

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE EPOPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGEMENT SUPRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



Faculté des sciences appliquées

Département de Génie des procédés

Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine :sciences et technologiques

Filière: Génie des procédés

Spécialité: Génie des procédés de l'environnement

Présenté Par:

Dehana Amel

Bekhta Moufida

THEME:

**Etude techno-économie de la  
production du spiruline dans le  
sud algérien**

*Devant le jury composé de:*

Dr. Mourad.CHAOUAKI	MCA UKM.Ouargla	<b>PRESIDENT</b>
Dr. Noura.CHAOUCH	MCA UKM.Ouargla	<b>EXAMINATEUR</b>
Dr. Abdellatif RAHMANI	MCB UKM.Ouargla	<b>ENCADREUR</b>

*Promotion 2022*

# الاهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات وفقنا لثمين هذه الخطوة في مسيرتنا الدراسية بمذكرتنا هذه ثمرة الجهد و النجاح. الى من علمني ان دنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة الى الذي لم

يinxل علي بأي شي، الى من سعى لأجل راحتي ونجاحي

الى اعظم و اعز رجل في الكون ابي العزيز رحمة الله عليه وعلى روحه الطاهرة.

الى من ساندتني في صلاتها ودعائها الى من سهرت الليالي تنير دربي

الى من تشاركني افراحي وأساتي... نبع العطف والحنان

الى اجمل ابتسامة في حياتي الى اروع امرأة في الوجود امي الغالية اطال الله في عمرها.

والى سندي وضياء دربي من علمتني ان الاصرار والمثابرة

مصدر الامل والطموح نبع العطاء امي الثانية اختي حبيبي الغالية مسعودة

اشكر الله على وجودك وعلى دعمك راعاك الله وحفظ لك اولادك

( يزيد، اسلام ، جيلاني) وزوجك يونس جزاه الله كل خير وبارك الله في عمره.

الى من اعانني ودعمني وكافح معي من بعيد تحية لك من القلب الى القلب

الى اخواني وأبنائهم وأزواجهم كل باسمه ومقامه الى

كل من ساهم ولو بحرف في حياتي الدراسية الى كل هؤلاء اهدي باكورة عملي الذي اسال

**أمال دهانة**

الله ان يتقبله خالصا.

# الإهداء

الحمد لله الذي وفقنا لتشمين هذه الخطوة في مسيرتنا الدراسية بمذكرتنا هذه

ثمرة الجهد والنجاح بفضلته تعالى مهداة إلى من كان شمعة تنير دربي ومن علمني  
الاجتهاد والمثابرة و السير على خطى الحبيب أطال الله في عمره أبي الغالي

إلى فيض الحب و العطاء بلا انتظار ولا مقابل إلى من كانت سندا و دعما لي طيلة  
هذا المشوار التي مهما قلت فيها لن أوفيها حقها أتمنى لها دوام الصحة و العافية إلى  
أمي الحبيبة

إلى فرحة البيت و قرة العين أحتاي نور الهدى و أسيا إلى إخوتي كل باسمه و مقامه

إلى زميلة الدراسة التي كافحت وصبرت معي آمال

إلى الأهل والأقارب إلى رفيقات المشوار اللاتي قاسمني لحظاته رعاهم الله و وفقهم  
اخص بالذكر

"سندس، رميصاء، فاطمة، سمية، أحلام..."

إلى كل من ساهم ولو بحرف في حياتي الدراسية إلى كل هؤلاء أهدي باكورة عملي  
الذي أسأل الله ان يتقبله خالصا.

**مفيدة بخته**

# شكر و عرفان

قال الله تعالى: <ولئن شكرتم لأزيدنكم >

بعد تمام العمل لا شئ أجمل ولا أحلى من الحمد، فالحمد لله والشكر لله كما ينبغي لجلال وجهه و عظيم سلطانه على ما أنعم به علينا من إتمام هذا البحث المتواضع.

ثم إنه لا يسعنا إلا أن نشيد بالفضل ونقر بالمعروف لكل من ساهم في إنجاز هذا البحث

ونخص بالذكر أستاذنا المشرف **"الدكتور عبد اللطيف رحمانى"**

على ما قدمه لنا من التوجيه والتصويب.....

وما علمنا إياه من فيض انسانيته وخلقته الرفيع ومستواه الراقى.

وإلى

كل أساتذتنا الأفاضل بكلية العلوم التطبيقية-قسم هندسة الطرائق- جامعة

ورقلة

وإلى

كل من مد لنا يد العون من قريب أو بعيد

## Résumé

Ces dernières années, l'activité de recherche dans le domaine des microalgues s'est accrue et l'intérêt des industriels pour ces organismes photosynthétiques est l'application la plus importante liée à la production de molécules à haute valeur ajoutée. Applications futures et autres dans le domaine de la pharmacie et des cosmétiques.

Notre travail se traduit par une étude technico-économique pour connaître la faisabilité d'investir un projet de production de micro-algues (souche Spiruline) dans le sud algérien. Là où le climat du sud algérien est un milieu propice à la culture de la spiruline (température, rayonnement solaire), la disponibilité de l'eau et les vastes terres plates. Nous avons utilisé des bassins ouverts dans ce projet. Où la taille peut être exploitée 14722.56 mètres cubes d'eau par an et par hectare et récolter une masse d'algues de 29 445,12 kg par an par hectare, le projet peut être démarré avec un capital de 10690000 DA.

Le bénéfice à la première année 18755120DA. Où le bénéfice après la première année est estimé 27705120DA par an et par hectare à travers cette étude, on peut dire que le projet est faisable, surtout s'il dépasse une dizaine d'hectares.

### **Mots-clés:**

Masse d'algues, microalgues, spiruline, bassins ouverts.

## الملخص

في السنوات الأخيرة تزايد النشاط البحثي في مجال الطحالب الدقيقة ، و نحن الآن نعرف امكاناتها بشكل أفضل بذلك يتزايد الاهتمام الصناعي بهذه الكائنات الحية الدقيقة التي تعمل بالتمثيل الضوئي وهو أهم تطبيق يتعلق بإنتاج جزيئات ذات قيمة مضافة عالية ، ولكن يمكن استخدام الطحالب الدقيقة بيئيا : كجمع و معالجة مياه الصرف الصحي بمختلف انواعها ، وإنتاج الاسمدة البيولوجية والأعلاف للحيوانات ولأسماك وإنتاج الوقود الحيوي كواحدة من الطاقات البديلة وغيرها من التطبيقات في مجال الصيدلة ومواد التجميل .

عملنا هذا يتمثل في دراسة تقنو اقتصادية لمعرفة جدوى استثمار مشروع إنتاج الطحالب الدقيقة (سلالة سبيروولينا ) في الجنوب الجزائري . حيث يشكل المناخ في الجنوب الجزائري وسط ملائم لزراعة السبيروولينا ( درجة الحرارة ، الإشعاع الشمسي) وتوافر المياه والأراضي المستوية . استعملنا في هذا المشروع احواض مفتوحة ، حيث يمكن استغلال حجم قدره 14722.56 متر مكعب من المياه في السنة للهكتار الواحد وجمع الكتلة الطحلبية قدرها 29 445,12 كيلو غرام في السنة للهكتار الواحد.

يمكن ان يبدأ المشروع براس مال قدره 10690000 دج.

يكون الربح في السنة الأولى 18755120 دج. حيث يقدر الربح بعد السنة الأولى بـ 27705120 دينار لكل سنة ولكل هكتار من خلال هذه الدراسة يمكننا القول أن المشروع مجدي خاصة إذا تجاوز العشرة هكتارات.

### **الكلمات المفتاحية :**

الكتلة الطحلبية ، الطحالب الدقيقة ، السبيروولينا .

## Summary

### Summary

In recent years, research activity in the field of microalgae has increased and industrial interest in these photosynthetic organisms is the most important application linked to the production of molecules with high added value. Future and other applications in the field of pharmacy and cosmetics.

Our work results in a technical and economic study to know the feasibility of investing in a micro-algae production project (Spirulina strain) in southern Algeria. Where the climate of southern Algeria is an environment conducive to the cultivation of spirulina (temperature, solar radiation), the availability of water and the vast flat lands. We used open basins in this project. Where the size can be exploited 14722.56 cubic meters of water per year per hectare and harvest a seaweed mass of 29,445.12 kg per year per hectare, the project can be started with a capital of 10690000 DA.

The profit in the first year 18755120DA. Where the profit after the first year is estimated 27705120DA per year and per hectare through this study, we can say that the project is feasible, especially if it exceeds ten hectares.

Key words:

Mass of algae, microalgae, spirulina, open ponds.

## Table des matières

Dédicace	
Remercîment	
Résumé	
المُلخَص	
summary	
Table des matières	I
Liste des figure	III
Liste de tableau	IV
Introduction générale .....	1
Chapitre I :	
Généralités sur les algues	
I. Définition:.....	5
I.1.Diversité d'espèces d'algues: .....	6
I.2.Classification et description des algues: .....	6
I.3 . Composition biochimique des microalgues:.....	8
I.4.Espèces cultivées: .....	9
CHAPITRE II	
Culture d'algues et méthode de collecte	
II.1. Culture des microalgues; .....	13
II.1. 1. Culture en milieu ouvert (bassins, Raceway).....	13
II.2. Récolte des micro-algues : .....	16
II.2.1.La centrifugation: .....	16
II.2.2. La sédimentation: .....	17
II.2.3. La filtration:.....	17
II.2.4. La floculation: .....	18
II.2.5. La flottation: .....	18
II.2.6. Éctrofloculation :.....	19
II.2.7. Électrocoagulation :.....	19
II.2.8. L'électro flottation :.....	19
CHAPITRE III	
Etude faisabilité économique de la culture de microalgues	
Introduction:.....	22
III.1. Présentation de l'étude.....	23
III.2. Faisabilité technique : .....	24
III.2.1. BASES TECHNIQUES DE LA PRODUCTION :.....	24
III.2.2.Le milieu de culture : .....	24
III.2.3.Lumière et agitation: .....	27
III.2.4. SUIVI DES CULTURES :.....	28



III.3. Modèle d'étude .....	31
III.3.1. Milieu ouvert ou Raceway : .....	31
III.3.2. Coût d'investissement .....	33
III.4. Produits et marché de la spiruline .....	38
III.4.1. Produits à base de spiruline .....	38
III.4.2. Certification et signe de qualité : .....	39
III.2.5. Exigences physiologiques de la spiruline .....	29
III.2.5.1. Contaminations, couverture des bassins et mort subite .....	30
III.2.5.2. Inhibitions et facteurs limitants : .....	30
III.6. Marché et potentiel des microalgues de culture .....	41
III.6.1. Les intérêts des microalgues .....	41
<i>Conclusion générale:</i> .....	43
Références bibliographiques	

## Liste de figure

FigureI-1: Tronc d'arbre recouvert de <i>Pleurococcus</i> .....	6
FigureI-2: Schéma d'une structure de microalgue unicellulaire.....	8
FigureI-3.- Culture de haute densité de <i>Chlorella pyrenoidosa</i> (x200).....	10
FigureI-4.- <i>Spirulina</i> sp. (x400).....	11
FigureI-5.- <i>Dunaliella salina</i> (x400) .....	11
FigureII-6: Schéma d'un système .....	14
FigureII-7: Photographie aérienne des.....	14
FigureII-8 Photographies de différentes installations de PBR tubulaires.....	15
FigureII-9: Schéma de principe d'un PBR .....	15
FigureII-10: Schéma d'opération du centrifugation .....	16
FigureII-11: Schéma d'opération du filtration.....	17
FigureII-12: Schéma d'opération de la flottation .....	18
Figure III-13souche de spiruline.....	27
Figure III-14 Modèle Bassin Rasway .....	32
FigureIII-15: Exemples d'utilisation de spiruline.....	39
Figure III-17 : Répartition des marchés mondiaux actuels des microalgues en volumes.....	42

## Liste des tableaux

Tableau I-1 : Compositions biochimiques de micro-algues (Becker, 2007) .....	9
Tableau III.1 Le milieu Zarrouk .....	26
Tableau III.2 : Rendement et données économiques de la production de Spiruline.....	33
Tableau III.3:Des coûts fixes .....	34
Tableau III.4:outils de laboratoire .....	35
Tableau III.5: Coût DE PRODUCTION VARIABLES.....	35
Tableau III.6: COMPTE DE RESULTATS PREVISIONNELS .....	36
Tableau III.7: remboursement d'emprunt .....	38
Tableau III.8: Analyse Atouts et Difficultés de marchés (source Livre Turquoise p 122).....	40

# Introduction Générale

# Introduction générale

---

## Introduction générale

Les algues sont des organismes aquatiques *chlorophylliens* se développant dans l'eau ou dans des milieux très humides. Bien que surtout abondantes dans les eaux des mers, des lacs, des mares, des eaux courantes et des eaux thermales, on en trouve également sur les roches humides et sur la terre. (Ittis, 1986).

Constituées pour la plupart d'une seule cellule, qui exploitent elles-mêmes leur nourriture et transforment le dioxyde de carbone en présence de lumière en glucides. L'une des caractéristiques les plus importantes qui le distinguent est qu'il est connu sous le nom de vert, bleu, marron, rouge, vert bleuté...etc.

Les algues sont responsables de 90% de l'oxygène sur Terre. Il contient toutes les substances bénéfiques présentes dans les fruits telles que les vitamines et les minéraux.

La spiruline a été classée comme l'aliment du siècle, c'est-à-dire que si nous avons un kilogramme de spiruline, cela équivaut à une tonne de fruits et légumes.

Les microalgues et *les cyanobactéries* sont des organismes qui utilisent la lumière comme source d'énergie pour fixer le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Ces microorganismes, dont la taille varie du micron à la centaine de microns se trouvent en abondance dans les milieux aquatiques (océans, rivières, lacs, etc.)

La biodiversité de ces microalgues est énorme puisqu'il est estimé qu'il ya entre 200 000 et plusieurs millions le nombre d'espèces d'algues existantes, ce qui est très supérieur aux 250 000 espèces de plantes supérieures recensées ; une telle diversité non exploitée constitue un réel potentiel pour la recherche et l'industrie (Cadoret et Bernard, 2008).

Comme il est important dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique et Cosmétiques, ces substances atteignent une grande valeur sur le marché international et leur demande augmente progressivement au même rythme que le développement de la technologie industrielle, la biotechnologie et la demande international de nouveaux médicaments et des composés d'alimentation.

Le mémoire est constitué de deux (02) parties :

La première partie théorique, comprenant (02) chapitres: généralités sur les algues et une présentation de l'espèce de microalgues ainsi qu'une présentation méthodes de culture et collecte de masse d'algues.

## Introduction générale

---

La deuxième partie est pratique, traite de l'étude technico-économique de la culture des algues.

Où réside l'importance d'une étude de faisabilité est de connaître les besoins du projet retenu en termes de coûts et de ressources et son taux de réussite à court et à long terme. et elle permet également de connaître les points d'opportunités du projet et les points des défis attendus et d'élaborer des plans pour les surmonter afin d'atteindre le projet avec le plus grand taux de réussite à l'avenir.

L'étude de faisabilité économique et l'étude de marché permettent de connaître les risques attendus dans le futur et d'élaborer un plan alternatif au cas où ils se présenteraient avec le moins de pourcentage de pertes possible .et détermine également les coûts du projet, les dépenses et les revenus attendus

# Partie Théorique

# **Chapitre I**

**Généralités sur les algues**



### I. Introduction:

Les algues sont définies comme des organismes *eucaryotes* (excluant les *cyanobactéries* qui sont des procaryotes photosynthétiques) dépourvus de racines, de tige (absence de tissus vasculaires) et de feuilles, mais possédant de la chlorophylle ainsi que d'autres pigments accessoires pour réaliser la photosynthèse productrice d'oxygène. Les algues sont classées dans le groupe des thallophytes, dans le règne végétal, mais du fait de la diversité des formes, certaines espèces phytoplanctoniques sont classées dans le règne des protistes qui regroupe les eucaryotes unicellulaires. La taille des algues peut varier de la cellule microscopique unique, à quelques cellules en colonie et jusqu'à 75 m (laminaires, sargasses) pour certaines formes multicellulaires (**Cavalla, 2000**).

Les algues sont des végétaux beaucoup moins connus que les plantes terrestres, et beaucoup plus difficiles à appréhender. Elles occupent en grande partie les milieux aquatiques, en particulier marins et sous-marins et constituent un ensemble d'organismes extrêmement divers qu'il est fort difficile de présenter de manière univoque. Un grand nombre d'entre elles, pour ne pas dire une large majorité, sont des formes unicellulaires (microalgues) dont la reconnaissance nécessite des techniques microscopiques parfois très élaborées. Sur le plan de la systématique, les algues sont également très diversifiées ce qui témoigne de leur très longue histoire génétique. Elles ne constituent pas au sein des végétaux un ensemble homogène, mais se répartissent entre plusieurs lignées évolutives complètement indépendantes les unes des autres (**Julie, 2011**).

La plupart des algues se développent en milieu aquatique d'eau douce, saline ou saumâtre, mais certaines sont terrestres et sont capables de se développer à même le sol ou sur le tronc des arbres. Dans l'eau, les algues ainsi que de petites plantes forment le *phytoplancton*, le *zooplancton* étant constitué par des animaux et des protistes non photosynthétiques. Certaines algues se développent sur des rochers humides, sur le tronc des arbres (*Pleurococcus*, Chlorophytes), ou sur un sol mouillé (*Nostoc*, Cyanobactérie). D'autres sont des endosymbiotes de *protozoaires*. Des algues vivent en symbiose avec des champignons pour former les lichens. Les algues et les *cyanobactéries* sont parmi les premiers organismes apparus sur Terre. On a trouvé des cyanobactéries fossiles ressemblant à des oscillaires dans des terrains cambriens de 2 milliards d'années (**Cavalla, 2000**).



**Figure I-1: Tronc d'arbre recouvert de Pleurococcus**

### **I.1. Diversité d'espèces d'algues:**

Difficile d'inventorier cette diversité, notamment pour les algues unicellulaires, tant leur nombre est grand, leur diversité inconnue et leur recensement et classification en constante évolution. La base de données internationale sur les algues (Algae Base) recense environ 127 000 noms d'espèces, dont la majorité de microalgues. Il y aurait environ 9 000 espèces de macro-algues, dont 1 500 peuplent les mers d'Europe, et le nombre total de microalgues, quant à lui, varie selon les estimations de 100 000 à plusieurs millions (Mathieu, 2011).

Les algues constituent un ensemble hétérogène, difficile à caractériser, qui comprend des végétaux unicellulaires, coloniaux, et pluricellulaires mais qui ne possèdent ni racines, ni tiges, ni feuilles (ce sont des thallophytes). De couleurs diverses vertes, jaunes, brunes ou rouges, elles contiennent toujours de la chlorophylle. On en compte quelque 27 000 espèces.

### **I.2. Classification et description des algues:**

Les algues possèdent des chloroplastes et pratiquent donc la photosynthèse de composés organiques. Hormis la *chlorophylle*, d'autres pigments sont responsables de colorations caractéristiques (brune, jaune, rouge...), la nature biochimique de ces pigments constituant d'ailleurs la base de la classification des algues. C'est ainsi que l'on distingue les algues vertes, dont la plupart constituent le groupe des *chlorophycées*, les algues brunes comme les *phéophycées* et les algues rouges, ou *rhodophycées*. Il existe également des algues jaunes, les *xanthophycées* (Lando, 2011).

## Chapitre I:Généralités sur les algues

---

Que se soit, en effet, au niveau cellulaire pour l'observateur aidé du microscope ou au niveau macroscopique, les algues révèlent une étonnante diversité de formes, de couleurs, d'architectures qui ne peuvent être retrouvées ailleurs dans l'un ou l'autre des règnes animal ou végétal. (Gayral, 2007).

Le Classement des micro-algues se fait sur la diversité de leurs propriétés et notamment leur caractéristique morphologique, la pigmentation ou l'organisation des membranes (G. E. Fogg, 1953). Il est cependant plus simple de les distinguer selon deux groupes

### A. Les procaryotes :

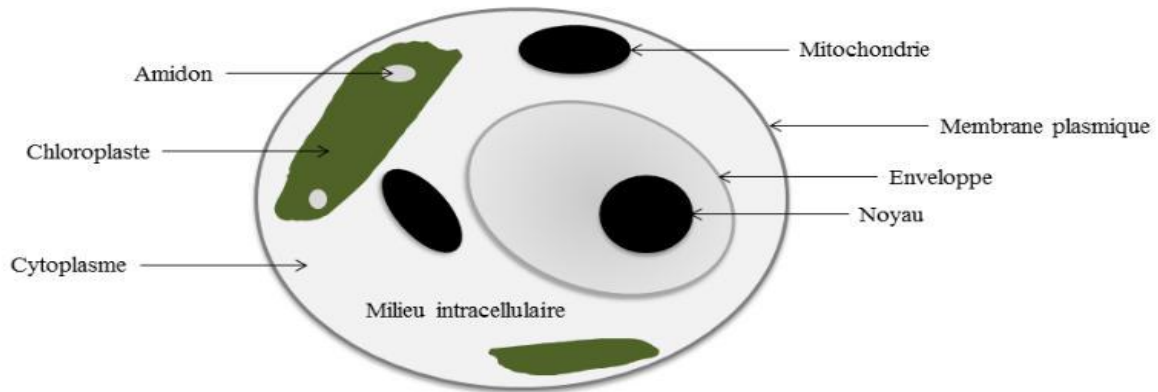
Ce sont des organismes unicellulaires qui sont dépourvus de noyau et ne présentent que très rarement des organites cellulaires.

### B. Les Cyanophycées:

Appelées également cyanobactéries, sont des micro-algues *procaryotes* de coloration bleue-verte de petites tailles (10 µm) qui peuvent se développer dans quasiment tous les habitats : eaux douces, salées, saumâtres et également dans les sols grâce à leur capacité à résister aux conditions climatiques extrêmes. Malgré ses aptitudes à se développer dans des milieux extrêmes, les Cyanophycées possèdent des températures de croissance optimales aux alentours de 30-35°C. La seule exigence des Cyanophycées est la présence obligatoire de lumière c'est pourquoi on les considère comme des organismes autotrophes obligatoires. En cas d'absence de lumière, certaines espèces de Cyanophycées sont en mesure d'oxyder certains sucres présents dans leur composition. De façon générale, elles emmagasinent principalement leur énergie sous forme d'amidon ou encore sous forme de lipides. Elles sont environ 2000 espèces dans ce groupe pouvant être divisées en 150 genres. Les espèces les plus connues sont *Spirulina*, *Nostoc commune* et *Aphanizomenom flos-aquae* (Pulz and Gross, 2004).

### C. Les Eucaryotes :

Ce sont des organismes uni ou pluricellulaires qui présentent une structure complexe contenant un noyau entouré d'une membrane ainsi que plusieurs organites intracellulaires : chloroplastes, amyloplastes, oléoplastes.



FigureI-2: Schéma d'une structure de microalgue unicellulaire

### D. Les Diatomées :

Appelées également les *Bacillariophycées* qui représentent le groupe majoritaire des diatomées et sont très répandues dans tous les types d'habitats. Plus de 100 000 espèces sont connues et il en existerait plus d'un million. Les *Bacillariophycées* sont unicellulaires et mesurent de 2 $\mu$ m à 1mm. Ils emmagasinent leurs réserves sous forme de *chrysolaminaran*, un polysaccharide, ainsi qu'en lipides. Ces espèces sont d'ailleurs reconnues pour leur contenu en acides gras et pendant plusieurs années, les scientifiques croyaient que les lipides représentaient leurs seuls composés de réserve. Les composants majeurs de ces lipides sont les triglycérides. Les micro-algues telles que *Nitzschia sp.* et *Navicula pelliculosa* (Figure-05) sont intéressantes pour la production de biocarburant en mode hétérotrophe grâce à leur taux élevé en acides gras (Chinnasamy et al., 2010).

### E. Les Chlorophycées :

Ce sont des micro-algues vertes retrouvées dans tous les types d'habitat et, l'amidon et les lipides représentent leurs principales réserves énergétiques. Les espèces présentes dans ce groupe peuvent à la fois avoir un métabolisme autotrophe ou hétérotrophe. L'espèce la plus répandue et la plus étudiée actuellement est *Chlorella vulgaris* mais on peut également citer *Chlamydomonas*, *Dunaliella* et *Haematococcus* (Pulz and Gross, 2004)

## I.3 . Composition biochimique des microalgues:

L'intérêt des micro-algues se manifeste par la diversité de leurs compositions biochimiques. Cette biomasse se différencie principalement des autres végétaux par sa richesse en lipides, protéines, polysaccharides, vitamines, pigments et antioxydants. Le Tableau I-1 recense la composition chimique de différentes micro-algues

Tableau I-1 : Compositions biochimiques de micro-algues (Becker, 2007)

Micro-algues	Protéines (%)	Polysaccharides (%)	Lipides (%)
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	12-17	14-22
<i>Dunaliella salina</i>	57	32	6
<i>Porphyridium cruentum</i>	28-39	40-57	9-14
<i>Spirulina platensis</i>	46-63	8-14	4-9
<i>Synechococcus sp.</i>	63	15	11

Elles représentent une source importante de quasiment toutes les vitamines essentielles : B1, B6, B12, C, E, K1, et possèdent un large panel de pigments, fluorescents ou non, pouvant aussi avoir un rôle d'antioxydants. En plus de la chlorophylle (0,5 à 1% de la matière sèche) qui est le pigment photosynthétique primaire chez toutes les algues photosynthétiques, on trouve toute une gamme de pigments supplémentaires de type caroténoïdes (0,1 à 0,2% de la matière sèche) et phycobiliprotéines (phycoérythrine et phycocyanine).

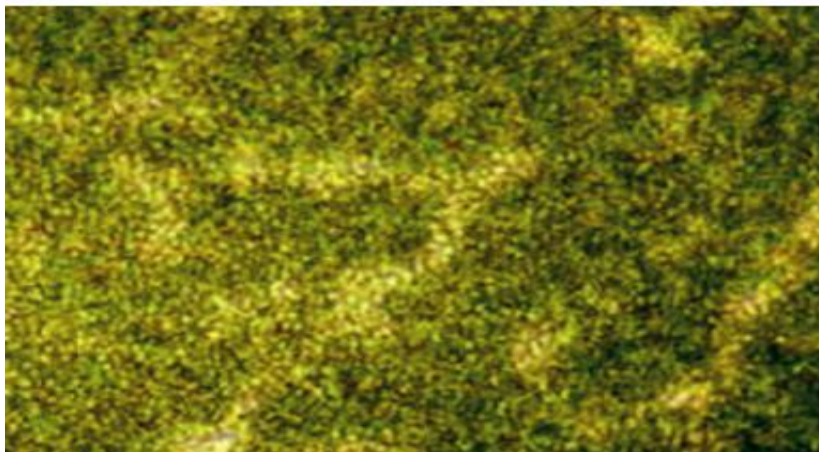
Le contenu élevé en protéines, peptides et acides aminés (entre 12 et 65% de matière sèche) de plusieurs espèces de micro-algues est une des principales raisons pour les considérer comme une source non conventionnelle de protéines dans l'alimentation humaine et animale (pisciculture). Les micro-algues peuvent accumuler plus de 80% de leur poids sec en lipide (Liu et al, 2008).

### I.4.Espèces cultivées:

Les espèces de microalgues exploitées commercialement sont actuellement peu nombreuses, celles-ci se bornent au nombre réduit d'espèces cultivables dans des grands systèmes de culture ouverte, il s'agit d'espèces ayant de grands taux de croissance et très adaptées aux conditions qui limitent la croissance d'autres microorganismes, parmi ces espèces on peut remarquer les suivantes;

### A. *Chlorella* :

A été la première espèce de micro-algue verte à être isolée et cultivée. Elle se produit, fondamentalement, dans des bassins de culture à ciel ouvert. Néanmoins, actuellement il y a de plus en plus d'exploitations de cultures dans des photo-bioréacteurs fermés, et même dans des fermenteurs de croissance hétérotrophique. À ce genre appartiennent, généralement, des espèces dulçaquicoles. Elles sont capables de maintenir des taux élevés de croissance dans des systèmes ouverts, et constituent un polluant habituel dans des cultures intensives d'autres espèces. Leurs applications fondamentales sont le développement d'aliments fonctionnels ou la diététique humaine. Néanmoins, leurs usages ont été très variés : depuis la nutrition animale jusqu'au traitement des eaux résiduaires. Le marché mondial pour cette espèce peut être estimé à environ 2.000 tonnes annuelles, essentiellement dans des pays industrialisés.



**Figure I-3- Culture de haute densité de *Chlorella pyrenoidosa* (x200)**

### B. *Spirulina* :

Constitue actuellement une des espèces la plus cultivée. Il s'agit d'une *cyanobactérie* filamenteuse capable de maintenir des taux de croissance élevés dans des milieux alcalins qui limitent la croissance d'espèces polluantes. Ceci permet l'exploitation dans des systèmes semi-extensifs dans des grands lacs où cette micro-algue pousse naturellement. L'intérêt de cultiver cette espèce repose sur ses teneurs élevées en protéines, pouvant représenter jusqu'à 60% du poids sec, et en vitamines variées. Actuellement, il s'agit de l'une des espèces de micro-algues La plus demandée commercialement et nombreuses sont les entreprises dédiées à cette production. On estime une demande annuelle dans les pays industrialisés d'environ 3.000 tonnes.

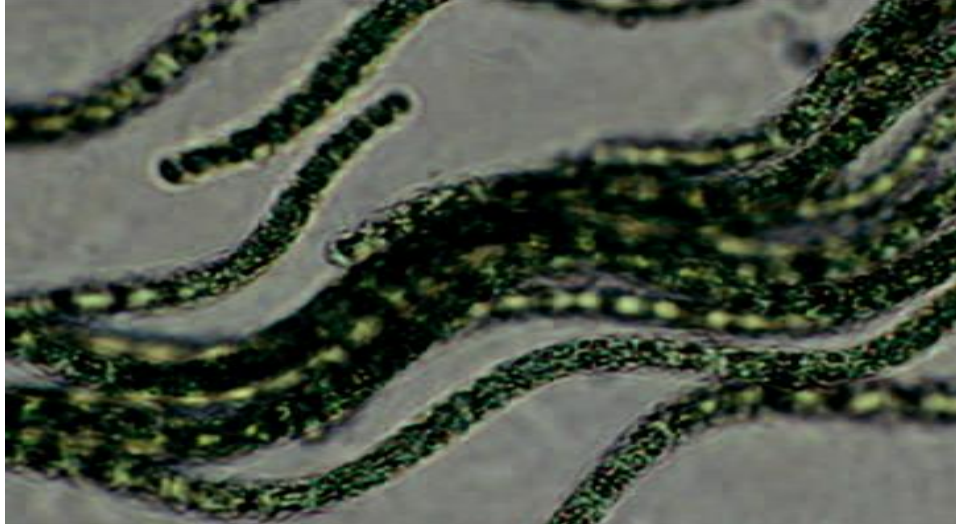


Figure I-4.- *Spirulina* sp. (x400)

### C. *Dunaliella salina*:

Est une algue verte unicellulaire (**Oren, 2005**), bi-flagellé (**Borowitzka, 1990**), qui se développe spontanément dans les milieux lagunaires très salés. Sa taille varie entre 16 et 24  $\mu\text{m}$  de long et entre 10 et 15  $\mu\text{m}$  de large (**Cadore et Bernard, 2008**). Elle produit une couleur distincte rose et rouge souvent caractéristique des mares salines (**Oren et Rodriguez, 2001**) et se caractérise par ses capacités à se protéger des espèces invasives (**Chabert, 2011**).

C'est une espèce unique de micro-algues qui a évolué pour vivre dans des conditions environnementales extrêmes. Elle est considérée comme une extrémophile (**Rothschild et Mancinelli, 2005**).



Figure I-5.- *Dunaliella salina* (x400)

# **CHAPITRE II**

**Culture d'algues et méthode de collecte**



## II.1. Culture des microalgues;

La production de microalgues est en forte augmentation à travers le monde. La production annuelle est estimée à 6 000 tonnes par an de matière sèche (**Pulz, 2001**). La culture des microalgues à grande échelle peut être conduite selon deux modes, soit à l'aide de bassins ouverts à haut rendement, le Raceway ou dans une enceinte transparente fermée utilisant la lumière naturelle ou artificielle, le photobioréacteur.

### II.1. 1. Culture en milieu ouvert (bassins, Raceway)

Les systèmes de culture en milieu ouvert (bassins, Raceway) sont des étangs de recirculation en boucle fermée avec une profondeur de quelques dizaines de centimètres. Ce sont des technologies simples et présentant peu d'investissement initial, Le mélange et la circulation du milieu sont possibles grâce à une roue à aube : le flux est guidé par la vitesse de rotation de cette roue. Un bullage permet un apport en CO<sub>2</sub> mais le transfert dans la phase liquide est souvent compliqué à cause de la faible profondeur des bassins. La température du milieu fluctue selon les cycles diurnes (nuit) et saisonniers. Toutefois peu d'espèces de micro-algues peuvent être cultivées en milieu ouvert de manière mono-spécifique. Pour toute culture selon ce mode, la principale contrainte est le risque de contamination par d'autres espèces de micro-algues ou d'autres micro-organismes comme des bactéries. C'est pourquoi, les cultures actuelles se faisant à ciel ouvert concernent des espèces de micro-algues poussant dans des milieux très sélectifs telles que *Dunaliella salina* qui se développe en milieu hypersalin. Les rendements atteints avec ces systèmes ne sont pas optimaux à cause de la difficulté à contrôler les facteurs environnementaux (hauteur de la lame d'eau, échauffement du bassin, phénomènes d'évaporation, etc...). La concentration en biomasse pour ce type de culture est généralement peu élevée car l'agitation du milieu est faible et des zones non agitées peuvent subsister.

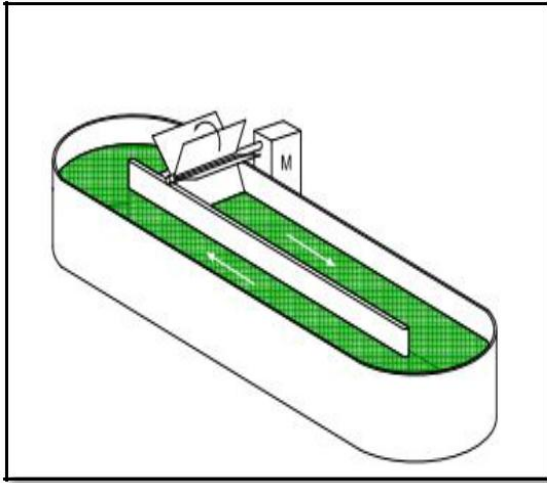


Figure II-6: Schéma d'un système de culture bassin Raceway



Figure II-7: Photographie aérienne des bassins de type Raceway

### II.1. 2. Culture en milieu fermé (photobioréacteur)

Le photo-bioréacteur tubulaire (PBR) est une association de plusieurs tubes transparents en plastique ou en verre. La source de lumière peut être naturelle ou artificielle. Les tubes sont généralement de 10 cm de diamètre, facilitant la pénétration de la lumière à l'intérieur du tube. Ce milieu clos et hermétique évite les contaminations extérieures et permet la production de biomasse à large échelle (Carvalho et al., 2006; Pulz, 2001). L'injection d'air permet de fournir du carbone sous forme de CO<sub>2</sub>. La suspension microalgale circule du réservoir jusqu'aux tubes qui vont capter la lumière puis des tubes vers le réservoir ; la culture se fait de façon continue. Dans le cas de la lumière naturelle, l'arrangement des tubes se fait souvent du nord vers le sud pour assurer un ensoleillement maximal et parallèle ou horizontal pour que chaque tube puisse recevoir le même taux d'ensoleillement (Sánchez Mirón et al., 1999).

La lumière artificielle des PBR est techniquement réalisable mais elle représente un coût important comparé à la lumière naturelle. Le contrôle de la température est un élément important à prendre en compte pour les photo-bioréacteurs. Un système d'échangeur de chaleur est nécessaire pour refroidir le milieu de culture qui est recyclé. Les systèmes fermés permettent d'exploiter une gamme de micro-algues plus larges, d'atteindre de meilleurs rendements et de s'affranchir des problèmes de contaminations. Les coûts de production via cette méthode sont cependant beaucoup plus élevés qu'en bassin ouvert. Ce mode de culture est réservé aux micro-algues à hautes valeurs ajoutées.

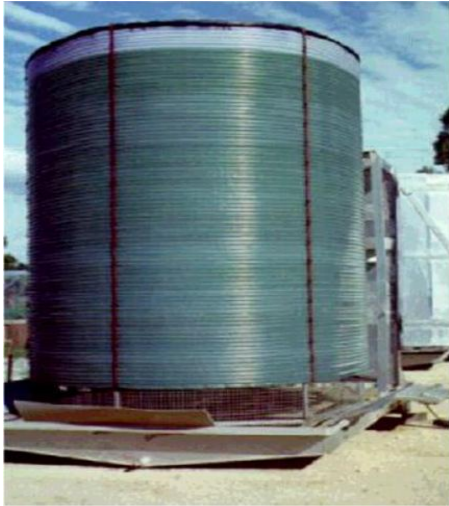
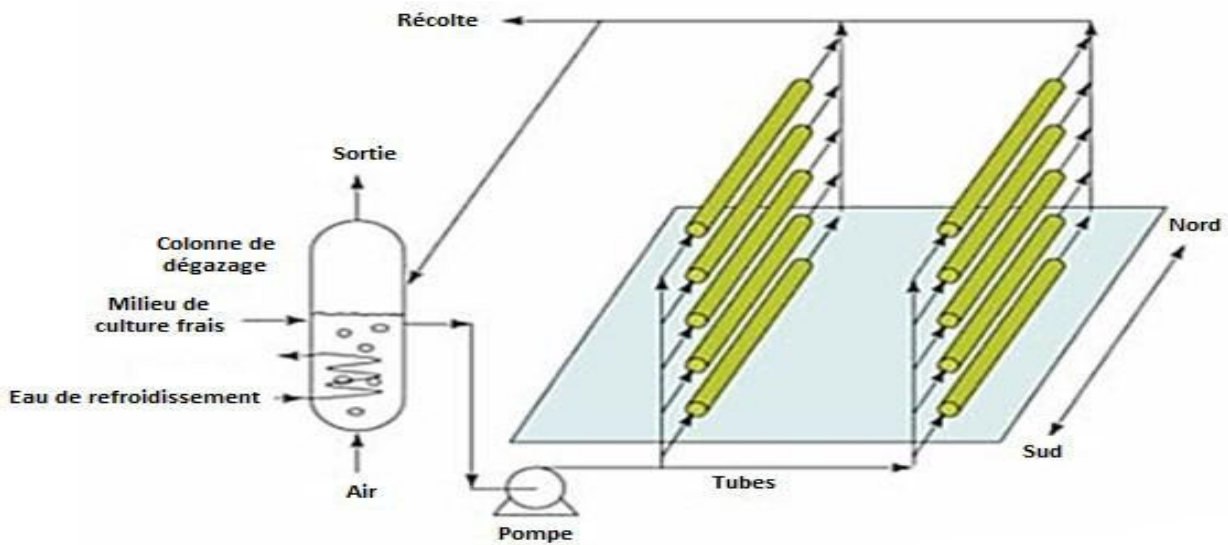


Figure II-8: Photographies de différentes installations de PBR tubulaires.

A gauche : PBR hélicoïdal, vertical Murdoch Université, Australie (Chisti, 2007).

A droite : PBR tubulaire horizontal immergé dans l'eau, Solix's Lumian™ Algae Growth System



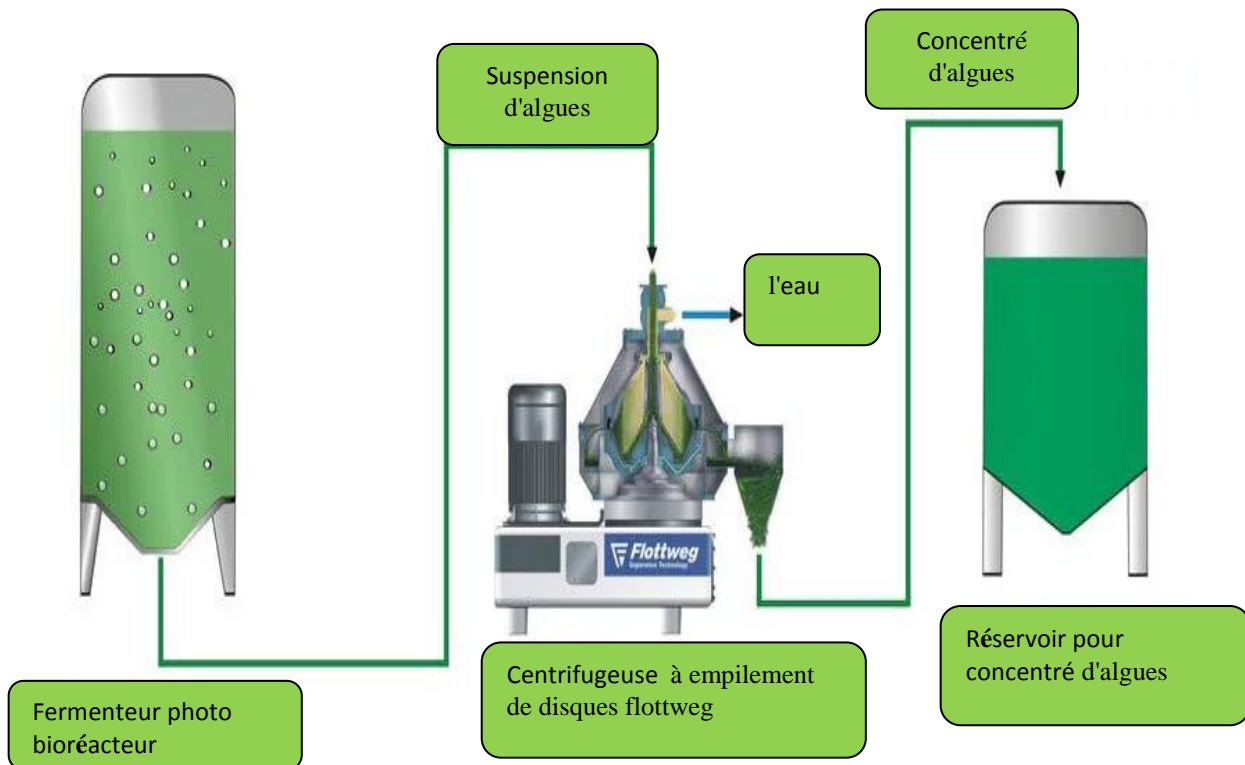
FigureII-9: Schéma de principe d'un PBR

## II.2. Récolte des micro-algues :

La récolte est une étape limitante de nombreuses voies de valorisation des micro-algues. En effet, les micro-algues ont une taille le plus souvent de l'ordre du micron et leur récolte n'est pas aisée. Cette étape peut s'avérer coûteuse et représenter une part économique importante dans le coût d'un procédé à échelle industrielle (Mata et al., 2010). La récolte peut se faire par centrifugation, filtration, floculation, sédimentation ou flottation.

### II.2.1. La centrifugation:

Cette technique de concentration utilise la force centripète afin de permettre la séparation des micro-algues avec le milieu de culture par simple différence de densité. Selon (Park et al. 2011), la centrifugation est efficace à 90% et le taux de récupération est directement lié au débit fixé en amont. Cette méthode est rapide et efficace, et représente une des méthodes les plus utilisées à l'échelle industrielle. Cependant, cette méthode est coûteuse en énergie ce qui la rend difficilement réalisable économiquement (Rawat et al., 2011). De plus, l'exposition des cellules à cette force centripète peut également les endommager (C.-Y. Chen et al., 2011).



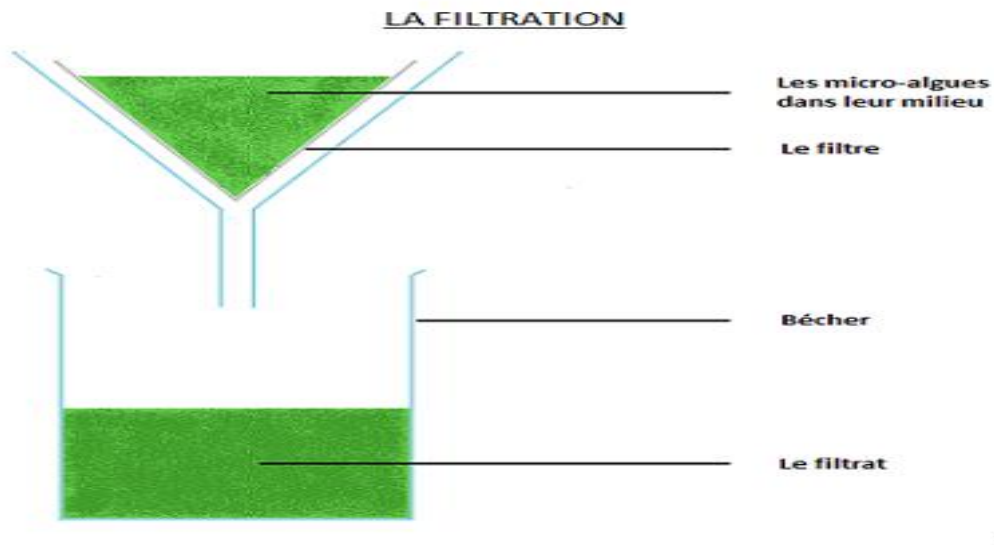
FigureII-10: Schéma d' opération du centrifugation

### II.2.2. La sédimentation:

La sédimentation est une technique qui repose sur le principe de gravité. Les cellules en suspension dans le milieu vont être soumises à la gravité et vont former dans la partie inférieure un dépôt de particules solides et dans la partie supérieure une phase liquide. Les micro-algues de grande taille et de forte densité vont pouvoir être récoltées par sédimentation comme par exemple la spiruline. La vitesse de sédimentation peut être nettement améliorée grâce à l'ajout de flocculants (C.-Y. Chen et al., 2011; Uduman et al., 2010).

### II.2.3. La filtration:

Dans cette méthode, la suspension micro-algale passe au travers d'un filtre, en ne retenant que les cellules. Il existe différentes formes de filtration ; la microfiltration, la filtration sous vide, sous pression, l'ultrafiltration et la filtration à flux tangentiel. Le choix du type de filtration sera dépendant de la taille de l'espèce à récolter. En dépit d'être des méthodes de récoltes attractives, d'un point de vue énergétique, la microfiltration et la filtration sous vide sont coûteuses en énergie. Le pompage de la biomasse demande une dépense énergétique élevée ainsi que le remplacement des membranes souvent victimes de colmatage.



FigureII-11: Schéma d'opération du filtration

### II.2.4. La floculation:

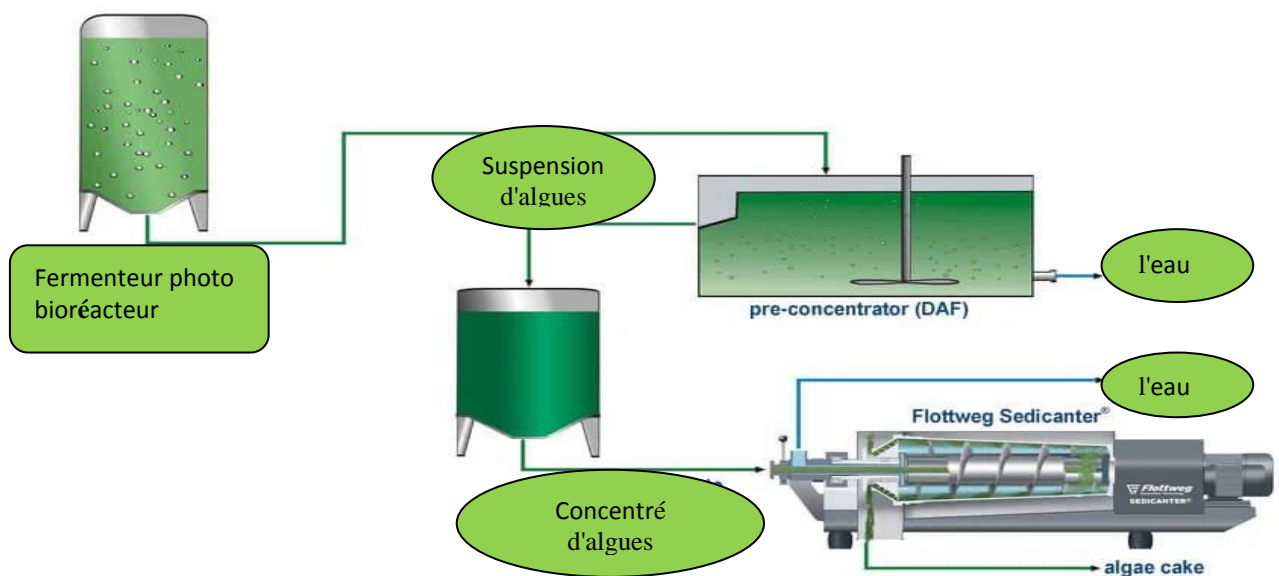
La floculation est un procédé dans lequel les particules en solution se rejoignent afin de former des agrégats appelés « floccs » (Uduman et al., 2010). Lorsque la floculation est combinée à la sédimentation ou à la filtration son efficacité est nettement augmentée (Rawat et al., 2011).

### II.2.5. La flottation:

La flottation est un procédé basé sur la gravité, dans lequel des bulles de gaz sont liées aux particules solides (cellules micro-algales) leur permettant ainsi de « flotter » à la surface. Des études ont montrées que le système de flottation pour la récolte des micro-algues était une méthode efficace pour les cellules de petites tailles comme *Nannochloropsis oculata* (Rawat et al., 2011). Il existe la flottation à air dissout et la flottation à air dispersé (C.-Y. Chen et al., 2011).

Dans le procédé de flottation à air dissout, les bulles d'air ont une taille réduite de 10 à 100  $\mu\text{m}$  (C.-Y. Chen et al., 2011). Les bulles d'air passent à travers le milieu, adhèrent entre elles, se lient sur les particules et ainsi augmentent leur flottabilité, et créent des « floccs » à la surface où une zone de « compactage » est formée (Park et al., 2011).

Dans le procédé de flottation à air dispersé, une injection d'air et une forte agitation forment des bulles de 700-1500  $\mu\text{m}$  à l'intérieur du milieu. Ces bulles vont « réagir » avec les charges négatives des cellules de micro-algues (C.-Y. Chen et al., 2011). Cette technique peut être améliorée avec l'ajout de surfactants cationiques qui vont amener au milieu une charge positive (Rawat et al., 2011).



FigureII-12: Schéma d'opération de la flottation

Puisque cette étude se déroule dans les zones désertiques ; les panneaux solaires peuvent également être utilisés pour réduire les coûts lors de l'utilisation d'une méthode électrochimique, comme l'électro flocculation, électrocoagulation et électro flottation.

### **II.2.6. Éctrofloculation :**

L'électrofloculation se base sur le principe de mouvement des particules chargées dans un champ électrique. Elle consiste à faire perdre la charge de surface négative des algues, par attraction vers l'anode (+), et contact avec cette dernière, pour faciliter l'agrégation des algues. On ne sacrifie pas l'anode, contrairement à l'électrocoagulation, mais dans certaines conditions, un encrassement de la cathode par des précipités de calcium et magnésium peut réduire les performances du procédé. Dans la même étude, on constate que plus la tension appliquée est importante plus la séparation est rapide, mais de fortes tensions entraînent de fortes consommations énergétiques. La réduction des coûts énergétiques passe aussi par une diminution de la surface des électrodes et par une augmentation de la distance cathode/anode. Il s'agit de trouver le compromis entre efficacité de séparation et coûts.

### **II.2.7. Électrocoagulation :**

L'électrocoagulation s'appuie sur la libération d'ions métalliques par oxydoréduction lors du passage d'un courant dans des électrodes à base de Fe ou d'Al. La libération des ions métalliques (coagulants) s'effectue à l'anode tandis que de l'hydrogène est libéré à la cathode. Les coagulants déstabilisent la suspension algale par la réduction de leur potentiel zêta et permettent l'agrégation des algues comme dans le cas d'une coagulation chimique.

### **II.2.8. L'électro flottation :**

Ce procédé consiste à faire remonter à la surface de l'eau les matières en suspension grâce à des bulles en gaz. Dans le cas de l'électro flottation c'est l'hydrogène à la cathode. Pour faciliter les opérations on ajoute de petites quantités de produits coagulants (sels métalliques) ou tensioactifs (qui sont déjà présent dans les eaux usées) .

# Partie Pratique



# **CHAPITRE III**

**Etude faisabilité économique de la culture de  
microalgues**

#### Introduction:

Spiruline, ou ce qui était le plus probable *Arthrospira*, a été redécouvert au milieu des années 1960 (Avigad, 2002). Spiruline est le nom commercial des cyanobactéries alimentaires qui appartiennent au genre *Arthrospira* (Jean-Paul *et al*, 2016). C'est une microalgue *photosynthétique* filamenteuse, à forme hélicoïdale, multicellulaire et verte-bleue (Sanchez *et al*, 2003) qui pousse vigoureusement sous un fort rayon de soleil sous des températures élevées et des conditions hautement alcalines (Habib *et al*, 2008 ; Akbarnezhad M *et al* 2016). Elle possède une grande adaptabilité morphologique et dimensionnelle liée aux milieux de culture (Zarrouk., 1966 ; Dansou D, 2002; Saggai, 2008). Bien qu'elle ait été isolée pour la première fois par Tuppin en 1827 du cours d'eau douce, des espèces de Spirulina (*Spirulina platensis*, *Spirulina Maxima*, *Spirulina fusiformes*) ont été trouvés dans divers milieux: sol, sable, marais, eau saumâtre, eau de mer et eau douce. (Gershwin *et Amha* ,2008). La première étude systématique et détaillée des besoins de croissance et de la physiologie de la Spiruline a été réalisée par Zarrouk en 1966 (Avigad, 2002).

Cette dernière a été utilisée traditionnellement depuis plusieurs de centaines d'années par certaines populations primitives d'Afrique et du Mexique et connue depuis les années soixante pour ses propriétés alimentaires (sa richesse en protéines, bêta-carotène (précurseur de la vitamine A), en fer, en vitamine B12, et en acides gras) (Sall *et al*, 1999 ; Al-Homaidan *et al.*, 2013 ; Benahmed *et al*, 2014). Selon Hacene *et al*, (2004). L'isolement de la spiruline au lac d'El Goléa et d'Ain Salah situées au sud de l'Algérie a développé une culture artificielle de *Spirulina platensis* au niveau de Tamanrasset mais la quantité produite reste insuffisante pour couvrir les besoins du marché local. (Benahmed, 2014).

La Spiruline a été consommée depuis longtemps dans de nombreuses régions du monde en tant que complément alimentaire par les humains et les animaux sous diverses formes comme telles que des boissons, des comprimés et des poudres....etc.

La spiruline est connue pour être la source la plus riche de protéines, vitamines. D'acides aminés, de minéraux et d'autres nutriments. Il est considéré comme une précieuse source alimentaire supplémentaire de macro et de micronutriments incluant des protéines de haute qualité, des acides gras gamma-linoléniques, des caroténoïdes, des vitamines B1 et B2. Il est également utilisé pour le dérivé des additifs dans les produits pharmaceutiques et les aliments et peut être utilisée pour traiter les enfants souffrant de malnutrition (Gershwin *et Amha*, 2008 ; Mahavir *et al.*, 2014). Il a été considéré comme «Aliment du futur» et un aliment idéal pour les astronautes par la NASA (Pandey *et Tiwari*, 2010).

### III.1. Présentation de l'étude

Le but de cette étude est :

- ❖ étude de l'efficacité ou non de la production d'algues dans le sud algérien.
- ❖ Préserver l'environnement.
- ❖ Contribuer à la relance économique

## Etude de faisabilité sur la culture d'algues

### Données de réussite

#### Éléments des coûts

Tranches de consommation

Coût de travail

Chiffre d'affaires attendu

Fournitures et matériaux annuels

Charges financières

Coûts énergétiques

#### Coûts d'investissement

Autres coûts d'investissement

Les machines et outils

Bâtiments et construction

Sources de financement

Frais d'établissement

Fonds de roulement

### Rapports et sorties

Evaluation du projet

Liste de flux de trésorerie

Coûts d'exploitation totaux

Les coûts d'investissement

### **III.2. Faisabilité technique :**

L'étude de faisabilité doit dimensionner techniquement une installation, puis évaluer sa pertinence économique. Pour se faire les hypothèses doivent être chiffrées. Cette étape est aussi un moyen d'identifier les seuils critiques techniques et économiques par des simulations.

#### **III.2.1. BASES TECHNIQUES DE LA PRODUCTION :**

L'environnement doit comprendre une zone de température convenant à la plante, de la lumière fournissant l'énergie pour la photosynthèse, et de l'eau ; avec en plus, en algoculture, un certain mouvement de l'eau pour assurer une répartition moyenne de la lumière et des éléments nutritifs. Un équilibre acido-basique et un pH favorables à la plante doit être maintenu, un rythme de récolte et d'ajout d'éléments nutritifs doit être établi et la culture doit se faire dans un système ou un bassin convenablement conçu.

Dans le cas de la spiruline, la croissance optimale est obtenue pour une température de 28° à 40 (Dansou, 2002;charpy et al .,2008) ,avec une population dense, un ensoleillement généreux, un pH de 8.5 à 11.5 ; les éléments nutritifs essentiels doivent être en quantité suffisante, l'eau doit être suffisamment agitée.

Une intensité lumineuse élevée sans agitation conduit à la photolyse des microalgues. Une forte intensité lumineuse conjuguée avec une forte agitation donne la croissance optimale, tous les filaments reçoivent des charges de lumière fréquentes et sont ensuite rapidement protégés d'une exposition trop longue par les autres filaments. En lumière et agitation faibles, la croissance est lente, mais la pigmentation plus marquée, c'est-à-dire que la couleur est d'un vert plus foncé et le bleu de *la phycocyanine* apparaît (Fox, 1999).

Le CO<sub>2</sub> étant moins soluble dans l'eau chaude que dans l'eau froide, l'élévation de la température réduit son taux, limitant la croissance. Une température trop basse réduit aussi la croissance. Donc, dans la zone de 34 à 40°C, l'addition de CO<sub>2</sub> stimule la croissance.

Un pH élevé est alcalin. L'addition de CO<sub>2</sub> forme de l'acide carbonique, qui baisse le pH. En absorbant le CO<sub>2</sub> par photosynthèse, les algues remontent le pH. Le pH optimum pour la croissance de la spiruline est autour de 9.5 (Dansou, 2002;charpy et al .,2008)

#### **III.2.2.Le milieu de culture :**

Les spirulines poussent dans une eau à la fois salée et alcaline. L'eau utilisée pour le milieu de culture doit être de préférence potable (toutefois sans excès de chlore à défaut de tuer les algues) ou au moins filtrée, le plus important étant l'élimination des algues étrangères. Une eau dure produira des boues minérales (plus ou moins abondantes selon la teneur en calcium, magnésium et fer), qui décantent rapidement et n'encombrent pas particulièrement la culture, à condition que l'ensemencement initial en spirulines soit assez concentré. La composition des

milieux de culture peut varier énormément, selon la disponibilité des produits chimiques nécessaires à leur élaboration.

Les limites de salinité et d'alcalinité permises sont généralement assez larges mais on se place souvent vers les minima, cela pour des raisons d'économie et de productivité, avec une salinité totale de 13 g/l ; lorsque le carbone est apporté par le bicarbonate, on a intérêt à travailler à forte alcalinité pour réduire le volume des purges (Jourdan, 1997).

L'alcalinité est habituellement apportée par du bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ), mais ce dernier peut être remplacé en partie par de la soude caustique ou du carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) pour relever le pH initial du milieu de culture (par exemple 5 g/l de bicarbonate + 1,6 g/l de soude donnent un pH de 10) ; le carbonate ou la soude peuvent même être la seule source d'alcalinité à condition de les transformer en bicarbonates par addition de  $\text{CO}_2$  ou par exposition à l'air avant usage. La salinité complémentaire est apportée par les différents engrais et du chlorure de sodium. Le sel de cuisine iodé et fluoré peut convenir mais souvent il contient jusqu'à 2 % de magnésie insoluble : mieux vaut utiliser un sel n'en contenant pas ; par contre l'emploi d'un sel peu raffiné est recommandé à cause de sa teneur en oligo-éléments. Si le sel apporte trop de magnésium, il y aura floculation de sels minéraux insolubles, surtout à pH assez élevé, ce qui peut être très gênant pour une culture qu'on ensemence peu concentrée en spiruline : celle-ci est en effet facilement entraînée par les flocculants et tombe au fond sans qu'on puisse la récupérer. C'est aussi pour cette raison que l'on évite l'addition de calcium lors d'un lancement de nouvelle culture. En plus du sel et de la soude, le milieu de culture contient des engrais pour assurer la croissance des spirulines comme en agriculture habituelle : l'azote, le phosphore, le potassium sont les éléments classiques, mais le soufre, le magnésium, le calcium et le fer doivent aussi être ajoutés s'ils ne sont pas apportés en quantité suffisante par l'eau, le sel et les engrais. Une analyse préparatoire de l'eau et du sel est utile pour calculer la dose de Mg, Ca et Fe à ajouter car un excès de ces éléments est nocif (perte de phosphore, floculation). L'eau, le sel et les engrais apportent généralement assez de micro-éléments (bore, zinc, cobalt, molybdène, cuivre, etc.).

Les sources d'azote préférées des spirulines sont l'ammoniac et l'urée, mais ces produits sont toxiques au-delà d'une concentration limite à respecter impérativement. C'est pourquoi on préfère souvent, au moins lors de la préparation du milieu de culture, utiliser un nitrate que l'on peut mettre à forte dose, constituant une réserve d'azote à long terme. Les spirulines consommeront d'abord l'ammoniac ou l'urée s'il y en a de disponibles. Une odeur persistante et forte indique qu'on a dépassé la limite en ammoniac et qu'il faut s'attendre à un mauvais état de la culture, passager ou irréversible selon la dose d'ammoniac présent (Jourdan, 1997).

Le milieu Zarrouk, référence dans ce domaine, présente la composition suivante (Fox, 1999 ; Jourdan, 1997):

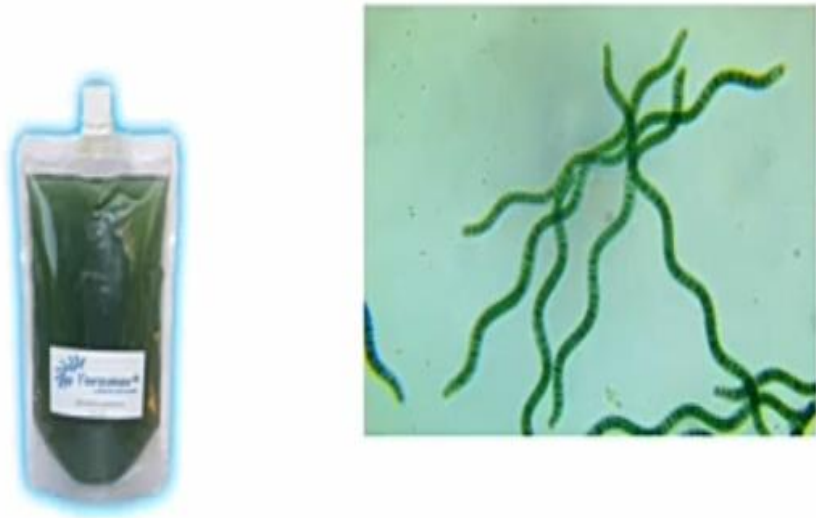
**Tableau III.1 Le milieu Zarrouk**

<b>Le milieu Zarrouk</b>	
<b>COMPOSITION DU MILIEU DE BASE (en g/l de solution aqueuse)</b>	
NaHCO <sub>3</sub>	16.8
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.5
NaNO <sub>3</sub>	2.5
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.0
NaCl	1.0
MgSO <sub>4</sub> , 7 H <sub>2</sub> O	0.2
CaCl <sub>2</sub>	0.04
FeSO <sub>4</sub> , 7 H <sub>2</sub> O	0.01
EDTA (Éthylène diamine tétra acétique)	0.08
1ml de A <sub>5</sub> + 1ml de B <sub>6</sub> 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>	2.86
MnCl <sub>2</sub> , 4 H <sub>2</sub> O	1.81
ZnSO <sub>4</sub> , 7 H <sub>2</sub> O	0.22
CuSO <sub>4</sub> , 5 H <sub>2</sub> O	0.08
MoO <sub>3</sub>	0.015
<b>COMPOSITION DE LA SOLUTION B6 (en mg/l)</b>	
NH <sub>4</sub> VO <sub>3</sub>	22.9
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> , 24 H <sub>2</sub> O	96.0
NiSO <sub>4</sub> , 7 H <sub>2</sub> O	47.8
Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> , 2 H <sub>2</sub> O	17.9
Ti <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	40.0
Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , 6 H <sub>2</sub> O	44.0

Ce milieu présente l'intérêt de s'adapter à presque toutes les souches de spiruline et simplifie considérablement le travail de l'algoculteur. Toutefois, ses constituants sont chers et ne sont pas toujours faciles à trouver. Plusieurs alternatives offrent des rendements satisfaisants ; nous ne pourrions pas les détailler tous, mais il faut savoir qu'on peut utiliser la lessive de cendres de bois ou encore le bicarbonate naturel (natron) additionnés d'urine ou de nitrate de Chili comme milieux de culture (Jourdan, 1997).

**Matières premières pour la production de spiruline;**

**Matière vivante:** souche de spiruline (*Arthrospira platensis*)



**Figure III-13 souche de spiruline**

**III.2.3.Lumière et agitation:**

Comme en diminuant l'éclairement on diminue aussi la photosynthèse totale, il faut si possible éviter la photolyse autrement. Deux conditions sont nécessaires. Primo, ensemercer le bassin avec assez d'algues pour que la lumière ne puisse pas atteindre le fond du bassin. La vérification peut se faire avec un simple disque de Secchi. Secundo, agiter suffisamment la culture pour que les filaments individuels ne restent pas plus d'une demi-minute à la surface en plein soleil, mais plongent et remontent fréquemment. Les roues à aubes constituent les systèmes d'agitation les plus utilisés; le but est de remuer l'eau et non de créer un dénivellement comme on le croit généralement (Fox, 1999).

L'emploi de longues roues à aubes flottantes est tout à fait possible dans de grand bassins peu profonds, car plus le bassin est grand, plus il est difficile de maintenir une roue à aubes conventionnelle. Au-delà de 4 à 5 m de longueur, il faut un palier intermédiaire qui sera dans le courant. Avec un bassin garni d'un film plastique, c'est difficile à réaliser en gardant l'étanchéité. La solution des longues roues est moins chère et demande moins d'énergie. (Fox, 1999).

#### **III.2.4. SUIVI DES CULTURES :**

Le diagnostic des couleurs fournit généralement une bonne appréciation de l'état de la culture (Fox, 1999). Une couleur pâlie indique souvent un manque d'azote fixé et/ou de CO<sub>2</sub>. Et aussi, que du magnésium est nécessaire. Si l'examen au microscope ne montre qu'une couleur pâlie, il faut vérifier le pH. Au delà de 10.5, il y a manque de CO<sub>2</sub> (ou de bicarbonate). Une couleur pâlie, surtout manquant de pigment bleu (phycocyanine), avec un pH en dessous de 10.5, indique le manque d'azote fixé.

Si, sous forte lumière, la culture est jaune ou vert-olive, il y a photolyse, ou destruction de la chlorophylle. Dans les conditions les plus sévères : forte intensité lumineuse, sursaturation en oxygène et faible température, on peut perdre la culture en quelques heures. Une agitation renforcée peut réduire la concentration en oxygène et si possible la culture doit être ombragée. Quand la lumière est très intense, il faudra aussi une température élevée (vers 38°C), une population dense et une forte agitation (turbulence) de la culture. Ces conditions favorisent la meilleure productivité.

Une couleur jaunâtre avec écume peut signifier que les parois des cellules sont rompues, en expulsant des polysaccharides dans l'eau. Là aussi, il faut ombrager. Pour de petits bassins, on peut employer du filet plastique noir comme dans les serres horticoles, ou du tissu, ou des feuilles de palmier. On peut aussi abaisser le pH en jouant sur le CO<sub>2</sub> ou le bicarbonate et ajouter de l'azote fixé et du potassium. Les grands bassins peuvent être protégés de la lumière par une agitation renforcée, qui, à la fois, renvoie plus de lumière et amène plus souvent les algues du fond à la surface pour protéger celles qui y sont.

Si la culture est jaunâtre sur un fond d'eau grisâtre ou laiteux, les algues souffrent d'un défaut de carbone et peut-être d'azote, et de plus il y a beaucoup de bactéries.

Normalement les bactéries n'attaquent pas les algues, surtout si le brassage est rapide (mais pas trop pour briser les filaments).

Quand il n'y a plus de polysaccharides pour les bactéries, elles meurent.

S'il n'y a pas de couleur, les algues sont piégées dans des amas de polysaccharides et entraînées au fond ou prises dans des cristaux de carbonate de calcium ou de phosphate. Ou peut-être ont-elles été dévorées par des prédateurs : larves de moustiques, larves d'Ephydra (mouche des marais salés), protozoaires tels l'amibe et les rotifères. Il n'y a rien d'autre à faire que de nettoyer le bassin et recommencer. Moins de filaments peut être le signe d'une récolte trop poussée : le poids journalier de la récolte doit être constant ou en augmentation.

Une culture de microorganismes en plein air est facilement envahie par d'autres microorganismes apportés soit par l'air, soit par l'eau ; Organismes fixés sur des poussières amenées par le vent, insectes, mains et pieds du personnel, excréments d'insectes ou d'oiseaux,



etc. L'algoculteur doit toujours garder un œil sur les contaminants que sont les bactéries, les autres microalgues, les protozoaires et les larves d'insectes. D'où la nécessité d'avoir un petit laboratoire de contrôle.

### **III.2.5.Exigences physiologiques de la spiruline**

En milieu naturel, une colonie de spiruline se développe selon 4 phases : ensemencement ou colonisation, développement, maintien, déclin.

#### **A. Phase de latence :**

La phase de latence correspond à la période où le microorganisme s'adapte au milieu, la vitesse de croissance durant cette période est quasi nulle.

#### **B. Phase d'accélération**

Par la suite, l'augmentation était rapide du 3<sup>ème</sup> au 7<sup>ème</sup> jour. Les cellules ont accumulé suffisamment de composés intracellulaires et ont doublé leur matériel génétique

#### **C. Phase exponentielle :**

C'est la phase où la vitesse de croissance est à son maximum et est constante. Les microorganismes se multiplient et la mortalité est faible.

#### **D. Phase stationnaire :**

Durant cette phase, la capacité du milieu est atteinte, la croissance est nulle, le taux de reproduction est égal au taux de mortalité.

#### **E. Phase de déclin :**

Les microorganismes meurent et ne se reproduisent plus.

En culture, l'objectif est de lever les facteurs limitants pour optimiser la phase de développement, puis de récolter sans prolonger la phase stationnaire pendant laquelle la colonie se maintient.

Selon les installations, plusieurs stratégies sont envisageables : un prélèvement en continu ou un fonctionnement en discontinu (selon les saisons ou « par bande »), voire un mixte avec la préparation des colonies souches en continu avant un ensemencement des bassins de production, selon la saison

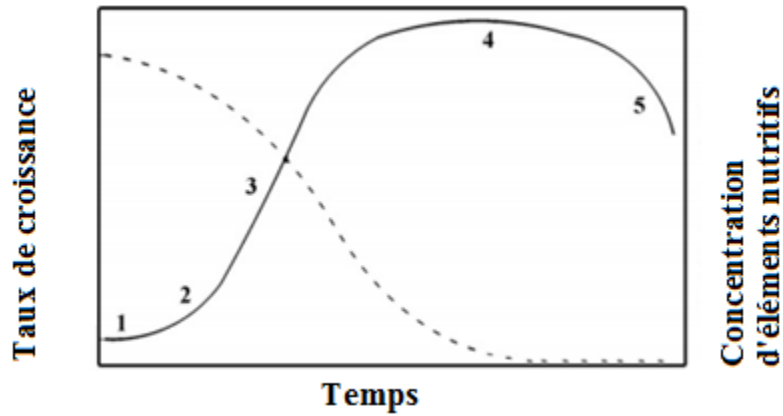


Figure III-14: Les phases de croissance des microorganismes (D'après FAO,1996)

### III.2.5.1. Contaminations, couverture des bassins et mort subite

De par son milieu de culture très alcalin, la spiruline est protégée des contaminations de la plupart des autres algues ou d'autres micro-organismes. Ce milieu particulier rend la culture accessible et moins difficile que celle d'autres microalgues.

Cependant, la spiruline est un organisme chélateur, qui aura tendance à accumuler les métaux lourds, si le milieu et notamment l'eau en fournissent.

Enfin, il faudra faire attention aux contaminations externes après récoltes, notamment d'origines humaines ou ani-males, avec les précautions exigées pour toutes productions alimentaires.

### III.2.5.2. Inhibitions et facteurs limitants de croissance :

La température, le pH et la concentration en oxygène constituent 3 facteurs d'inhibition absolue et par suite, l'arrêt de la croissance et le déclin de la colonie. La température et le pH sont des caractéristiques du milieu de culture. La concentration en oxygène résulte de l'activité photosynthétique (captage du  $\text{CO}_2$  et relargage d' $\text{O}_2$ ). Plus la culture est active, plus la production d'oxygène est importante.

Les facteurs d'inhibition de la croissance changent avec les saisons ; en hiver, la température bloque le développement de la spiruline. En été, la lumière devient le facteur limitant, à condition que la température ne soit pas trop élevée. Dans ce cas, il y a un phénomène de photoinhibition qui bloque la photosynthèse. Il faut donc ajuster la lumière reçue par chaque spiruline. C'est une des fonctions du brassage. Il facilitera aussi les échanges gazeux.

Le mélange va limiter la stratification des algues et homogénéiser la composition du milieu et donc l'accès aux nutriments.

Le suivi et l'ajustement du milieu de culture sont nécessaires, la température, l'ensoleillement et donc l'irradiation vont fortement varier selon les saisons et la latitude ; la production de spiruline et la consommation de nutriments en conséquence.

Une autre exigence est de compenser l'évaporation de l'eau, ce qui exige d'avoir une ressource en eau de qualité stable et disponible (autour de 2,5 m<sup>3</sup>/kg MS )

Une complexité supplémentaire est de gérer les transitions saisonnières avec des interactions entre les différents facteurs qui ne sont pas complètement connus, d'où une capacité d'observation de la culture pour juger du comportement de la colonie.

### **III.3. Modèle d'étude**

#### **III.3.1. Milieu ouvert ou Raceway :**

##### **❖ Construction Bassin Rasway:**

Un bassin extérieur de canalisation d'algues a été construit avec.

**-L'épaisseur du mur de 25 cm.**

Les dimensions intérieures de bassin étaient tels que la

**-Longueur était de 4,26 m**

**-Largeur était de 1,8 m.**

**-La profondeur de bassin a été maintenue à 0,44 m :**

En tenant compte de la pénétration de suffisamment lumière pour la croissance des algues.

Un mur de séparation a été construit au milieu de bassin avec une

**-longueur de 2,46 m et Largeur de 11 cm.**

Le plancher a été construit avec une légère pente de part et d'autre de la cloison dans sens opposé pour permettre un bon mélange des Culture.

L'intérieur de bassin était recouvert de revêtement en carreaux de céramique pour éviter l'infiltration du milieu.



FigureIII- 14 Modèle Bassin Rasway

❖ **Le projet consiste à exploiter une superficie d'un hectare comme modèle**

- Nous pouvons construire 400 bassins avec les spécifications requises ci-dessus
- Tous les 40 bassins sont dans une serre.
- Chaque bassin est équipé d'un ventilateur qui fait circuler l'eau,
- Nous avons également besoin de 4 ouvriers
- 300 mètres de tuyau en plastique PVC d'un diamètre de 80 mm pour acheminer l'eau vers les bassins et les robinets
- Et 400 ventilateurs, où chaque bassin est équipé d'un ventilateur solaire qui fait circuler l'eau.
- Calcul du volume total d'eau dans 400 bassins, sachant que la hauteur d'eau est de 20 cm dans le bassin
- Calcul de la masse algale que l'on peut récolter sur 400 bassins si chaque litre d'eau nous donne entre 1,8 g à 2.2g et la valeur moyenne 2g de masse algale dans des études antérieures dans le sud algérien (Siham Dahmani 2018).
- Si nous collectons de la masse d'algues tous les 15 jours.
- Le prix d'un kilogramme de microalgues sur le marché mondial varie de 5 euros à 55 euros Où 1 euro va en Algérie au marché noir de 180 DA à 220 DA et la valeur moyenne est de 200 DA. Dans ce travail, nous avons supposé que le prix d'un kilogramme est de 5 euros, et en dinars est de 1000 DA.

Tableau III.2 : Rendement et données économiques de la production de Spiruline

<b>SOURCE</b>	<b>Etude économique</b>
<b>Volume d'eau dans chaque bassin</b>	<b>1.5336 m3</b>
<b>Volume d'eau dans tous les bassins par an</b>	<b>14722.56 m3</b>
<b>Masse d'algue produite par an</b>	<b>29445.12kg</b>
<b>Prix de la masse d'algues par an</b>	<b>29445120DA</b>

### III.3.2. Coût d'investissement

Les Coûts d'investissement seront ventilés selon les montants attribués aux travaux suivants:

- ❖ Aménagement et construction du bien immobilier réservé pour le centre
- ❖ Acquisition des équipements

La valeur globale de l'investissement s'élève à un montant (**10690000DA**)

Le Coûts de l'investissement est éclaté par structure selon le tableau ci après;

Tableau III.3:Des coûts fixes

<i>DESIGATION</i>	<i>PRIX UNITAIRE</i>
Terrain	gratuit
Le coût de 400 bassins	6000000 DA
Le coût de 400 ventilateurs	1200000 DA
les serres	1000000DA
Panneaux solaire (type monocristallin)	300000 DA
Equipement de filtration et séchage	50000 DA
Le coût des tuyaux et des robinets	50000 DA
Bâtiments de laboratoire.	200000DA
<b>TOTAL</b>	<b>8800000DA</b>

**Tableau III.4:outils de laboratoire**

<b>Matériel nécessaire au suivie Biologique de production.</b>	<b>Le Coût</b>
• La verrerie	30000 DA
Matériel de mesure (PH,CE,T°)	1 00000 DA
• Enceinte thermostatée et régulée en CO <sub>2</sub>	20000DA
• Coût TOTAL	150000 DA

**Tableau III.5: Coût DE PRODUCTION VARIABLES**

<b>DESIGATION</b>	<b>PRIX UNITAIRE</b>
Nutriments nécessaire à la croissance et à la reproduction par an par marché	120000DA
Consommation d'électricité pour les indemnités de fonctionnement par an	80000DA
Coût de 4 ouvriers par an	1440000 DA
Autres frais	100000 DA
<b>TOTAL</b>	<b>1740000DA</b>

**Chapitre III : Etude faisabilité économique de la culture microalgues**

**Tableau III.6: COMPTE DE RESULTATS PREVISIONNELS**

**Période du : 06 ans**

ACTIF	N (Ouv)			N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
	Brut	Amort-Prov	Net	Net	Net	Net	Net	Net
Terrains								
Bâtiments	1 019 400,00	10 194,00	1 009 206,00	999 012,00	988 818,00	978 624,00	968 430,00	958 236,00
Autres immobilisations corporelles	10 590 647,90	-	10 590 647,90	10 590 647,90	10 590 647,90	10 590 647,90	10 590 647,90	10 590 647,90
<b>TOTAL ACTIF NON COURANT</b>	<b>11 610 047,90</b>	<b>10 194,00</b>	<b>11 599 853,90</b>	<b>11 589 659,90</b>	<b>11 579 465,90</b>	<b>11 569 271,90</b>	<b>11 559 077,90</b>	<b>11 548 883,90</b>
Stocks et encours	120,00		120,00	185,00	183,00	175,00	220,00	215,00
Clients	1 325,00		1 325,00	1 457,50	1 603,25	1 763,58	1 939,93	2 133,93
Trésorerie	94 705,61		94 705,61	160 077,24	220 120,69	277 579,64	514 535,11	454 476,76
<b>TOTAL ACTIF COURANT</b>	<b>96 150,61</b>	<b>-</b>	<b>96 150,61</b>	<b>161 719,74</b>	<b>221 906,94</b>	<b>279 518,22</b>	<b>516 695,04</b>	<b>456 825,69</b>
<b>TOTAL GENERAL COURANT</b>	<b>11 706 198,51</b>	<b>10 194,00</b>	<b>11 696 004,51</b>	<b>11 751 379,64</b>	<b>11 801 372,84</b>	<b>11 848 790,12</b>	<b>516 695,04</b>	<b>12 005 709,59</b>

PASSIF	N (Ouv)	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Capital émis	10 000 000,00	10 000 000,00	10 000 000,00	10 000 000,00	10 000 000,00	10 000 000,00
<b>TOTAL I</b>	<b>10 000 000,00</b>	<b>10 000 000,00</b>	<b>10 000 000,00</b>	<b>10 000 000,00</b>	<b>10 000 000,00</b>	<b>10 000 000,00</b>
Emprunts et dettes financières	1 706 198,50	1 421,83	1 705 946,48	1 615 056,27	142,18	-
<b>TOTAL PASSIFS NON COURANTS II</b>	<b>1 706 198,50</b>	<b>136 323,37</b>	<b>1 705 946,48</b>	<b>1 615 056,27</b>	<b>142,18</b>	<b>-</b>
Fournisseurs et comptes rattachés		-	-	-	-	-
<b>TOTAL PASSIFS NON COURANTS II</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>TOTAL GENERAL PASSIF</b>	<b>11 706 198,50</b>	<b>10 136 323,37</b>	<b>11 801 372,84</b>	<b>11 603 271,58</b>	<b>10 000 142,18</b>	<b>10 000 000,00</b>



**Chapitre III : Etude faisabilité économique de la culture microalgues**

	N (Ouv)	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Vente et produits annexes	18 255 974,00	18 255 974,00	18 255 974,00	18 255 974,00	18 255 974,00	18 255 974,00
<b>I- PRODUCTION DE L'EXERCICE</b>	<b>18 255 974,00</b>	<b>18 255 974,00</b>	<b>18 255 974,00</b>	<b>18 255 974,00</b>	<b>18 255 974,00</b>	<b>18 255 974,00</b>
Achats consommés	399 675,45	399 675,45	399 675,45	399 675,45	399 675,45	399 675,45
<b>II- CONSOMMATION DE L'EXERCICE</b>	<b>399 675,45</b>	<b>399 675,45</b>	<b>399 675,45</b>	<b>399 675,45</b>	<b>399 675,45</b>	<b>399 675,45</b>
<b>III- VALEUR AJOUTEE D'EXPLOITATION (I-II)</b>	<b>17 856 298,55</b>	<b>17 856 298,55</b>	<b>17 856 298,55</b>	<b>17 856 298,55</b>	<b>17 856 298,55</b>	<b>17 856 298,55</b>
Charges de personnel	1 440 000,00	1 440 000,00	1 440 000,00	1 440 000,00	1 440 000,00	1 440 000,00
Impôt, taxes et versements assimilés	365 119,48	365 119,48	365 119,48	365 119,48	365 119,48	365 119,48
<b>IV- EXCEDENT BRUT D'EXPLOITATION</b>	<b>16 051 179,07</b>	<b>16 051 179,07</b>	<b>16 051 179,07</b>	<b>16 051 179,07</b>	<b>16 051 179,07</b>	<b>16 051 179,07</b>
Autres charges opérationnelles	192,25	192,25	192,25	192,25	192,25	192,25
Dotations aux amortissements, provisions et pertes de valeur	10 194,00	10 194,00	10 194,00	10 194,00	10 194,00	10 194,00
<b>V- RESULTAT OPERATIONNEL</b>	<b>16 040 792,82</b>	<b>16 040 792,82</b>	<b>16 040 792,82</b>	<b>16 040 792,82</b>	<b>16 040 792,82</b>	<b>16 040 792,82</b>
<b>VII- RESULTAT ORDINAIRE AVANT IMPOT (V+VI)</b>	<b>16 040 792,82</b>	<b>16 040 792,82</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>TOTAL DES PRODUITS DES ACTIVITES ORDINAIRES</b>	<b>18 255 974,00</b>	<b>18 255 974,00</b>	<b>18 255 974,00</b>	<b>18 255 974,00</b>	<b>18 255 974,00</b>	<b>18 255 974,00</b>
<b>TOTAL DES CHARGES DES ACTIVITES ORDINAIRES</b>	<b>2 215 181,18</b>	<b>2 215 181,18</b>	<b>2 215 181,18</b>	<b>2 215 181,18</b>	<b>2 215 181,18</b>	<b>2 215 181,18</b>
<b>VIII- RESULTAT NET DES ACTIVITES ORDINAIRES</b>	<b>16 040 792,82</b>	<b>16 040 792,82</b>	<b>16 040 792,82</b>	<b>16 040 792,82</b>	<b>16 040 792,82</b>	<b>16 040 792,82</b>
<b>X- RESULTAT NET DE L'EXERCICE</b>	<b>16 040 792,82</b>	<b>16 040 792,82</b>	<b>16 040 792,82</b>	<b>16 040 792,82</b>	<b>16 040 792,82</b>	<b>16 040 792,82</b>

**Tableau III.7: remboursement d'emprunt**

<b>Année</b>	<b>Capital due en fin d'année</b>	<b>Intérêt</b>	<b>Annuité</b>	<b>Capital restant</b>
<b>N (ouv)</b>	1 706 198,50	89 575,42		1 706 198,50
<b>N+1</b>	1 706 198,50	89 575,42	284 366,42	1 421 832,08
<b>N+2</b>	1 421 832,08	74 646,18	426 549,63	995 282,46
<b>N+3</b>	995 282,46	52 252,33	426 549,63	568 732,83
<b>N+4</b>	568 732,83	29 858,47	426 549,63	142 183,21
<b>N+5</b>	142 183,21	7 464,62	142 183,21	0,00
			1 706 198,50	

### **III.4.Produits et marché de la spiruline**

#### **III.4.1.Produits à base de spiruline**

La gamme des produits à base de spiruline se décompose en plusieurs catégories :

- Spiruline fraîche, consommée directement sans séchage (et donc à proximité du lieu de production)
- Spiruline séchée, présentée en filaments, en comprimés, en poudre ou en paillette
- Spiruline « enrichie » en oligoéléments
- Spiruline ingrédients incorporée à d'autres produits alimentaires, pour faire des barres énergisantes, des crackers ou des biscuits apéritifs, ou encore des boissons (Springwave, Spirals, Bloo Tonic..)
- Extrait de spiruline, tel que la phyocyanine, qui est un des pigments.

L'offre commerciale apparaît relativement homogène. Elle se fait sous forme de petits conditionnements (de 80 à 500 g).

III.4.2. Certification et signe de qualité :

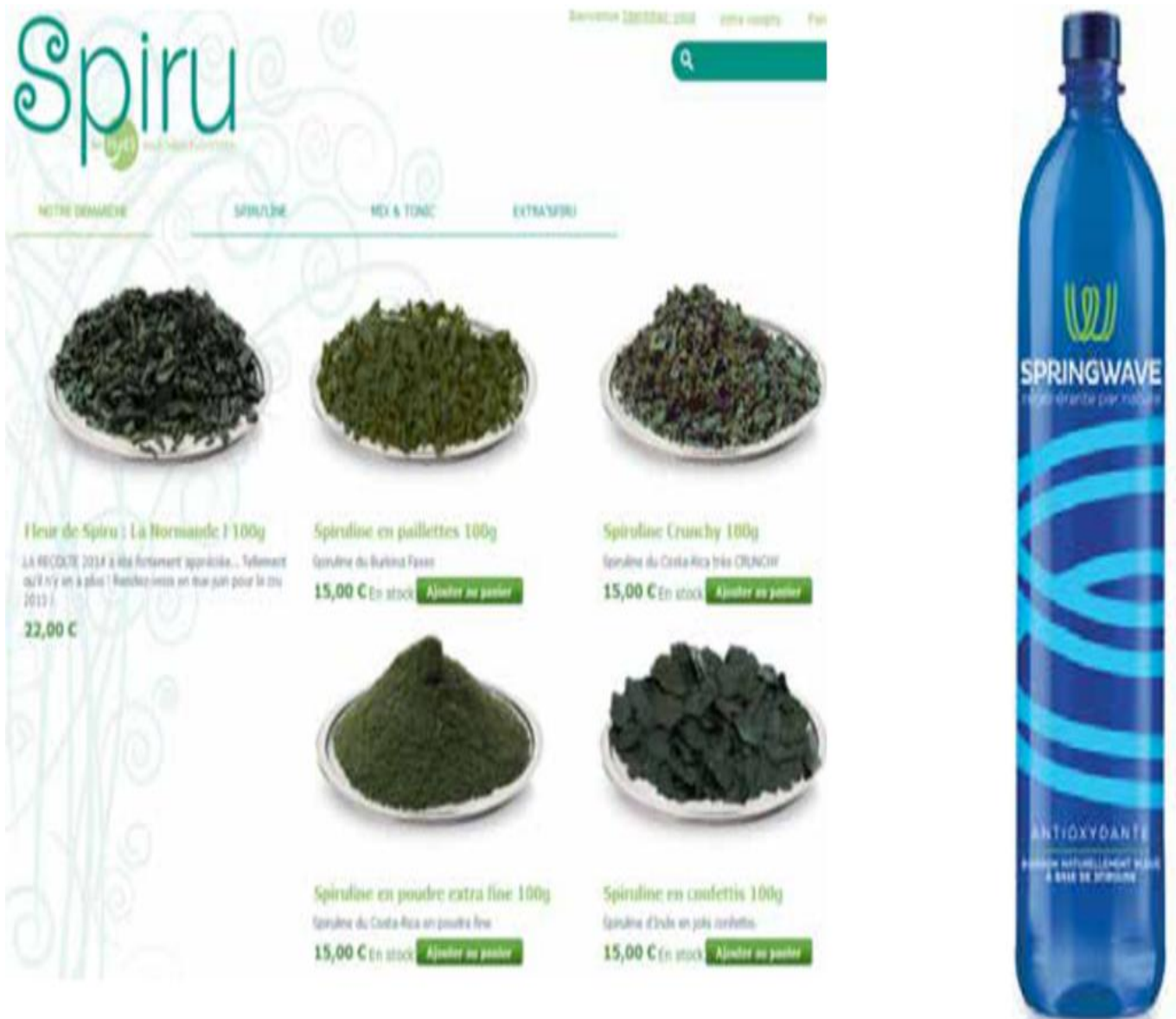


Figure III-15: Exemples d'utilisation de spiruline

✚ **Analyse Atouts et Difficultés des marchés (Livre Turquoise p 122)**

Le livre Turquoise, ouvrage collectif, réalisé en 2010, identifie les atouts et les difficultés sur chacun des marchés potentiels.

**Tableau III.8: Analyse Atouts et Difficultés de marchés (source Livre Turquoise p 122)**

Secteurs	Application, Potentiels	Atouts	Difficultés
<b>Cosmétique</b>	Principes actifs Colorants Antioxydants Protection solaire	-Actifs naturels innovants -Forte diversité d'espèces et de molécules -Forte teneur en anti-oxydants -Bonne image marketing	-Peu d'espèces à grande échelle -Très forte teneur en eau de la biomasse -évolution de la réglementation
<b>Compléments alimentaires Nutraceutiquee</b>	Oméga3 Caroténoïdes Protéines	-Importantes qualités nutritionnelles(oméga3,protéines, Vitamines) -Marchés existants	Réglementation longue et compliquée -Coûts production élevés -Remédiation co2 quasi-incompatible -Maitrise des marchés
<b>Santé humaine</b>	Diagnostic de contrôle	-Très haute valeur ajoutée -Remplace utilisation de produits radioactifs	-Petit marché de niche -Remédiation co2 impossible -Réglementation Longue
<b>Alimentation humaine</b>	Aliments Colorants Ingrédients	-Qualités nutritionnelles -Colorants naturels -Combats sous-nutrition	-Réglementation longue et compliquée -Acceptabilité par les consommateurs
Secteurs	Applications, potentiels	Atouts	Difficultés
<b>Environnement</b>	Remédiation CO2 Traitement effluents	-Consommation de CO2 ,d'azote et de phosphore -Systèmes de lagunage existent déjà	-CO2 et effluents pollués par molécules toxiques
<b>Energie</b>	Biodiesel Biokérozène Bio-gaz	-Rendement d'huile à l'hectare 7 à30 fois > au colza -Pas de compétition avec l'alimentaire -Co-valorisation	-Production de Masse -Technologie industrielle -Grande surface nécessaire
<b>Aquaculture</b>	Alimente de qualité (protéines, oméga3)	-Qualités nutritionnelles	- Besoin d'intrants(propres) -Monoculture requise
<b>Alimentation animale</b>	Bétail Pet food	-Co-valorisation -Apport protéique -Réduit dépendance soja	-production de masse -Technologie industrielle
<b>Chimie verte Bio- matériaux</b>	Bio-polymères Lipo-chimie	-Une nouvelle source pour bio-plastiques et agro-tensioactifs	-Production de masse -Technologie industrille

### III.6. Marché et potentiel des microalgues de culture

#### III.6.1. Les intérêts des microalgues

Un intérêt supplémentaire tient à la vitesse de leur croissance (et de leur reproduction), de quelques heures, d'où une production rapide de biomasse.

Les débouchés potentiels pour les produits micro-algaux dépendent de la composition biochimique des algues, qui elle-même varie selon les espèces ou encore les conditions de culture et de croissance.

On distingue quatre grands domaines de valorisation avec des préparations et des transformations plus ou moins sophistiquées :

#### III.6.2. Alimentation et nutrition humaine

Cette consommation vise à profiter des qualités nutritives de ces algues, sous 3 formes:

- Algue entière comme complément alimentaire (type spiruline)
- $\omega$ 3 (Omégas 3) pour la nutrition infantile et les compléments alimentaires
- Pigments comme colorants alimentaires

#### III.6.3. Valorisation pharmaceutique et cosmétique

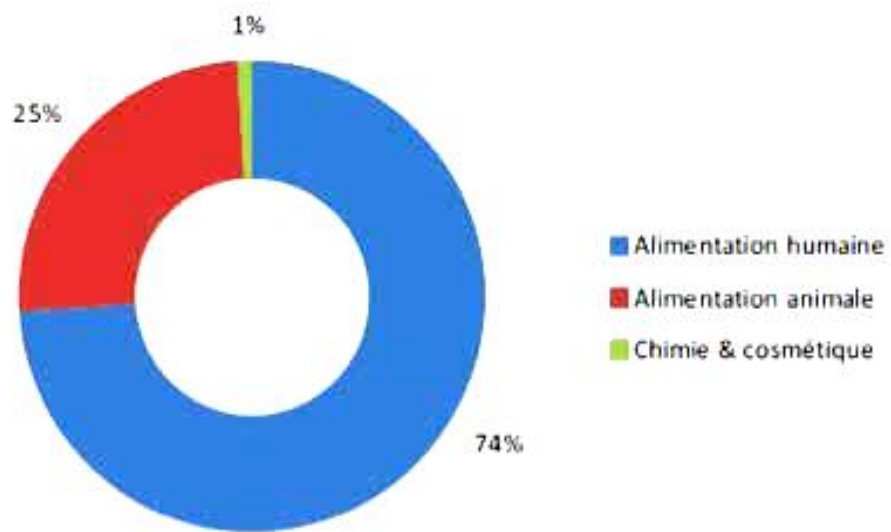
Ces usages valorisent des « molécules d'intérêt », à chaque fois spécifique, mais à haute valeur ajoutée.

#### III.6.4. Alimentation et nutrition animale

Les microalgues pourraient venir en substitution des ressources actuelles et notamment aux farines de poissons :

- Huiles et farines pour alimentation des poissons
- Algue « fourrage » consommée entière comme nourriture ou additif nutritionnel pour bétail

III.6.5. Biocarburants (Biodiesel, Bioéthanol ou biogaz.)



FigureIII-16: Répartition des marchés mondiaux actuels des microalgues en volumes

## Conclusion générale

---

### *Conclusion générale:*

Le marché des microalgues dans le sud algérien apparaît prometteur. Le large spectre des productions potentielles laisse espérer que les microalgues se substituent aux ressources actuelles. Par ailleurs, les progrès de la chimie verte et des processus de l'algoculture ouvrent la voie à de nouveaux débouchés au travers des molécules d'intérêt.

C'est particulièrement marqué pour le marché de l'alimentation du bétail avec une consommation en « Algues entières ».

Seuls les biocarburants et l'alimentation animale offrent des débouchés suffisamment importants pour assurer la valorisation du potentiel.

Basé sur compte de résultats prvisionnels les bénéfice annuel par hectare **16040792.82 DA**

La première année le bénéfice : **16040792.82 – 11000325.1 = 5040467.74 DA** après la récupération du capital Alors pour une période de 19 ans: le bénéfice annuel par hectare = **16040792.82 DA**

Plus l'espace est grand, plus le profit est important, etc.

- ✓ le projet est capable d'augmenter le volume de production et donc d'augmenter les profits.
- ✓ Le développement dans la transformation du produit en produit industriel, gélules, laboratoires pharmaceutiques (complément alimentaire) et fournitures cosmétiques.
- ✓ Extraction d'huiles importantes et de colorants naturels utilisés dans les industries modernes (fabrication).
- ✓ Usines d'aliments pour volailles, production animale et piscicole.
- ✓ La production de biocarburants.

*Références*  
*Bibliographiques*



## Références bibliographiques

---

### Références bibliographiques

1. Aasen, a. J., eimhjellen, k. E., & liaaen-jensen, s. 1969. An extreme source of betacarotene.
- Amaro, helena m., guedes, a., & malcata, f. Xavier. 2011. Advances and perspectives in using microalgae to produce biodiesel. *Applied Energy*, 88(10), 3402–3410.
- Aminot, alain, & kerouel, roger. 2004. *Hydrologie des ecosystèmes marins : paramètres et analyses*. Editions Quae.
2. Besson, “Étude multi-échelle de la récolte de *Dunaliella salina* - Développement d’un procédé d’autofloculation-flottation de microalgues.” Dr. Université Toulouse, 2013.
- M. M. Abdelkader, “Traitement des eaux de rejet d’une raffinerie-région de Bejaia et valorisation de déchets oléicoles,” Dr. d’état Univ. Badji Mokhtar Annaba, 2006.
3. ANUSUYA D.M. et VENKATARAMAN L.V., 1983
4. Supplementary value of the proteins of the blue-green algae *Spirulina platensis* to rice and wheat proteins. »
5. *Nutr. Rep. Internat.*, N°28. P1029-1035
6. FOX R.D., 1993.
7. Construction of village scale system integrating spirulina production with sanitation and development. »
8. Spiruline, algue de vie ; bulletin de l’Institut Océanographique de Monaco N° spécial 12 – Monaco, Musée océanographique. P195-201
9. JIMENEZ C., LABELLA D., RIVERO B., BROUERS M. et NIELL F.X., 1999
10. « Viability of an industrial unit for the production of *Spirulina* in Southern Spain »
11. 8th International Conference on Applied Algology (8th ICAA), 26 september – 1 october 1999 ; Abstracts. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italy. P134
12. RICHMOND A., 1986
13. *Handbook of microalgal mass culture* ; CRC Press. P212-213
14. Zarrouk C., Contribution à l’étude d’une cyanophycée. Influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima* Geitler, Thèse Université Sciences Appliquées, Paris, 1966
15. SYNADIET, Chiffres clés 2013 du marché des compléments alimentaires, mars 2014
16. TecKnowMetrix, Marché des microalgues, AlgaSud – Trimatec, novembre 2010
17. Société de développement de l’industrie maricole, Étude d’opportunité des biotechnologies marines sur la production et l’utilisation des Microalgues, 2006
18. Rapport d’étude documentaire du marché de la spiruline. (Alkaest 2014)

## Références bibliographiques

---

19. Borowitzka, M.A., 1999. Commercial production of microalgae: ponds, tanks, and fermenters, in: R. Osinga, J.T. (Ed.), *Progress in Industrial Microbiology*. Elsevier, pp313-321
20. Brown, M.R., Jeffrey, S.W., Volkman, J.K., Dunstan, G., 1997. Nutritional properties of microalgae for mariculture. *Aquaculture* 151, 315–331.
21. EVOLI Conseil, Etude de faisabilité – Culture et vente de la Spiruline, Projet Réussir en Sambre, sept 2014
22. FAO, A review on cultur, production and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals ans fish, circular 1034, 2008
23. 7th International Conference on Energy and Environment Research, ICEER 2020, 14–18 September, ISEP, Porto, Portugal Economic analysis of microalgae biodiesel production in, Environment, Biotechnology and Energy, Faculty of Engineering, University of Porto (FEUP), R.Dr. Roberto Frias S/N, 4200-465 Porto, Portugal PPE, Energy Planning Program,
24. 24.Alberto Luiz Coimbra Institute for Graduate Studies and Research in Engineering (COPPE), School of Engineering (ISEP),  
Received 30 October 2020; accepted 15 November 2020
25. The role of microalgae in the bioeconomy, F.Gabriel Acien fernandes , Alberto René H, Maria Barbosa, vitore verdelho , Bernardo Llamas :departement of chemical engineeing univ of almeria spain

### Les sites web de certaines compagnies productrices de *Chlorella* sont :

1. [www.sunchlorellausa.com/](http://www.sunchlorellausa.com/) [www.taiwanchlorella.com](http://www.taiwanchlorella.com/) (2022-04-23)
2. [www.cyanotech.com/](http://www.cyanotech.com/) [www.earthrise.com](http://www.earthrise.com/)( 2022-04-23)
3. [www.dic.co.jp/eng/products/lina](http://www.dic.co.jp/eng/products/lina) (2022-04-24)
4. [www.spirulinasource.com/algaedirectory](http://www.spirulinasource.com/algaedirectory)(2022-04-24)
5. [http://news.cnet.com/2300-11395\\_3-6178101-4.html](http://news.cnet.com/2300-11395_3-6178101-4.html) (2022-04-30)