>Tocophérol (E)</b>	190	/
<b>Acide nicotinique (PP)</b>	118	/
<b>Acide folique</b>	0.5	0.4
<b>Inositol</b>	350	/
<b>δ-Ca-Panthoténate</b>	11	6-10
<b>Biotine (H)</b>	0.4	0.1-0.3

La biodisponibilité des caroténoïdes de la *SPIRULINE* a été démontrée aussi bien chez l'homme. Des études cliniques ont également prouvé l'excellente utilisation des caroténoïdes de la *Spiruline* chez l'humain. De plus, une étude portant sur 5000 enfants indiens d'âge préscolaire a montré la surprenante efficacité d'une dose quotidienne unique d'un gramme de *SPIRULINE* sur la déficience chronique en vitamine A. Après 5 mois, la proportion d'enfants gravement déficients en vitamine A, c'est-à-dire présentant le symptôme de la "tache de Bitot" sur la conjonctive de l'œil, est passée de 80% à 10%. Cette étude semble bien démontrer que de très faibles doses de *SPIRULINE* suffisent déjà à réduire considérablement les risques de cécité et d'atteintes neurologiques consécutives à la déficience en vitamine A chez l'enfant [25].

### II. 2. 5. Minéraux et oligoéléments

Si les teneurs en éléments organiques des *SPIRULINES* sont bien connues les données sur les éléments minéraux sont limitées. Les *SPIRULINES* sont connues pour concentrer les éléments capables de former des cations. Elles concentrent donc aussi bien les oligoéléments essentiels nécessaires pour le corps humain que les éléments toxiques. Les minéraux et les oligoéléments présents dans la spiruline sont regroupés dans le tableau ci-dessous (tableau II. 2) [28] :

**Tableau II. 2 :** Teneur moyenne et principales fonctions des minéraux et des oligoéléments de la *Spiruline*.

Minéraux et oligoéléments	Teneur moyen dans 10 g de <i>spiruline</i>	Principales fonctions
<b>Calcium</b>	130 (10% des AJR)	-Edification et renouvellement du squelette. -Rythme cardiaque, système nerveux.
<b>Phosphate</b>	67 mg (8% des AJR)	-Masse minérale du squelette osseux. -Réactions biochimique de l'organisme.
<b>Fer</b>	7-18 mg (50 à 100 % des AJR)	-Fabrication et fonctionnement de l'hémoglobine. -Constitution de myoglobine.
<b>Zinc</b>	0.4 mg (4% des AJR)	-Activation de plus de 200 enzymes.
<b>Magnésium</b>	25-50 mg (9-25 % des AJR)	-Masse minérale du squelette osseux. -Métabolisme glucidique et lipidique (muscle, cœur axe nerveux).
<b>Potassium</b>	100-200 mg (5-10% des AJR)	-Perméabilité des membranes. -Régulation du rythme cardiaque.
<b>Sodium</b>	0.09 mg	-Régulation pression osmotique. -Maintien de l'équilibre hydro-électrolytique et de la masse hydrique.
<b>Sélénium</b>	0.1-2.55 mg (20-100% des AJR)	-Cofacteur des enzymes anti oxydantes. -Stimulant de l'immunité.
<b>Cuivre</b>	0.1 mg (5% des AJR)	-Cofacteur de nombreuses enzymes. -Anti inflammatoire, antioxydant.
<b>Manganèse</b>	0.4 mg (12% des AJR)	-Formation des os et des enzymes. -Métabolisme protéines, lipides, glucides. -Stabilise taux de glucose sanguin.
<b>Chrome</b>	0.03-0.25 mg (16% des AJR)	-Métabolisme glucides, lipides, acides nucléique, cholestérol.

Les minéraux spécialement intéressants chez la *SPIRULINE* sont le fer, le zinc, le magnésium, le calcium, le phosphore et le potassium.

La biodisponibilité élevée du fer a été démontrée chez l'homme. Quelques récentes travaux démontrent que le fer de la *SPIRULINE* est mieux absorbé que celui de la viande, ce qui est exceptionnel pour un fer non-héminique. Selon les mêmes travaux, le taux de formation de ferritine après digestion de spiruline serait plus de six fois plus élevé que dans le cas d'une même quantité de fer apporté par digestion de viande. Alors que l'apport intentionnel de zinc de la *SPIRULINE* cultivée n'en contient généralement que des traces (21-40 µg/g), alors qu'on peut en trouver dans certaines

*SPIRULINES* naturelles près de 400 µg/g Ces valeurs sont insuffisantes pour que ces *SPIRULINES* puissent être considérées comme de bonne source de zinc. D'autre part, La *SPIRULINE* peut être considérée comme une excellente source alimentaire de magnésium : elle en est naturellement riche, entre autres par sa teneur en chlorophylle, et ce magnésium a été démontré biodisponible pour l'homme.

### **II. 3. Les activités biologiques**

#### **II. 3. 1. Activité antibactérienne**

Les bactéries sont des êtres unicellulaires qui possèdent les éléments essentiels à la vie cellulaire [21]. Quand elle pénètre et/ou la multiple dans un organisme hôte, elle entraîne une diminution des défenses du sujet et accroissement de la virulence des germes et donc provoque qu'est-ce qu'on appelle l'infection bactérienne [2].

L'activité antibactérienne est le processus d'inhibition de la croissance des micro-organismes, notamment les bactéries et la prévention contre l'infection bactérienne [29]. Ce processus également utilise des agents dits « agents antimicrobiens » qui sont des substances d'origine naturelle ou synthétique. Généralement, on parle d'un effet bactériostatique lorsque la substance antibactérienne empêche la multiplication des bactéries et d'un effet bactéricide lorsqu'elle détruit totalement la bactérie.

Dans la bibliographie, l'activité antibactérienne de la *SPIRULINE* n'est pas largement étudiée et les informations sur l'effet de la *SPIRULINE* sur les bactéries sont controversés, de l'inhibition de la croissance des bactéries vers la stimulation de la croissance, parmi les études qui montre l'effet antibactérienne de la *SPIRULINE* l'étude de Boutalbi S. 2014, qu'elle a montré une activité antibactérienne tout dépend le type d'extrait de la *SPIRULINE* [31].

D'autre part, l'étude de Amel DOUMANDJI et Dahmane ALILI 2012, qui a déclaré que : la *SPIRULINE* est une algue utilisée comme facteur de stimulation de la croissance des bactéries lactiques en vue d'une amélioration de la qualité du produit [32].

#### **II. 3. 2. L'activité antifongique**

Les champignons ou mycètes, sont des végétaux eucaryotes dits thallophytes. Les cellules sont groupées en un ensemble plus ou moins structuré appelé thalle porteur d'organes reproducteurs qui permettent de distinguer les champignons filamenteux des levures. Ils sont non chlorophylliens et peuvent de multiplier par reproduction sexuée ou asexuée. On peut les cultiver l'abri de la lumière mais il faudra leur fournir une source de carbone.



L'activité antifongique se fait par des agents antifongiques. Ce sont des médicaments capables de traiter les mycoses, c'est-à-dire les infections provoquées par des champignons microscopiques [33].

L'activité antifongique de la *SPIRULINE* a été démontré par l'étude de Boutalbi S. 2014, qu'elle a trouvé que la *Spiruline* possède une bonne activité antifongique, le diamètre de croissance mycélienne est inversement proportionnel aux extraits de *SPIRULINE* dans le milieu de culture [31].

### II. 3. 3. Autres activités

On plus des deux activités précédentes, les *SPIRULINES* sont d'autres activités thérapeutiques mieux confirmés et plus remarqués, on parle de l'activité [34] :

- **Anti-oxydante** : elle diminue le stress oxydant.
- **Anti-inflammatoire** : l'activité anti-inflammatoire est constatée lors d'une administration per os avant l'induction de la réaction inflammatoire.
- **Anticancéreuse** : le calcium-*Spirulan* agit par prévention de l'adhésion et de la migration des cellules tumorales vers la lame basale.
- **Antivirale** : la *SPIRULINE* bloque l'adsorption et la pénétration virale dans la membrane cellulaire.
- **Effets contre l'hyperlipidémie** : la consommation régulière de *SPIRULINE* diminue le taux de cholestérol.
- **Effets contre le diabète** : la fraction soluble dans l'eau de la *SPIRULINE* a la propriété de diminuer le taux de glucose dans le sérum.
- **Activité Immun modulateur** : différentes études ont démontré que la *SPIRULINE* était incontestablement un puissant tonifiant du système immunitaire.
- **Effet Hépatoprotective** : Les actions de la *SPIRULINE* ou de ses composants sont donc plus préventives que curatives.

### II. 4. Conclusion

- ❖ L'importance de la *SPIRULINE* a été développée et utilisé comme nutrition par l'être humain grâce à leur valeur biologique.
- ❖ Chez les pays développés la *SPIRULINE* est considérée comme une source majeure de protéines et vitamines, qui sont suffisant contre les différentes déficiences.
- ❖ La *SPIRULINE*, compte tenu de ses activités nutritionnelles et fonctionnelles, peut être considérée comme un aliment fonctionnel, les intérêts médicales et thérapeutiques de la *SPIRULINE* a été prouvé par plusieurs travaux et études autour le monde.

---

## Partie II : analyse pratique

---

---

Chapitre III :  
Expérimentation, résultats et interprétation

---

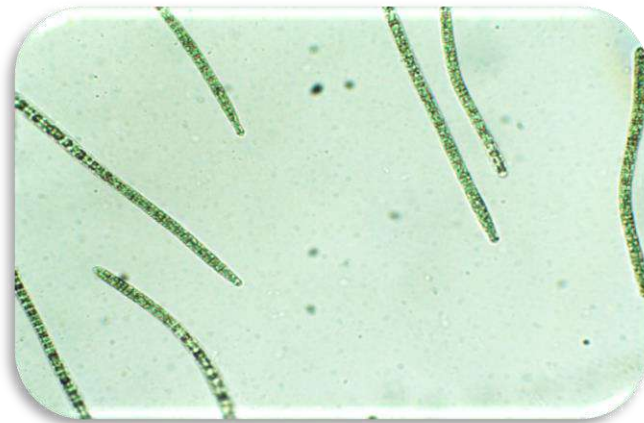
### III. 1. Introduction

Dans le présent chapitre, on décrira la partie expérimentale les points suivants y seront développés :

- Extraction des lipides de *SPIRULINE*.
- Tests biologiques sur les souches bactériennes et fongiques.

### III. 2. Modèle d'étude « *SPIRULINE BEHATAM* »

La *SPIRULINE BEHATAM* est découverte en 1980 par le Dr. Etienne BOILEAU qu'était venu pour faire un circuit touristique avec sa femme dans le Hoggar. Lors l'excursion dans les montagnes d'Atakor dans une guelta, il est aperçu une présence d'algue. Il est pensé à *SPIRULINE*, puis il envoie un échantillon à Dr. Ripley D.FOX qui l'identifie entant que *SPIRULINE* [35].



***Figure III. 1 : SPIRULINE vue au microscope.***

### III. 3. Situation géographique de récolte « *SPIRULINE BEHATAM* »

La wilaya de Tamanrasset est une wilaya algérienne située au centre de Sahara, dans l'extrême sud algérien et dans la chaîne montagneuse du Hoggar à 1400 m d'altitude. Elle est la plus grande wilaya de l'Algérie en termes superficie.

Elle est délimitée :

- Au nord, par les wilayas de Ghardaïa et Ouargla.
- A l'est, par la wilaya d'Illizi.
- A l'ouest, par la wilaya d'Adrar.
- Au sud, par Niger et Mali.



**Figure III. 2** : Carte géographique de la région de Tamanrasset [36].

### **III. 4. Procédé d'extraction des lipides de *SPIRULINE***

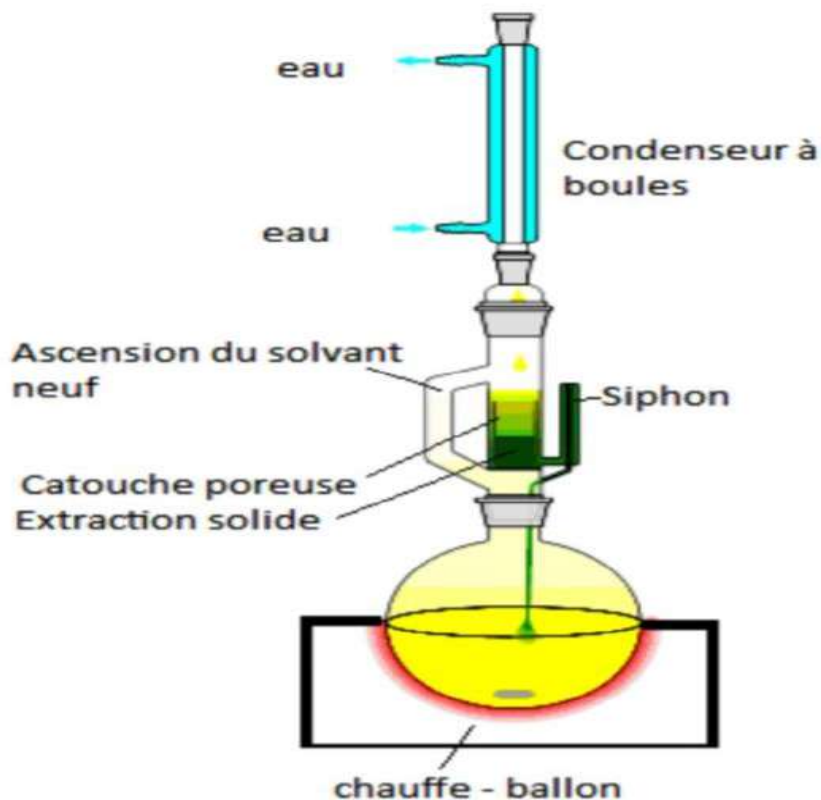
Cette extraction a été réalisée au laboratoire de génie des procédés au centre de la recherche scientifique de l'université KASDI MERBAH OUARGLA.

#### **III. 4. 1. Extraction au Soxhlet par n-hexane**

##### **a) Le principe d'extraction au Soxhlet**

L'extraction au Soxhlet est une technique couramment pratiquée, elle permet de réaliser des extractions continues solide-liquide à l'aide de cycles vaporisation-condensation du solvant, l'avantage de cette méthode est d'être simple utilisation [37].

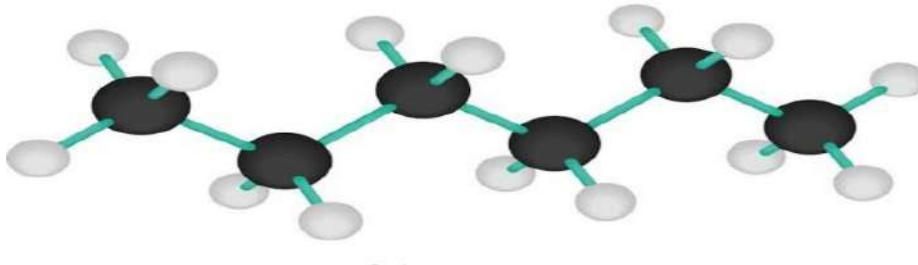
L'extracteur Soxhlet permet le traitement de solides avec des solvants en phase liquide. Le corps de l'extracteur contenant un support de cartouche qui remplit de solide et attaché sur un réservoir de solvant et surmonté d'un réfrigérant [5].



*Figure III. 3 : Montage d'un appareil de Soxhlet.*

#### **b) Les caractéristiques de solvant utilisé**

L'hexane commercial provient de la distillation du pétrole ou du gaz naturel. Il correspond à un mélange d'hydrocarbures saturés en  $C_6$  dont le n-hexane présent à des concentrations variables. L'hexane est un liquide incolore, volatil et d'odeur caractéristique. Sa température d'ébullition est  $68.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , et de fusion est  $-95.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  [38].



*Figure III. 4 : présentation perspective de n-hexane.*

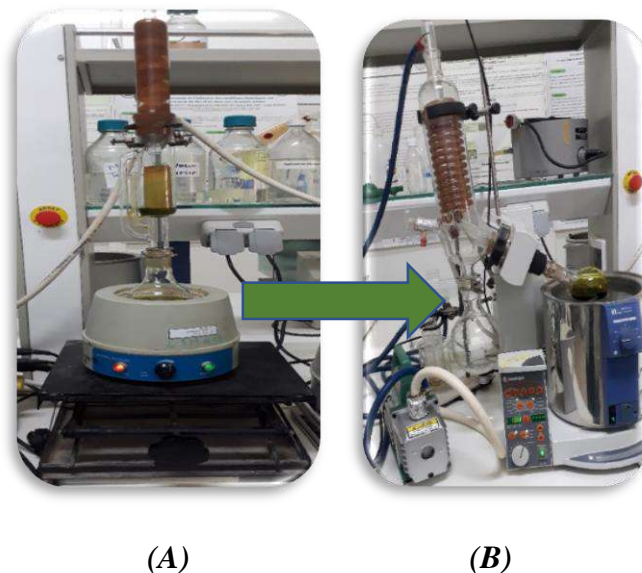
Les principales caractéristiques de n-hexane sont citées en Annexe (tableau 01).

### c) Mode d'opérateur

Tout d'abord en nettoyant tous les équipements par l'acétone, on réalise le montage d'extraction de Soxhlet, on remplit le cartouche par une quantité de poudre d'algue *SPIRULINE* puis on met le cartouche dans le support de l'appareil.

Ensuite, on remplit le ballon par le solvant n-hexane jusqu'à 250 ml et on le place dans le support et on allume le chauffage, le vapeur montant refroidie et liquéfiée au niveau de condenseur puis tomber sur la cartouche, on laisse cette opération réalise plusieurs cycles (12 cycles à peu près).

Après l'opération de l'extraction on passe à l'étape de l'évaporation par l'appareil rota vapeur pour obtenir l'huile extraite et récupérer le solvant. Les images ci-dessus présentent les deux étapes d'extraction et d'évaporation (figure III. 5).



**Figure III.5 :** les étapes (A) d'extraction et (B) d'évaporation.

### III. 4. 2. Résultats d'extraction

L'extraction d'un métabolite lipidique qui est considéré parmi les métabolites les plus abondant dans notre cyanobactérie nous a permis de calculer le rendement de l'extrait n-hexane, dont le rendement est plus remarquable.

On peut déterminer le rendement d'huile extraite obtenue (figure III. 6) par rapport la quantité initiale d'algue *SPIRULINE* sèche. Selon la formule suivante :

$$\eta = \left( \frac{\text{la masse d'huile extraite}}{\text{la masse d'algue spiruline séché}} \right) \times 100$$

Avec :  $\eta$  : le rendement. m : la masse.

Pratiquement le rendement est :

- La masse d'algue *SPIRULINE* sèche est :  $m_a = 28.1194$  g
- La masse d'huile extraite est :  $m_h = 8.5474$  g

$$\eta = \left( \frac{8.5474}{28.1194} \right) \times 100$$

$$\eta = 30.39 \%$$

Enfin, afin d'évaluer l'avancement de l'extraction des lipides, le rendement lipidique a été suivi toute la durée d'extraction on acquit un bon résultat. Il existe certains facteurs interviennent sur la vitesse d'extraction, la concentration de l'extrait et le rendement sont :

- La nature du solvant.
- Le temps d'extraction.



**Figure III. 6** : l'huile extraite obtenue

Notre résultat de rendement d'extraction lipidique diffère des résultats publiés dans la littérature, où la plupart des travaux montre un rendement d'extrait lipidique par le solvant n-hexane



qui ne dépasse dans les meilleures conditions le 13%, alors que les autres solvants tel que le méthane, le chloroforme et l'eau, montre un rendement plus élevés, dans le travail de Boutalbi 2014, elle a obtenu un rendement allant jusqu'à 24% d'extrait méthanolique, tandis que J. V. Ambrozova et al 2014 ont été obtenu 18.05%  $\pm$  1.15 d'extrait mélange de (méthane/chloroforme/eau) et 13.41%  $\pm$  0.79 d'extrait n-hexane [40]. Ces valeurs ont été obtenues à partir de l'extraction de la biomasse sèche de *Spirulina platensis* et sous des conditions optimales (system de culture autotrophique). Cependant, notre rendement de 30.39% donne à notre cyanobactérie *SPIRULINE BEHATAM* une caractéristique compétitive dans la culture de *SPIRULINE* et dans l'industrie alimentaire en générale.

### III. 5. Mesure le pH de l'extrait

Le pH permet de mesurer l'acidité d'une solution. Le pH lié à la concentration en ions oxonium  $H_3O^+$  dans la solution. Dans notre étude on mesure le pH d'extrait à la manière la plus simple par le papier pH.

#### III. 5. 1. Mode d'opérateur

On prélève un morceau de papier pH que l'on dépose sur la demi-feuille de papier. A l'aide d'une tige de verre, on prélève quelques gouttes d'extrait à tester en trempant la tige dans l'extrait et on le dépose sur le papier pH.

Celui-ci prend alors une couleur particulière que l'on compare avec les couleurs de témoins du boitier qui contenait le papier pH.

#### III. 5. 2. Résultat de mesure le pH

Après l'observation et la comparaison de morceau du papier pH on remarque que l'extrait un acide et la valeur approximative est environ de 5 (figure III. 7).



**Figure III. 7 :** le degré de pH de l'extrait obtenu.

## III. 6. Les activités biologiques

### III. 6. 1. L'activité antibactérienne

L'étude de cette activité été réalisée au niveau de laboratoire d'analyse médicale de médecin CHERBI à « BENI THOUR Ouargla ».

#### III. 6. 1. 1. Principe de la méthode d'évaluation antibactérienne

La méthode utilisée dans cette étude est la diffusion des disques sur milieu gélose, cette méthode permet d'observer rapidement l'effet d'une substance vis-à-vis du développement bactérien. Il s'agit d'une technique fiable, facile à mettre en œuvre et la lecture est rapide [11].

#### III. 6. 1. 2. Les souches bactériennes utilisées

Nous avons utilisé trois souches de références

- *Escherichia coli* ATCC
- *Staphylococcus aureus* ATCC
- *Salmonella Sp* ATCC

Ces souches ont été repiqué par réisolement de quelques colonies dans des nouveaux boîte de pétri à Gélose nutritif, puis les incubés de 18 à 24 heures.

#### III. 6. 1. 3. Protocole d'antibiogramme par diffusion des disques

##### **a) L'ensemencement**

On utilise le milieu Miller Hinton, il doit être coulé en boîtes Pétri sur une épaisseur de 4 mm et ils doivent être séchés avant l'emploi.

A partir des souches réisolées, on racle à l'aide d'une anse de platine ou pipette de pasteur quelques colonies bien isolées et identique. Bien décharger l'anse ou la pipette dans 5 à 10 ml d'eau physiologique stérile à 0.9%, et on homogénéise la suspension bactérienne (son opacité doit être équivalente à 0.5 UFS ou à une D.O de 0.08 à 0.10 lue à 625 nm).

On trompe un écouvillon stérile dans la suspension, on la froter sur la totalité de la surface gélosé de haut en bas en stries serrées, on répète l'opération plusieurs fois en tournant la boîte de 60° à chaque fois. En finir l'ensemencement en passant l'écouvillon sur le périphérique de la gélose.

##### **b) Application des disques et lecture**

Dans les conditions aseptiques et à l'aide d'une pince stérile, des disques stériles de papier wattman de 6 mm de diamètre sont déposés sur la surface de la gélose. Les disques sont chargés par 10 µl de l'extrait de *SPIRULINE*, ce dernier été préparé avec une solution à 1 mg/ml dans DMSO

2%. De même principe, en ajoute un disque d'antibiotique de contrôle tout dépend la souche bactérienne testé (figure III.8).

Les boîtes de pétri ensuite sont incubées à 37° pendant 18 à 24h

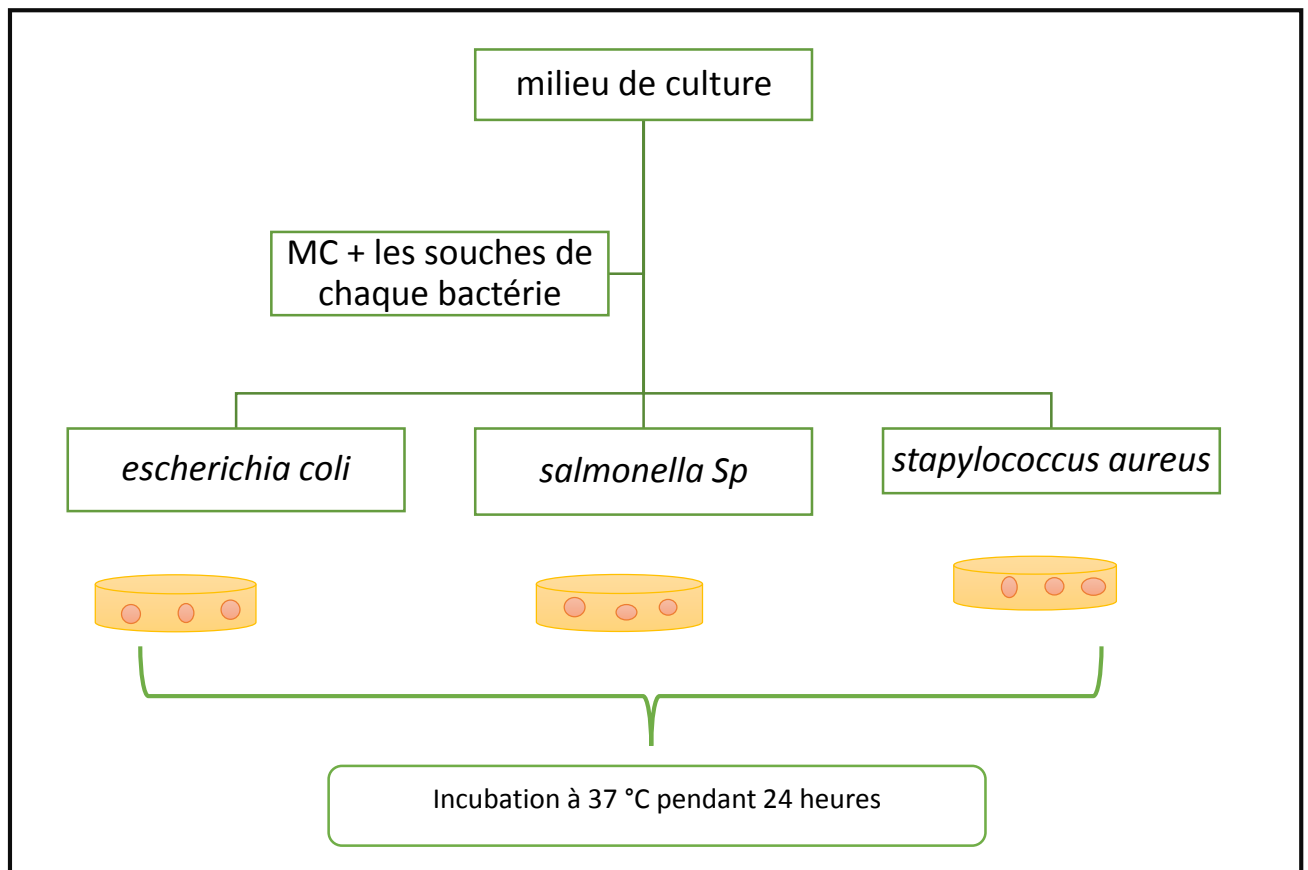
Après, on mesure avec précision les diamètres des zones d'inhibitions, et tout dépend les valeurs des références en évaluer l'effet de notre extrait :

- Soit une action bactéricide où nous ne remarquons aucune croissance microbienne autour les disques.
- Soit une action bactériostatique, dont il y'a des zones d'inhibition autour des disques disposés sur la surface de milieu de culture.



**Figure III. 8 :** *Ensemencement et application des disques chargés de l'extrait de la SPIRULINE.*

- La figure suivante est une illustration pour l'essai de l'activité antibactérienne.



**Figure III.9 :** protocole expérimentale de l'essai de l'activité antibactérienne.

### III. 6. 2. Résultats de l'activité antibactérienne

Les résultats de l'évaluation antimicrobienne de notre extrait lipidique sont repris ci-dessous (Figure III.10), l'action inhibitrice se traduit par l'apparition d'une zone d'inhibition autour du disque de papier imprégné de notre extrait brut. Le diamètre de la zone d'inhibition diffère d'une bactérie à une autre. Comme a été rapporté dans la littérature, nous avons considéré qu'un extrait possède une action bactériostatique ou bactéricide si son diamètre d'inhibition est supérieur à 8 mm [4], on observe que les diamètres des zones d'inhibition de la croissance bactérienne sont égales à zéro chez *Escherichia coli* et *Salmonella sp*, tandis que il y a un petit diamètre chez *Staphylococcus aureus* ( $6.0 \pm 1.5$  mm).



**Figure III.10** : l'effet antibactérienne du l'extrait lipidique de SPIRULINE

Les résultats montrent que notre extrait d'hexane n'a aucun effet antibactérien vis-à-vis *Escherichia coli* et *Salmonella sp.* Cependant, il a un petit effet contre *Staphylococcus aureus*. Cette résultat est compatible avec les résultats des autres travaux dans la littérature, tel que le travail de Boutalbi 2014, L. Trabelsi et al 2010 et G. Usharani et al 2015, ces travaux ont été montrés que l'extrait méthanolique de la SPIRULINE est l'extrait le plus efficace vis-à-vis les bactéries Gram positive tel que *Staphylococcus aureus* avec un diamètre moyen de la zone d'inhibition égale à  $(18 \pm 1.5\text{mm})$  et aussi vis-à-vis les bactéries Gram négative tel que *Escherichia coli* et *salmonella sp* avec un diamètre moyen égale à  $(18 \pm 0.5\text{mm})$  [41-42]. Tandis que, l'extrait d'hexane est l'extrait le moins efficace vis-à-vis les bactéries Gram positive avec un diamètre moyen de la zone d'inhibition égale à  $(9 \pm 0.5\text{mm})$ . Alors que l'effet de cet extrait vis-à-vis les bactéries Gram négative présente des différents résultats dans ces travaux, les travaux de Boutalbi 2014 et L. Trabelsi 2010 montre aucun effet de l'extrait d'hexane contre ces bactéries, alors que le travail de G. Usharani 2015 montre un effet considérable avec un diamètre moyen de la zone inhibitrice égale à  $(10 \pm 0.5\text{mm})$ .

Enfin, l'extrait n-hexane de notre espèce SPIRULINE BEHATAM donne un bon résultat par rapport aux d'autres travaux concernant l'activité antimicrobienne de la SPIRULINE, et le petit différent enregistré peut être due aux caractéristiques de l'espèce elle-même ou les autres facteurs de culture.

### III. 6. 3. L'activité antifongique

L'étude de cette activité été réalisée au niveau de laboratoire d'analyse physico-chimique de monsieur ZEKRI Salah à « ROUISSAT, ZAOUIA 2 ».

#### III. 6. 3. 1. Les souches fongiques utilisées

- *Cladosporium herbarum* (E1).
- *Trichophyton Sp* (C3).

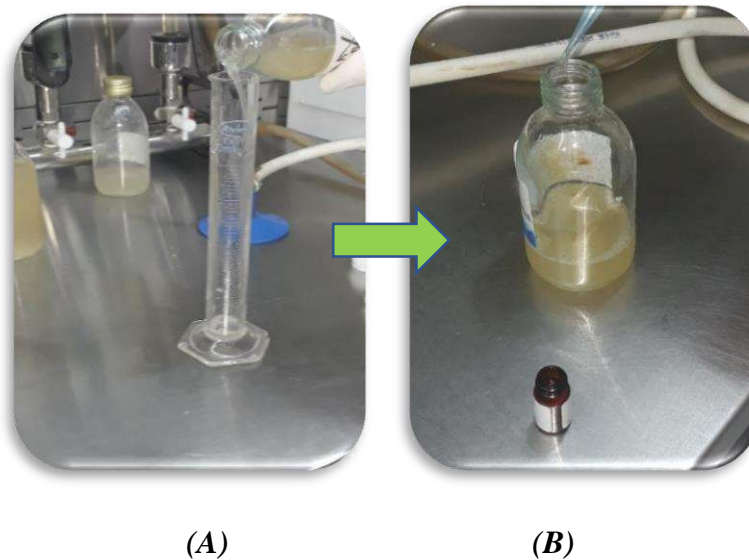
Ces souches ont été repiqué dans des nouveaux boîte de pétri à PDA, puis les incubés de 7 à 10 jours.

### III. 6. 3. 2. Mode d'opérateur

#### A. Préparation des différentes concentrations

Pour la réalisation de l'activité antifongique on a adopté la méthode de contact direct où les quatre concentrations sont obtenues 5, 25, 50 et 75  $\mu$ l de l'extrait de *SPIRULINE* à 10 ml PDA tiède dans un flacon avec l'ajout quelques gouttes de Tween 20 (figure III.11).

Cette technique consiste à additionner l'extrait de *SPIRULINE* à différentes concentrations (tableau III.1) au milieu de culture puis on agite pendant 5 minutes pour l'homogènes le milieu de PDA avec l'extrait.



**Figure III.11** : la préparation des différentes concentrations.

#### B. Essais d'activité antifongique

10 ml de mélange (PDA + les différentes concentrations de l'extrait de *SPIRULINE* + les gouttes de Tween 20) a été coulé dans des boîtes pétries.

L'inoculation se fait sous la hotte par le dépôt au centre de la boîte d'un disque du mycélien d'environ 0.5 cm de diamètre ; les témoins (souche fongique + PDA + Tween 20) sont réalisés dans les mêmes conditions sans extrait de *SPIRULINE* (figure III.9) et les mesures sont prélevées après 72h d'incubation. Les boîtes (témoins et essais) sont incubées à  $25 \pm 2$  °C [39].



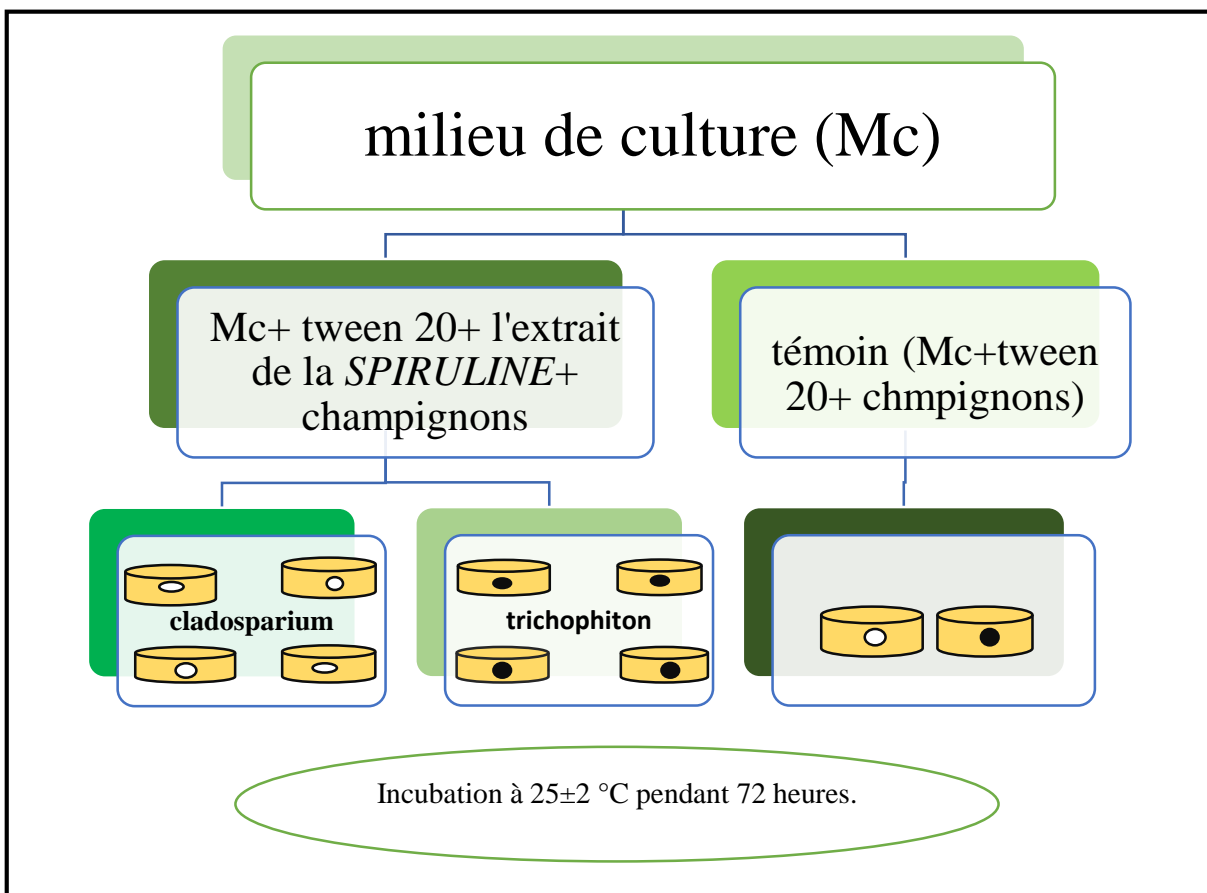
**Figure III. 12 :** l'étape de l'inoculation.

**Tableau III. 1 :** Les concentrations expérimentales pour l'essai antifongique.

	Concentration en $\mu\text{l}/10\text{ml}$	Concentration en %
L'extrait de <i>SPIRULINE</i>	5	0.05
	25	0.25
	50	0.5
	75	0.75

#### III. 6. 3. 4. L'évaluation et le suivi de la croissance mycélienne

L'évaluation et le suivi de la croissance mycélienne a été évaluée toutes les 24 heures pendant 7 jours, en mesurant les diamètres passant par le milieu. La lecture est réalisée en comparaison avec les lectures de témoins de même jour et les mêmes conditions.

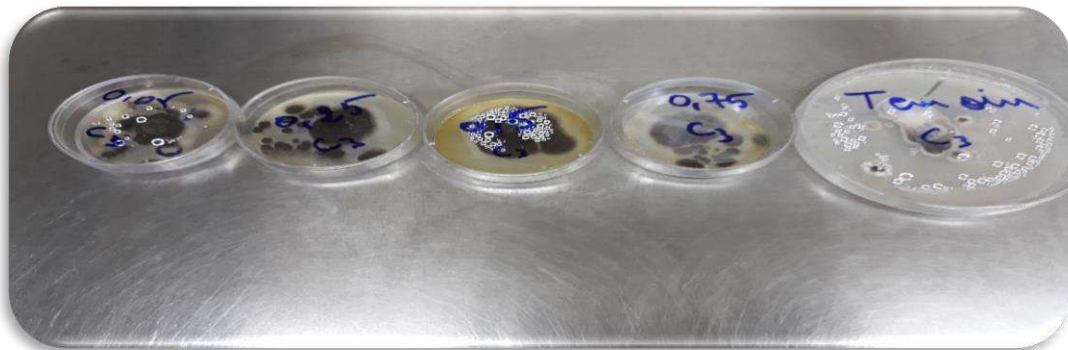




**Figure III.13 :** Protocole expérimentale de l'essai de l'activité antifongique de l'extrait de SPIRULINE.

### III. 6. 4. Résultats de l'activité antifongique

Les figures III.14, III.15 présentent l'effet de notre extrait d'hexane sur la croissance mycélienne des champignons C3 « *Trichophyton sp* » et E1 « *Cladosporium herbarum* » respectivement.



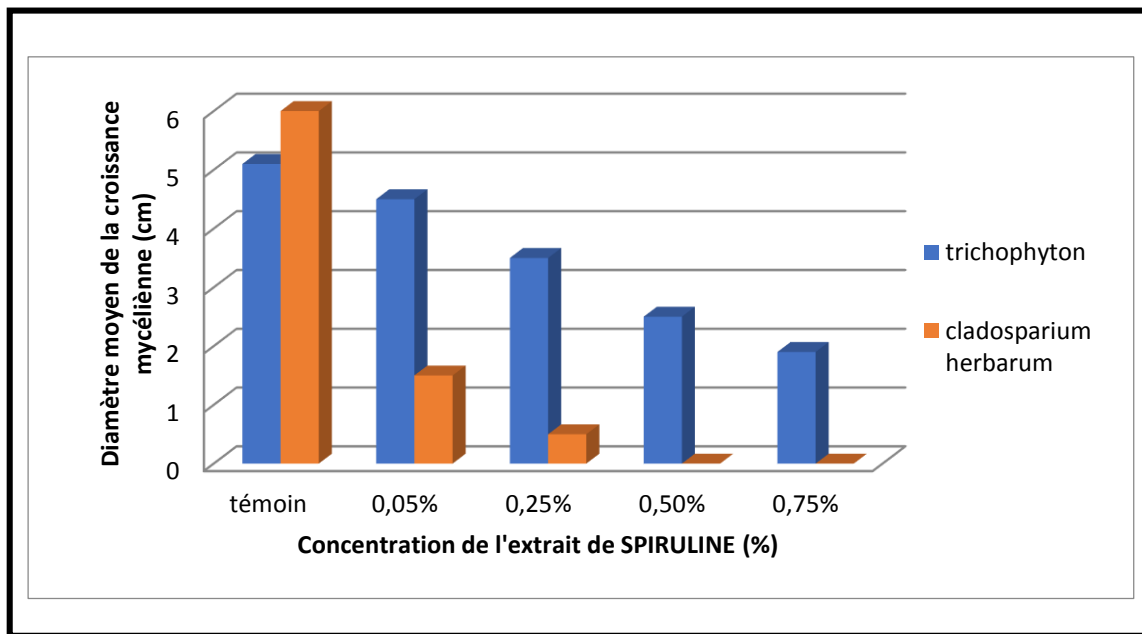
**Figure III.14 :** l'effet de l'extrait de SPIRULINE sur trichophyton après 72h.



**Figure III.15 :** l'effet de l'extrait de SPIRULINE sur Cladosporium herbarum après 72h.

Nous avons évalué l'effet antifongique de notre extrait de SPIRULINE par rapport la diminution ou l'inhibition de la croissance mycélienne. Nous avons observé que le plus grand diamètre de la croissance mycélienne a été enregistré en absence de notre extrait (témoin), la croissance mycélienne est inversement proportionnelle avec la concentration de notre extrait. Les diamètres moyens de la croissance mycélienne de notre extrait de SPIRULINE BEHATAM pendant les 7 jours sont affichés dans la figure suivante (**figure III. 16**) :

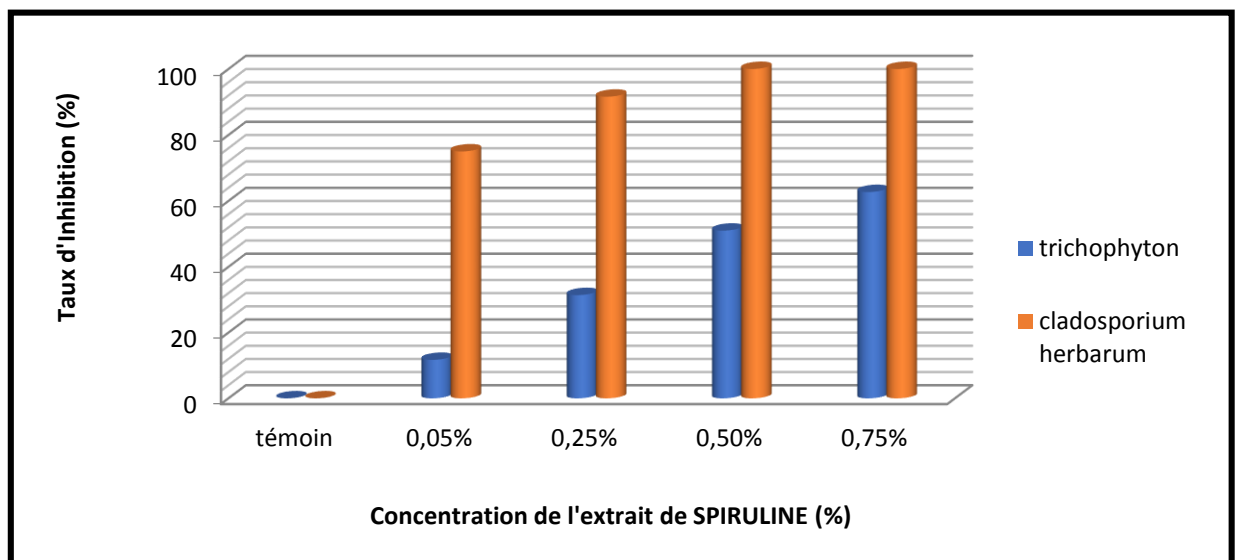




**Figure III. 16 :** l'effet de l'extrait de SPIRULINE sur les deux souches fongiques.

On observe que le diamètre de la croissance mycélienne de la souche *Trichophyton sp* (C3) était remarquable même après l'ajoute de l'extrait n-hexane de la *SPIRULINE BEHATAM*, elle est diminuée graduellement avec l'augmentation de concentration de notre extrait, (de 4.5 cm / 0.05% jusqu'à 1.9 cm / 0.75%), mais elle n'était jamais totalement inhibée. Alors que, la croissance mycélienne de la souche *Cladosporium herbarum* (E1) était peu remarquable après l'ajoute de notre extrait (1.5 cm /0.05% et 0.5 cm/0.25%), et elle est totalement inhibée avec les concentrations 0.5% 0.75%.

Pour une évaluation de l'indice antifongique, nous avons calculé le taux d'inhibition des souches en fonction de la concentration de notre extrait n-hexane, les résultats sont précis dans la figure III.17 ci-dessous :



**Figure III.17** : Taux d'inhibition des souches en fonction de la concentration de l'extrait de SPIRULINE

On observe que toutes les concentrations de notre extrait n-hexane ont empêché partiellement la croissance des souches fongiques testées. Nous avons remarqué que le taux d'inhibition a augmenté avec l'augmentation de la concentration de l'extrait, et que la concentration minimale inhibitrice est inversement proportionnelle avec l'efficacité antifongique manifestée par l'extrait. En effet, La souche *Trichophyton sp* (C3) ne présente aucun CMI et leur efficacité antifongique est modérée, alors que pour la souche *Cladosporium herbarum* (E1) la CMI est de 0.5%, avec une bonne efficacité antifongique.

L'activité antifongique de notre extrait n-hexane montre un effet presque compatible aux autres travaux dans ce sens, le travail de G. Usharani et *al* 2015 montre que l'extrait n-hexane de la *SPIRULINE* donne le diamètre d'inhibition le plus moins comparablement aux d'autre solvant tel que l'extrait méthanolique qui est le mieux, et donc une efficacité antifongique modéré de l'extrait n-hexane par rapport aux autres extrait, d'autre travail du Rania et *al* 2008, montre aucun effet antifongique de l'extrait n-hexane de la *SPIRULINE*, alors que leur extrait méthanolique montre un effet majeur contre ces pathogènes fongiques [43]. Ces différences peuvent être due à l'espèce de la *SPIRULINE* utilisée et aux espèces fongiques testés, ils ont utilisé l'extrait de *Spirulina plantensis* et les souches fongiques *Aspergillus Sp* et *Candida Sp*.

Enfin, notre extrait n-hexane du *SPIRULINE BEHATAM* montre une bonne activité antifongique vis-à-vis la souche *Cladosporium herbarum* et il a montré une faible activité sur la souche *Trichophyton sp*.

---

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

Depuis des certaines années, il existe sur terre une source nutritionnelle et thérapeutique naturelle c'est « *la SPIRULINE* », qui est une algue bleu-vert présentée comme une algue miracle aux mille vertus. La maîtrise de culture puis la production pour la consommation humaine, est une démarche scientifique et technique qui peut être adoptée si les conditions d'environnement climatique et matériel existent.

Le terme « alicaments » un composé d'aliment et de médicaments pourrait être employé à son égard, tant le nombre et la qualité des études scientifiques portant sur la *SPIRULINE* attestent de sa réelle valeur nutritionnelle et de certains effets thérapeutiques.

Au vu des propriétés nutritionnelles sans égal de la *SPIRULINE*, ainsi que du nombre croissant de publications scientifiques en analysant tel ou tel aspect, il apparait clairement que la *SPIRULINE* devait connaitre ces prochaines années, un important développement tant dans les pays industrialisés que dans les payés frappés par la malnutrition. Cette cyanobactérie est souvent mise en avant dans les officines et les magasins bios. Il nous semblait important de vérifier certaines activités thérapeutiques avancées par les fabricants et revendeurs.

Ces effets bien qu'étant plus préventifs que curatifs, en font un complément alimentaire de choix pour prévenir la survenue de maladies tel que les maladies cardiovasculaires, les cancers ou les infections virales, mais aussi pour diminuer les effets secondaires de traitement médicamenteux lourds tel que les traitements antinéoplasiques ou antirétroviraux.

Les résultats obtenus dans cette étude, montrent que la *SPIRULINE BEHATAM* (notre modèle d'étude) présente une source de lipides de bonne qualité, malgré le teneur faible des lipides (5 à 6 %) le rendement d'extraction été très élève 30.39% par apport les travaux publiés. L'étude de l'activité biologique de cet extrait manifeste des bonnes résultats, l'efficacité de notre extrait n-hexane vis-à-vis les bactéries été bonne comparablement aux travaux des études bibliographique, ainsi que l'efficacité antifongique, nous acquérons un bon résultat car l'extrait n-hexane de notre espèce été capable d'inhiber la croissance mycélienne des champignons testés.

On peut tester des autres applications pour la *SPIRULINE* sont les suivants :

- Extraire les autres pigments (protéines et vitamines)
- Tester les autres activités biologiques et thérapeutiques
- Produire des compléments alimentaires adaptés à la population

Enfin, notre travail indique que LA *SPIRULINE BEHATAM* peut être présenté comme une source d'aliment et un outil thérapeutique très prometteur puisqu'elle porte des caractéristiques compétitives par rapport aux autres espèces de *SPIRULINE* étudié.

---

## Références Bibliographiques

---

## Références bibliographiques

1. **Sébastien SGUERA** : SPIRULINA PLATENSIS ET SES CONSTITUANTS NUTRITIONNELLE ET ACTIVITES THERAPEUTIQUE. Thèse docteur en pharmacie 12/12/2008.
2. **GOULAMABASSE Tessine Raza** : « la spiruline : activité thérapeutique et son intérêt dans la lutte contre la malnutrition à Madagascar ». Thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie 20/06/2018.
3. **BOUGANDOURA Nabila** : pouvoir antioxydant et antimicrobien des extraits d'espèces végétales *saturejacalanimthassnepta* (nabta) et *Ajugaiva L.* (chendgoura) de l'ouest d'Algérie. Magister en biologie 2010-2011.
4. **GOUDJIL Mohamed Bilal** : composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydant de trois plantes aromatiques. Thèse doctorat le 12/06/2016.
5. **ZIGHMI Souad** : production de biodiésel et optimisation des paramètres des procédés de culture des microorganismes. Le 6 juillet 2017 (thèse doctorat).
6. **Doumenge F, Durand-Chastel H, Toulemont A.** 1993. Spiruline, algue de vie/ *Spirulina*, algae of life. Bulletin de l'institut Océanographique de Monaco.
7. **Auréli Lucchetti**, Modélisation et conception d'un système de culture de Micro-algues, thèse de doctorat, l'École nationale supérieure des mines de Paris, France, (2014), p. 06.
8. **MICHEL CARALLA** : les algues –les micro-algues.
9. Classification des algues : [www.botanic06.com](http://www.botanic06.com) consulter le 07/05/2016.
10. **Tarik AINANE** : valorisation de la biomasse algale du Maroc 02/11/2011 p.07.
11. **Audrey MANET** : *LA SPIRULINE* : Indications thérapeutiques, risques sanitaires et conseils à l'officine. p 11.
12. **Jarisoa**, 2005. Adaptation de la spiruline de sud de Madagascar à la culture en eau de mer.
13. Production artisanale de spiruline du Hoggar, **HIRI Abdelkader**.
14. **Hélène CRUCHOT** : la spiruline bilan et perspectives. Thèse docteur en pharmacie. 13/05/2008. p60.
15. **Loïc Charpy, Marie José Langlade et Romain Alliod** : ' la spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique ?'.
16. **Jourdan J.P**, 2007. Manuel de culture de la Spiruline. Antenna Technologie.
17. **Wang et al.**: Identification of differentially expressed proteins of *Arthrospira* (*Spirulina*) *plantensis*-YZ under salt-stress conditions by proteomics and analysis. Proteome Science 2013.

18. **Costa et al.** 2002. Analyse par entropie multi-échelle de séries chronologiques physiologiques complexes.
19. Docteur **Jean Dupire** auteur de La spiruline, un super aliment [Internet]. [cité 28 déc. 2017]. Disponible sur : <http://www.spirulinefrance.fr/lavis-des-specialistes/drjean-dupire-la-spiruline-un-superaliment>.
20. **Lupatini AL, Colla LM, Canan C, Colla E.** Potential application of microalga *Spirulina platensis* as a protein source. J Sci Food Agric [Internet]. 1 févr 2017.
21. **VICENETE.N.**, 2008.Spiruline et développement in international symposium 'spirulina and development' page 07.
22. **QUILLET M.**, 1975 - Recherche sur les substances glucidiques élaborées par lesspirulines. Ann. Nutr.Aliment. 29(6), pages 553-561.
23. **SEBASTIEN SGUERA**, *Spirulina Platensis* et ses constituants, intérêts nutritionnels et activités thérapeutique, Thèse pour l'obtention de diplôme d'état de Docteur en Pharmacie, soutenu le 12 Décembre 2008, Université Henri Poincare- Nancy1.
24. **Babadzanov A. S , Abdusamatov N, Yusupova F. M , Faizullaeva N, Mezhlumyan L. G and Malikova M. Kh** : Chemical composition of *Spirulina Plantesis* cultivated in Uzbekistan, Chemistry of Natural Compounds, 2004, 40 (3). P.276-279
25. **Falquet et J.-P. Hurni**, *SpirulineAspects Nutritionnels*, Antenna TechnologiesNovembre 2006.
26. **Watanabe F.** Vitamin B12 sources and bioavailability. ExpBiol Med Maywood NJ2007 ; 232:1266–74.
27. **Morenikè Nadège Ahounou.** La spiruline : un complément alimentaire en conseil à l'offine. Enquêtéd'utilisation. Sciences pharmaceutiques. 2018.
28. **Vicat J. P., Doumnang Mbaigane J. C., Dingamtar Ndjadode N., Guideal R., Bellion Y.** (2016). Teneurs en éléments majeurs et traces de spirulines (*Arthrospira platensis*).
29. **KHIATI.M**, Guide des maladies infectieuses et parasitaires.
30. **Courvalin, P ; H. Drugean, J.P. Flandrois, And Goldstein**, bactericide, aspects théorique et thérapeutique. 1990
31. **BOUTALBI SAFA**, Criblage chimique et l'activité biologique de spiruline (*Arthrospira platensis*).Thème Soutenu publiquement Le : 08/06/2014, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.
32. **Amel DOUMANDJI et Dahmane ALILI**, EFFET DE LA SPIRULINE SUR L'ÉVOLUTIONIN VITRO DES BACTÉRIES LACTIQUES THERMOPHILES, Revue Agrobiologie 2012 ; p. 67-74
33. [www.futura-sciences.com](http://www.futura-sciences.com).



34. **M. HOCINI Med Abdelhadi**, Production de la Spiruline en Algérie *Arthrospira platensis* : Bilan et perspectives, Thème Master soutenu Juin 2017, Université Abderrahmane MIRA-Bejaia.
35. un bref compte rendu sur la spiruline du Hoggar, par **Abdelkader HIRI** juin 2011.
36. Site : [www.Docplayer.fr](http://www.Docplayer.fr)
37. W.W.Eckenfelder. « Gestion des eaux usées urbaines et industrielles, technique et documentation », Edition la Lavoisier paris.
38. Site : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)
39. **MOHAMED, Z and F, ATIK**, Pouvoir antifongique et antioxydant de l'huile essentielle et *Lavandula stoechas* L. revus « nature et technologie ». 2011 : p.35
40. **Jarmila Vavra Ambrozova, Ladislava Misurcova et al** , “ Influence of Extractive Solvents on Lipid and Fatty Acids Content of Edible Freshwater Algal and Seaweed Products, the Green Microalga *Chlorella kessleri* and the Cyanobacterium *Spirulina platensis*”, *Molecules*, 19, 2344-2360, 2014.
41. **L. Trabelsi, H. Ben Ouad et H. Bassa**, Activités biologiques des métabolites excrétés par la cyanobactérie filamenteuse *Arthrospira platensis*, *Phytothérapie*, Octobre 2010.
42. **G. Usharani, G. Srinivasan, S. Sivasakthi and P. Saranraj**, Antimicrobial Activity of *Spirulina platensis* Solvent Extracts Against Pathogenic Bacteria and Fungi, *Advances in Biological Research* 9 (5): 292-298, 2015.
43. **Rania M.A. Abedin and Hala M. Taha**, Antibacterial and Antifungal Activity of Cyanobacteria and Green Microalgae, Evaluation of Medium Components by Placket-Burman Design for Elucidation and Antimicrobial Activity of *Spirulina platensis*. *Global Journal of Biotechnology & Biochemistry*, 3(1): 22-31. 2008.

---

## Annexes


---

Dans les tableaux ci-dessus représentent les caractéristiques et les propriétés des produits et les dispositifs utilisés dans ce travail.

➤ Les produits :

a) *n-hexane* :

*Tableau 01 : les principales caractéristiques de n-hexane.*

La masse molaire	_86.18 g/mol
La masse volumique	0.66
Température de fusion	-95.3 °C
Température d'ébullition	68.7 °C
Point d'éclair	-22 °C
Fiche de sécurité	 H225, H304, H315, H336, H361f, H373, H411.

b) **DMSO** :

DMSO c'est le diméthylsulfoxyde est un solvant polaire organosulfuré, aprotique, de formule  $C_2H_6OS$ . Ils présentent comme un liquide incolore, qui dissout à la fois des composés polaires et non-polaires, et qui est miscible dans une large gamme de solvants organiques, ainsi que dans l'eau. Il pénètre très facilement et rapidement la peau avant de diffuser dans tout l'organisme.

c) **Papier wattman** :

Est un papier grené, fort et rigide, vergé. Ces papiers destinés essentiellement aux laboratoires de recherche et d'études scientifiques (chimie, physique, bactériologie).

d) **TWEEN 20** :

TWEEN 20 est un détergent, très dilué afin d'éliminer les interactions non spécifiques

Il est largement utilisé dans les applications biochimiques. En tant qu'agent émulsifiant pour la préparation.