

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



Université Kasdi – Merbah OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génies des procédés



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : **Génie des procédés**

Spécialité : **Génie chimique**

Présenté par :

BEN DOB ABD ARRAUF

HACHANI BACHIR

Thème

Contribution à l'étude d'une algue locale

Soutenu publiquement le : .../05/2019

Devant le jury composé de :

Prénom et Nom	Grade	Etablissement	Qualité
.....	UKMO	Président
.....	UKMO	Examineur
.....	UKMO	Examineur
M ^{elle} . Souad ZIGHMI	MCB	UKMO	Encadreur

Année Universitaire : 2018 / 2019

Dédicaces

A la mémoire de mes défunts grands parents

A la mémoire de mon défunt oncle

A ma mère et mon père

A ma grande famille frères et soeurs et leurs enfants.

Abd alwahabe , Nabil,

A tous les frères de ma mère

Alami, Abdullah, Ali, Mukhtar et Yasin.

*À mes amis Salim, TAREK , Zaki, ibrahim, abd
arrahmane ,..... a tous ceux que vous connaissez*

*À tous les étudiants de la promotion génie chimique
2019/2020*

*A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de
continuer.....*

.Abd Arrauf Ben Dob

Dédicaces

*A la mémoire de mes défunts grands
.parents*

A ma mère et mon père

*A ma grande famille frères et soeurs
et leurs enfants.et toute la famille,*

A tous les frères de ma mère

*À mes amis YACIN , M.DAHBI , a
tous ceux que vous connaissez*

*À tous les étudiants de la promotion
génie chimique 2019/2020*

*A tous ceux qui, par un mot, m'ont
donné la force de continuer.....*

Bachir Hachani

.

Remerciements

Avant tout, nous remercions en premier lieu Allah le tout puissant de nous avoir illuminée ouvert les voies du savoir, et pour nous avoir accordé la volonté et le courage pour élaborer ce travail.

Au terme de commodités et travail nous tenons tout particulièrement à témoigner notre profond de gratitude de notre encadreur M^{lle} **Souad ZIGHMI** d'avoir dirigé ce travail et de nous faire partager ces connaissances qui ont été très utiles et pour ces précieux conseils et orientations.

Je tiens à remercier vivement le directeur du Laboratoire de recherche de Génie des Procédés monsieur le **professeur Segni LADJEL** de l'université Kasdi Merbah Ouargla, pour le soutien et l'engagement qu'il m'a dispensé au cours de la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier monsieur le **professeur Amar MESSITFA**, et le personnel du laboratoire en particulier **Asma AYACHI OMAR**

Je tiens aussi à remercier monsieur le chef du département de génie des procédés monsieur **Ahmed TABCHOUCHE** ainsi que tout le personnel et les enseignants du département pour leur soutien inestimable. A tous mes enseignants qui m'ont initié aux valeurs authentiques, en signe d'un profond respect.

Mes remerciements vont également à monsieur **djamel GHILANI**, le responsable des laboratoires pédagogiques et tous les personnels de soutien.

Ces remerciements seraient incomplets si je n'en adressais pas à l'ensemble des personnels Administratives de toute la Faculté des Sciences Appliquées de l'Université Kasdi-Merbah de Ouargla pour leurs soutiens et organisation.

المخلص :

يعتبر الوقود الحيوي من أهم مصادر الطاقة المتجددة النظيفة و الذي يستخلص من طاقة الكتلة الحيوية , و في عملنا هذا تطرقنا إلى أحد أهم مصادر طاقة الكتلة الحيوية و هو استخلاص الإيثانول الحيوي من طحالب (سبيروجيرا - سبيروولين) , حيث أثبت التحليل البيوكيميائي على احتواء كل من الطحلبين على نسبة معتبرة من السكريات خاصة طحلب سبيروجيرا حيث بلغت نسبة الكربوهيدرات فيه 38% بالنسبة للكتلة الجافة و نسبة 13.85% في طحلب سبيروولين , و بعدها قمنا باستخلاص لإيثانول الحيوي بتقنية التخمير الكحولي حيث بلغ معدل السكريات المحولة من الإيثانول الحيوي بـ 78 % بالنسبة لنسبة سكريات المتفاعلة للطحلب سبيروجيرا و بالنسبة للطحلب سبيروولين قدر المعدل بـ 24 % .

و بعدها قمنا بقياس الخصائص الفيزيائية و الكيميائية للإيثانول ناتج. بالإضافة إلى خليط الإيثانول الحيوي مع البنزين الخالي من رصاص بنسبة 10 % و في نهاية هذه دراسة قمنا بمقارنة النتائج المتحصل عليها مع المعايير العالمية للوقود الحيوي حيث كانت نتائج جد متماثلة .

الكلمات المفتاحية : طحالب , الوقود الحيوي , الكتلة الحيوية , الإيثانول الحيوي , التخمير.

Résumé :

Les biocarburants sont l'une des plus importantes sources d'énergie propre et renouvelable, dérivés de l'énergie de la biomasse, et nous avons abordé l'une des sources les plus importantes d'énergie de la biomasse, qui est l'extrait de bioéthanol à partir des algues Spirulines, Spirogyres. L'analyse biochimique a prouvé que les algues contenaient un pourcentage significatif, en particulier l'algue de Spirogyres, le pourcentage d'hydrates de carbone étant 38% pour la masse sèche et de 13.85% pour la Spirulines. Ensuite nous avons extrait le bioéthanol par la technique de fermentation alcoolique, où le taux de sucres convertis à partir du bioéthanol était de 78% pour la proportion de sucres actifs d'algues Spirogyres et pour Spirulines estimée à 24%. Nous avons ensuite mesuré les propriétés physiques et chimiques de l'éthanol résultant, ainsi que le mélange de bioéthanol avec l'essence sans plomb préparé à 10% (SP95E10). À l'issue des résultats conformes aux normes internationales en vigueur.

Mots clés : Algues, Biocarburant, Biomasse, Bioéthanol, fermentation.

Abstract :

Biofuels are one of the most important sources of clean renewable energy , derived from biomass energy . In our project , we have addressed one of the most important source of biomass energy which is the extraction of the bioethanol from spirulina and spirulina moss . the biochemical analysis proved that the algae contained a significant percentage of sugars , especially spirulina moss, with 38% of the carbohydrates in the dry mass and 13,85% of spirulina moss .

Then we extracted bio-ethanol by the fermentation Technique, where the rate of sugars converted from bio-ethanol was 78% for spirulina algae .

Next , we measured the physical and chemical properties of the resulting ethanol . In Addition of the bio-ethanol mixture with lead free gasoline by 10% to give results in accordance with the international standards in force.

Key words : Algae – Biofuels- Biomass – Bioethanol – Fermentation .

Sommaire	I
Liste des figures	V
Liste des tableaux.....	VII
Liste des sigles et abréviations.....	VIII
Introduction générale.....	1

CHAPITRE I : Étude bibliographique

I .1. Introduction	3
I .2. Généralités sur les algues.....	3
I .2.1. Définition des algues.....	3
I .2.2. Les grands groupes des algues	3
I .2.3. Caractéristiques des algues vertes.....	4
I .2.4. La photosynthèse.....	5
I .2.5. Les systèmes de cultures d'algues	5
I .2.5.1. Les systèmes ouverts.....	5
I .2.5.2. Les systèmes fermés.....	6
I .2.6. Facteurs de répartition des algues	6
I .2.7. L'utilisation des algues.....	6
I .3. Toxicité des algues.....	7
I .4. Définition de la biomasse	7
I .4.1. Ressources de biomasse.....	8
I .4.2. Avantages et inconvénients de la biomasse	8
I .5. Les biocarburants.....	9
I .5.1. Définition	9
I .5.2. Générations les biocarburants (1 ^{ère} , 2 ^{ème} et 3 ^{ème} génération).....	9
I .5.3. Produit final	11
I .5.4. Définition du bioéthanol.....	11
I .5.4.1. Domaines d'utilisation du bioéthanol.....	11
I.5.5. Définition de biodiesel.....	11
I.5.6. Les avantages et les inconvénients de biocarburants.....	12
I .5.6.1. Les avantage	12

Sommaire

I .5.6.2. Les inconvénients.....	12
I .6. Modèles d'étude	12
I .6.1. La spiruline.....	12
I .6.1.1. Croissance de la spiruline.....	13
I .6.2. La Spirogyra.....	13
I .6.2.1. Description.....	14
I .6.2.2. Espèces ressembla.....	14
I .6.2.3. Reproduction – multiplication.....	14
I .7. Conclusion	15

Chapitre II : Méthodologie, outils et techniques utilisées

II .1. Introduction	16
II .2. Historique.....	16
II .3. Processus de fabrication du bioéthanol	17
II .3.1. Prétraitement de la biomasse algue.....	17
II .3.2. Description et étapes de la fermentation.....	18
II .3.3. Hydrolyse	18
II .3.4. La fermentation alcoolique	18
II .4. Définition de la levure boulangère type (<i>saccharomyces cerevisiae</i>).....	19
II .4.1. Morphologie et Structure	20
II .5. Récupération et purification des produits de fermentation	20
II .5.1. Distillation du bioéthanol	20
II .5.2. Déshydratation	21
II .6. Les facteurs influençant sur la fermentation alcoolique	22
II .7. Conclusion.....	22

Chapitre III : Expérimentation, résultats et discussion

III .1. Introduction.....	23
III .2. Identification de type l'algue utilisée.....	23
III .3. Caractérisation de la biomasse d'algue.....	25
III .3.1. Préparation de l'échantillon.....	25
III .3.2. Extraction des lipides par la méthode de Randall	25

Sommaire

III .3.3. Teneur en sucre totaux (carbohydrate).....	27
III .4. La fermentation alcoolique	28
III .4.1. Echantillonnage et préparation de l'extrait algal	28
III .4.2. Fermentation alcoolique dans un milieu anaérobiose.....	29
III .4.3. Rendement de la fermentation.....	31
III .5. Caractérisation de bioéthanol obtenu.....	34
III .5.1. Les caractéristiques physiques.....	34
III .5.1.1. La densité	34
III .5.1.2. La viscosité	34
III .5.1.3. L'indice de réfraction.....	35
III .5.1.4. Mesure de pH	36
III .6. Le séchage de bioéthanol.....	37
III .7. Analyse par le spectrophotomètre d'infrarouge.....	38
III .7.1. Matériels et méthodes	38
III .7.2. Discussion Spectre d'IR obtenu de bioéthanol d'algue	41
III .8. Utilisation de bioéthanol comme biocarburant	42
III .8.1. Préparation de mélange de bioéthanol est essence sans plomb.....	42
III .8.2 .Les caractéristique technique essentielle de mélange éthanol –essence....	43
III .8.2.1. Stabilité des mélanges.....	43
III .8.2.2. Contenu énergétique.....	43
III .8.2.3. Tension de vapeur Reid (TVR).....	43
III .8.2.4. Mesure de la viscosité.....	44
III .8.2.5. Mesure de la densité.....	44
III .9. Résultats et discussion.....	45
III .10. Conclusion.....	48
Conclusion générale.....	49
Références.....	51
Annexes	

Liste des figures

Liste des figures	
Figure I.1 : Exemple d'un système ouverts de type "raceway" utilisés pour la culture d'algue.	5
Figure I .2: Exemple d'un système fermé "photo-bioréacteurs" de culture d'algue à l'extérieur	6
Figure I .3 : Ressources de biomasse utilisées pour la fabrication de biocarburants	8
Figure II.1 : Procédé de production de bioéthanol	17
Figure II.2 : Hydrolyse du saccharose	19
Figure II.3: Fermentation de l'éthanol à partir du glucose	19
Figure II.4 : Schéma représentatif des étapes de production de bioéthanol des algues local	21
Figure III. 1 : le site de prélèvement de l'algue <i>Spurilun</i>	23
Figure III. 2 : le site de prélèvement de l'algue <i>SPYROGIYRA</i>	24
Figure III.3 : Vue microscopique d'algues	24
Figure III. 04 : Les étapes de la préparation de la biomasse	25
Figure III. 5 : Les étapes de l'extraction des lipides des algues	26
Figure III. 6 : Les étapes de titration des sucres totaux des algues	27
Figure III. 7 : Les étapes de la préparation de les solution des algues	29
Figure III.8 : Les étapes de la fermentation alcoolique réalisée	30
Figure III.9: Distillation simple de bioéthanol	31
Figure III.10 : le bioéthanol obtenu	31
Figure III. 11 : les étapes de séchage de bioéthanol avec sulfate de sodium anhydre	36
Figure III. 12 : le spectre infrarouge de bioéthanol l'algue <i>Spurilune_{sp}</i>	39
Figure III. 13 : le spectre infrarouge de bioéthanol l'algue <i>SpiroiYGira_{sp}</i>	40
Figure III. 14 : Eessence sans plomb E10	43
Figure III. 15 : Eessence sans plomb SPL	43
Figure III. 15 : Eessence sans plomb SPG	43
Figure III. 16 : la mesure de la pression de vapeur a 37.8°C	44
Figure III. 19 : pycnomètres BLAUBRAND	Annexe 2
Figure. III. 20 : Viscosimètre à chute de bille	Annexe 2
Figure III. 21 : Refractomètre	Annexe 2
Figure III. 22 : pH- HI 9829	Annexe 2
Figure III. 23 : Photo de spectrophotomètre IR	Annexe 2
Figure .III.24. Le microscope utilisé	Annexe 2

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I-1 <i>Avantages et inconvénients des différentes ressources de biomasse</i>	9
Tableau I-2 : <i>Différentes générations de biocarburants et les procédés de transformation pour chaque génération</i>	10
Tableau III. 1 : <i>Résultats de caractérisation de la biomasse d'algues SPYROGIYRA, SPIRULUN</i>	27
Tableau III.2 : <i>les quantités utilisée pour réalisée l'expérience de fermentation</i>	31
Tableau III. 3: <i>la biomasse utilisée et résultats de fermentation</i>	32
Tableau III. 4 : <i>Caractéristiques de bioéthanol obtenue de la distillation</i>	36
Tableau III. 5 : <i>Groupements fonctionnels de bioéthanol synthétisé algue(SPIROIYGIRA)</i>	41
Tableau III. 6: <i>Groupements fonctionnels de bioéthanol synthétisé algue(SPIRULUN)</i>	41
Tableau III.7 : <i>Résultats de caractérisation de l'essence sans plomb et essence sans plomb E10</i>	45
Tableau III.8 : <i>Teneur en carbohydrate et teneur en lipides de quelques espèces d'algue verte (Composition en % par rapport à la matière sèche)</i>	45
Tableau III.9. : <i>Comparaison des teneurs de bioéthanol obtenues dans le présent travail par rapport à celles trouvées dans les autres travaux</i>	47
Tableau III.10 : <i>Principaux paramètres physico-chimiques de bioéthanol</i>	47
Tableau III.11 : <i>les paramètres physique de mélange essence sans plomb 10% bioéthanol</i>	48

LISTE DES ABREVIATION ET DES SYMBOLES

LISTE DES ABREVIATION ET DES SYMBOLES

Sp : Species.

ETBE : Ether éthyle tertiobutyle.

ASTM : American Society for Testing and Matériaux.

BDF : biodiesel fuel.

Pds : poids.

m² : mètre carrée.

Kg : kilogramme.

µm : micromètre.

CO₂ : dioxyde de carbone.

pH : potentiel hydrogène.

ATP : adénosine triphosphate.

MS : matière sèche.

g : gramme.

h : heure.

W : fraction massique.

ρ_{éth} : La masse volumique de éthanol .

n²⁰ : l'indice de réfraction à une température de 20°C.

IR : infra rouge .

SI : sucre invert.

SIT : sucre invert totaux.

TVR : Tension de vapeur Reid.

Y : Cefficient de dilatation volumétrique.

kPa : Kilopascal.

SP95E10 : mélange essence sans plomb 95 avec 10% de bioéthanol.

SPL : SPIRULUN.

SPG : SPIROGIYRA.

Introduction générale

Les fluctuations rapides de prix du pétrole et des ressources de base ont stimulé le développement de sources d'énergies alternatives et renouvelables comme la biomasse, le solaire et l'éolien et Les énergies fossiles constituent la principale source d'énergie de notre civilisation, depuis plus d'un siècle, cette substance polyvalente de haute densité énergétique fournit à elle seule plus du tiers des besoins en énergie de monde.

Il a été identifié Plusieurs applications commerciales de micro-algues sont identifiés, ces micro-organismes peuvent être utilisés pour la nourriture, production des produits chimiques et ont été proposés plus récemment comme source d'énergie [01]. Cependant, Les micro- algues peuvent être utilisées dans un certain nombre de moyens pour la production d'énergie renouvelable, elles peuvent être digérés pour produire du méthane, produire de l'hydrogène par photosynthèse , et certaines algues peuvent accumuler des huiles exploitées pour former un liquide combustible.

Récemment, le développement de la bioénergie a été mis en évidence, en utilisant les micro-algues en tant que biomasse de 3ème génération. L'utilisation de ces microorganismes comme matières premières pour les biocarburants, reçu une attention considérable en raison de leurs divers avantages par rapport aux d'autres organismes, Ces micro-organismes photosynthétiques, capables de convertir la lumière du soleil, de l'eau et du dioxyde de carbone en des sucres, produisant des macromolécules biologiques, telles que les lipides [2].

La biomasse algale en tant que matière première devient très populaire dans la production de biocarburant de troisième génération dans la dernière décennie [3], C'est dans ce contexte que s'intègre cette étude. En effet, l'objectif principal de ce présent travail est d'étudier une algue verte "SPIRULIN sp""SPIROGIRA", afin d'exploiter leur biomasse dans le domaine de biocarburants,

Cet travail comporte trois chapitres. Le premier chapitre théorique, en présente une étude bibliographique qui comporte deux sections, la première sur les regroupes des généralités sur les algues, les espèces et les différents modes de culture, La seconde section sur les différentes générations des biocarburants, une analyse critique de la littérature permettra de relever les avantages et les inconvénients des chaque génération, a deuxième chapitres s'attachera à décrire la méthodologie expérimentale adoptée au cours de ce travail de mémoire, en présentant les analyses biochimiques de la biomasse algale, le procédé d'extraction des lipides ainsi que la fermentation alcoolique, et le troisième chapitre est pratique, où nous avons détaillé les protocoles, l'extraction des lipides, analyses de la biomasse, la fermentation alcoolique et

Introduction Générale

caractérisation de bioéthanol produit et le mélange d'essence sans plomb avec une fraction volumique de 10 % de bioéthanol.

En fin une conclusion est exposée, elle rappelle sur l'objectif général et principal de ce travail, ainsi que les principaux résultats obtenus sont synthétisées. Cette conclusion permet donc de faire un état des lieux des perspectives importantes qui font suite à ce travail de la recherche sur les algues et qui devraient être renforcées dans les prochaines années et elle offre une analyse de l'approche en matière de recherche sur les algues.

I.1. Introduction

Ce chapitre contient synthèse bibliographique qui comporte trois parties principales, dans la première on donne généralité sur les algues et étudie les systèmes culture des algues (système ouvert et fermé). Tandis que la seconde, est définir le biomasse et consacrée sur la troisième génération , une analyse critique de la littérature permettra de relever les avantages et les inconvénients de la troisième génération. On troisième partie Étude approfondie sur les algues local.

I.2. Généralités sur les algues

I.2.1. Définition des algues

Les algues sont des végétaux simples, le plus souvent unicellulaires, dont la taille est si petite que, dans bien des cas, on ne peut les voir qu'au microscope. Elles n'ont pas de racines, ni fleurs, ni feuilles, ni tiges, et donc pas de la grande majorité d'entre elles sont vertes car, elles contiennent une concentration importante d'un pigment vert nommé chlorophylle. Toutefois, on retrouve également dans la nature des brunes, rouges, orangées ou jaunes.

Il existe aussi quelques algues visibles à l'œil nu (ex. algues filamenteuses) et d'autres qui ressemblent à des plantes aquatiques [4].

Et certaines vivent sur la neige ou la glace des régions polaires et des hautes montagnes. D'autres au contraire supportent dans les eaux des sources thermales des températures élevées (algues thermophiles) [5].

Elles comprennent 20 000 à 30 000 espèces dans le monde, soit 18% du règne végétal [6].

I.2.2. Les grands groupes des algues

Les algues diffèrent en couleur, taille et fonction résultant en plusieurs types :

- **Les algues vertes (Chlorophycées)**

Elles sont de formes très variées, uni-ou pluricellulaires. Leurs plastes sont colorés en vert par les chlorophylles, auxquelles sont associés des carotènes et des xanthophylles. La photosynthèse permet la formation d'amidon, comme pour les plantes supérieures, la plupart des algues vertes vivent en eau douce ou en milieux marins, mais certaines espèces peuvent également se développer sur terre. Elles jouent un rôle important dans l'oxygénation des eaux, favorisant ainsi la vie animale [7].

- **Les algues rouges (Les Rhodophytes)**

Elles montrent une originalité particulière avec leur pigments surnuméraires rouges (Phycoérythrines) et bleus (Phycocyanines) qui viennent masquer la chlorophylle. Les proportions relatives entre les différents pigments, conjuguées avec la forme du thalle, donnent à

la lumière du jour toutes les couleurs imaginables depuis le brun noirâtre jusqu'au rose très clair en passant par les rouges pourpres et les orangés.

De plus, pour une même espèce, la couleur varie en fonction de l'exposition aux rayons lumineux, souvent les individus qui se développent aux forts éclaircissements montrent des couleurs délavées, où dominent les jaunes orangés en raison de la forte concentration en pigments caroténoïdes photo protectants [8].

- **Les algues brunes (Chromophytes)**

est une algues monolithique. On la trouve dans l'eau douce et salée caractérisée par sa couleur brun or brunâtre. , elle ne comporte pas de paroi cellulaire et est entourée d'une croûte de silice appelée nanoparticules en raison de sa petite taille, qui ne dépasse pas 50 micromètres [7].

- **Les algues bleues (Cyanobactéries)**

Les cyanobactéries, ou cyanophycées, ou encore algues bleues (leurs anciens noms), sont des bactéries photosynthétiques, c'est-à-dire qu'elles tirent parti, comme les plantes, de l'énergie solaire pour synthétiser leurs molécules organiques. Pour capter cette lumière, elles utilisent différents pigments, des phycocyanines (de couleur bleu-vert) ou la chlorophylle.

Leur photosynthèse, comme celle des plantes, produit du dioxygène (la molécule d'oxygène), à la différence des autres bactéries photosynthétiques (chlorobactéries et rhodobactéries), qui utilisent le soufre à la place de l'eau. Cette production d'oxygène dans les cyanobactéries de l'océan a probablement été à l'origine de Grande Oxydation, ce brutal enrichissement de l'atmosphère en dioxygène il y a 2 milliards d'années [7].

I.2.3. Caractéristiques des algues vertes

Les algues vertes filamenteuses (Zygnématales) forment des masses chevelues et plus ou moins gluantes au toucher dans les mares leur développement est le plus important au printemps.

Elles présentent une grande diversité de forme, depuis le type unicellulaire jusqu'au type en colonie ou filaments. Certaines espèces ont un crampon qui leur permet de se stabiliser, et elles sont présentes en toutes saisons dans les points d'eau bien éclairés mares, étangs et même dans les bassins des jets d'eau en association avec d'autres algues filamenteuses comme la diatomée *Melosira* [9].

I.2.4. La photosynthèse

Grâce à la présence de chlorophylle dans leurs tissus, les algues accomplissent la photosynthèse. En présence de lumière, elles fabriquent leur propre matière organique à partir de l'eau des sels minéraux et du di-oxyde de carbone.

Ces éléments dissous dans l'eau sont puisés directement par toute la surface du thalle. La photosynthèse conduit à la production de di-oxygène .

I.2.5. Les systèmes de cultures d'algues

Il y a deux types de culture, système ouverts et systèmes fermés.

Chaque culture d'algues nécessite une source d'énergie lumineuse et des sels inorganiques au milieu de culture [10].

I.2.5.1. Les systèmes ouverts

Les systèmes ouverts, Elle a une baisse de la productivité par unité de surface, Pour cela souffrent de la forte limitation de la lumière puisque l'intensité lumineuse diminue avec la profondeur, techniquement sont des systèmes non contrôlés [11].

Ce type de systèmes, ils nécessitent moins d'entretien, et avoir des besoins énergétiques inférieurs, ont des coûts de construction plus faibles, mais la productivité en biomasse est plus faible, ils souffrent également de grandes pertes par évaporation et une contamination éventuelle par d'autres espèces [12].

Les plus grandes usines d'exploitation utilisent des systèmes d'étangs ouverts pour cultiver des algues utilisées pour la nourriture, fourrage et des usages cosmétiques. La productivité de ces installations est relativement faible, mais le design est simple.



Figure I.1: Système ouvert de type "raceway" utilisés pour la culture d'algues [13].

I.2.5.2. Les systèmes fermés

Les systèmes fermés sont plus chers que les systèmes ouverts en terme de construction, l'entretien et les exigences énergétiques, mais ils permettent le contrôle des paramètres comme la température, le pH et l'injection de CO₂. Par conséquent, la biomasse obtenue de ce système est de supérieure qualité [12].

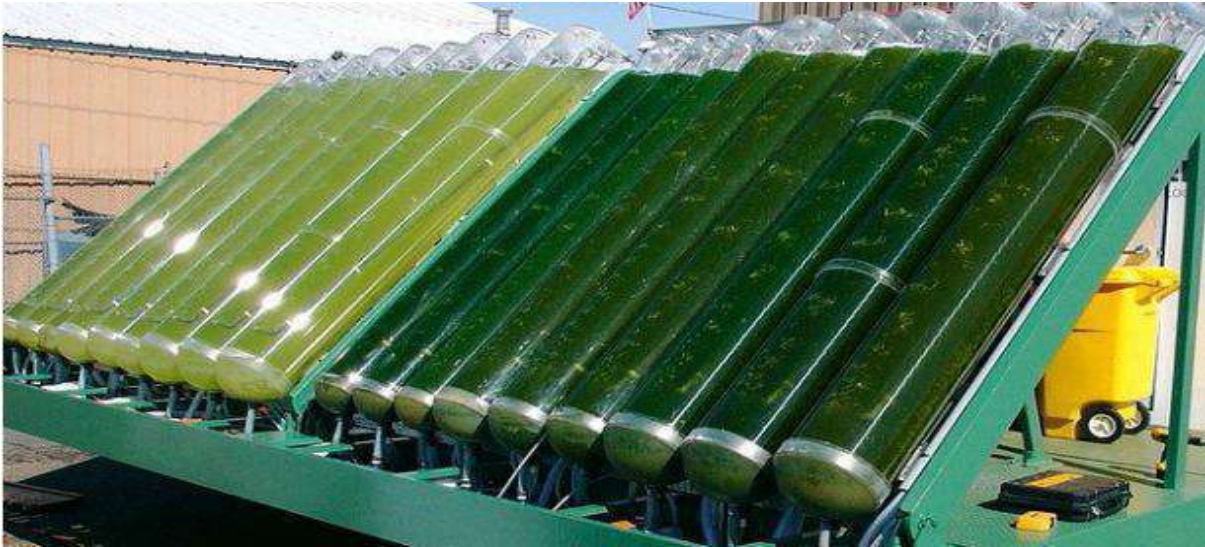


Figure I.2: Système fermé "photo-bioréacteurs" de culture d'algue à l'extérieur [14].

I.2.6. Facteurs de répartition des algues

Les algues sont présentes dans tous les types d'habitat humides et éclairés, Pour cela sont liées à l'eau et on peut les retrouver en eau douce, en mer, sur sol humide et même sur la neige.

Les algues étant photosynthétiques, elles sont dépendantes de la présence de la lumière. Aussi, les algues nécessitent d'être fixées à un substrat, par conséquent, la texture, le degré de cohésion et la nature chimique du substrat ont une importance sur la répartition spatiale des espèces [15].

I.2.7. L'utilisation des algues

Les algues sont utilisées on domaines suivant :

- Agro-alimentaire : Gélose et alginates utilisées comme agents émulsifiants, épaississants, stabilisants, gélifiants (additifs de E400 à E408), excipients [16].
- Agriculture : utilisées comme engrais (goémon) ou amendement (maërl).
- Dentisterie : pâtes pour les empreintes dentaires.
- Industries chimiques : les frustules (enveloppes externes des diatomées) siliceux, sont utilisés comme abrasifs, ou isolants phoniques ou thermiques. Les colles, peintures, résines, caoutchoucs, savons utilisent des produits d'algues [17].

- Médecine : en thalassothérapie on utilise les bains d'algue (algotérapie) pour traiter les rhumatismes ou certaines affections de l'appareil locomoteur, en chirurgie ou en gynécologie on utilise des stipes de laminaires (pour leur propriétés à retenir l'eau tout en se dilatant) pour débrider une plaie ou dilater une voie naturelle [18].
- Pharmacie : on utilise les propriétés laxatives ou vermifuges (*Hypnea Carrageen*), anticoagulantes (*Phyllophora*) [18].

I.3. Toxicité des algues

Un goût ou des odeurs désagréables dans votre verre d'eau signifie souvent la présence d'algues présentes dans les plans d'eau des barrages. Ces mauvaises odeurs sont directement liées aux substances qu'elles élaborent ou sécrètent pendant leur phase de croissance et même après leur mort lors de leur décomposition par les bactéries.

C'est lors des mois chauds (mai - septembre) que, certaines cyanobactéries prolifèrent en masse. Ces proliférations provoquent une gamme de désagréments sanitaires et écologiques. En effet, ces micro-algues sont capables de produire différentes toxines, appelées cyanotoxines. Dans la majorité des cas, ce sont des hépato toxines comme les microcystines, qui ciblent le foie. Elles peuvent causer des problèmes de santé ou même la mort des animaux et des humains qui y sont exposés. Les toxines sont stockées à l'intérieur des cellules, mais sont libérées dans les eaux lors de la lyse des cellules, quand les blooms se décomposent [19].

Actuellement, vingt genres et plus de quarante espèces sont connus pour synthétiser des toxines (Berger, 2005). A ce jour, trois types de cyanotoxines classés en fonction des pathologies qu'elles engendrent, sont répertoriées à travers le monde.

I.4. Définition de la biomasse

La biomasse est la seule source d'énergie renouvelable puisqu'elle peut se présenter sous forme liquide, solide, ou encore gazeuse [20].

Dans le domaine de l'énergie, la biomasse regroupe la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, ya compris les substances végétales et animales, de la sylviculture et des industries connexes ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers [21]

I.4.1. Ressources de biomasse

Les principaux agents fournisseurs de la biomasse, sont l'industrie agro alimentaire et forestières, filières agricoles comme le montre la Figure I.3. Cette biomasse nous aide à production de biodiésel, bioéthanol, bio méthane et hydrogène. Les différentes voies de production de bioéthanol à partir des plantes sucrière (betteraves, datte, les algues....) et de plantes lignocellulosique sont décrites ci-dessous [22].

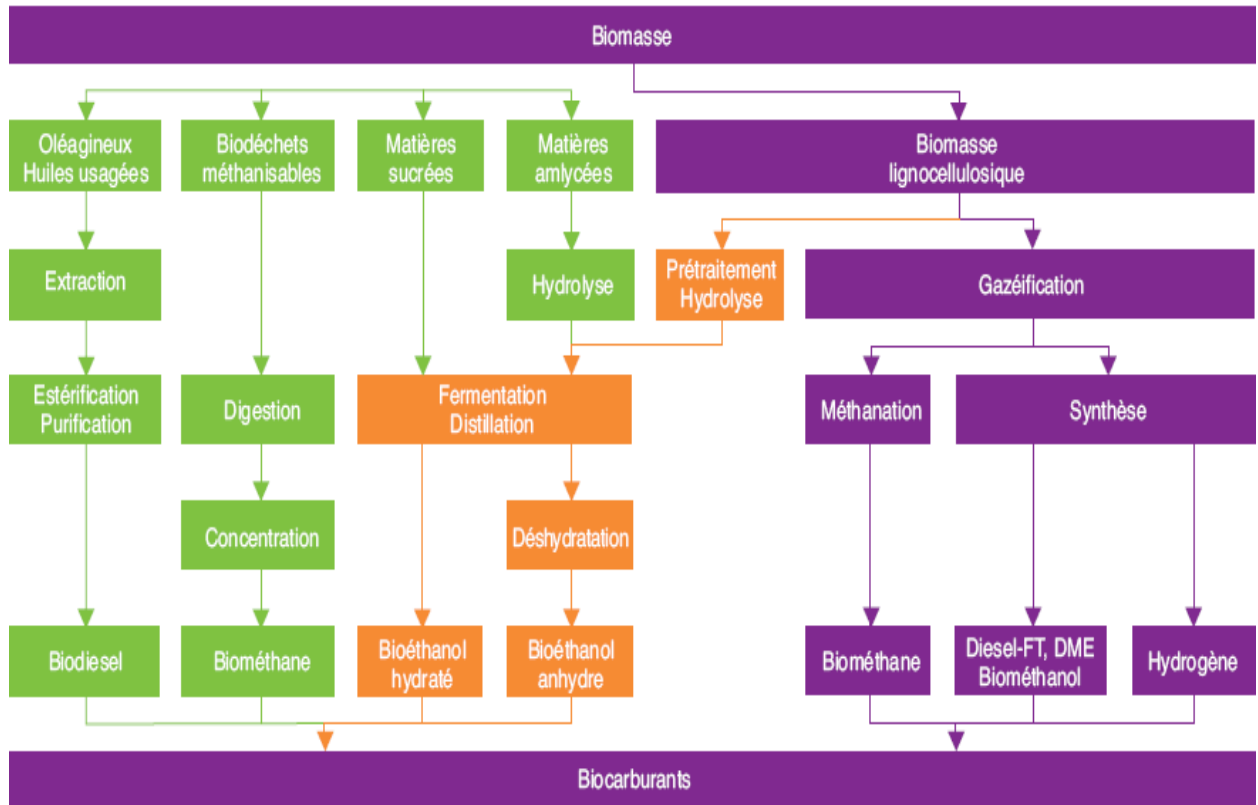


Figure I.3. Ressources de biomasse utilisées pour la fabrication de biocarburants [22].

I.4.2. Avantages et inconvénients de la biomasse

La biomasse, de par sa grande diversité animale et végétale est renouvelable et durable. Elle est donc une ressource d'énergie renouvelable, propre et respectueuse de l'environnement.

Elle est transformée selon différentes voies en vue de produire de la bioénergie et des produits d'intérêt. Par conséquent cela elle plusieurs avantages mais possède également des inconvénients ces derniers sont résumés sur le **Tableau I.3**.

Tableau I.1. Avantages et inconvénients des différentes ressources de biomasse [23].

Avantages	Inconvénients
La préservation des ressources de matière premières comme le pétrole brut	L'extension de l'utilisation de la biomasse à des terres naturelles inutilisées peut détruire les écosystèmes. La déforestation a un effet négatif substantiel sur l'empreinte carbone.
La possibilité de la production d'énergie neutre en carbone	L'apparition de monocultures (culture du maïs). La concurrence pour l'utilisation des terres restera toujours un facteur important pour la biomasse et la bioénergie.
La production de bioénergie peut améliorer la situation économique des zones rurales et freiner l'exode vers les villes	Des terres de grande valeur écologique pourraient être menacées par la promotion de la culture de plantes agricoles.
La bioénergie provenant de la sylviculture et de l'agriculture joue un rôle clé dans la lutte contre le changement climatique et elle accroît la sécurité de l'approvisionnement en énergie.	La combustion de la biomasse solide (comme le bois) cause des émissions de polluants (monoxyde de carbone, particules,...) plus importantes que la combustion de pétrole ou de gaz, à moins que des mesures supplémentaires ne soient prises.

I. 5. Les biocarburants

I. 5. 1. Définition

Les biocarburants sont des produits énergétiques d'origine végétale ou animale utilisés comme source d'énergie pour les moteurs des véhicules automobiles. L'expression «Biocarburant » (du grec bios, vie, vivant et du latin carbo, charbon, carbone). Le préfixe bio précise simplement que le carburant est d'origine biologique, produit au départ de matière [24].

I.5.2. Générations les biocarburants (1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} génération)

Les biocarburants se divisent en trois générations bien distinctes, Chaque génération varie selon la source. Les biocarburants de ces générations constituent des énergies non fossiles, renouvelables et donc permettant de répondre à l'épuisement des ressources fossiles [25].

a) Les biocarburants de 1^{ère} génération

Les biocarburants de 1^{ère} génération proviennent de l'extraction la canne à sucre ou de la betterave (éthanol), et également des huiles de maïs, colza, tournesol (diesel). Cependant, cette génération de biocarburants qui impliquent l'occupation de larges surfaces de terrain et qui entrent en compétition avec la production alimentaire, a été fortement critiquée et est peu à peu abandonnée [26].

b) Les biocarburants de 2^{ème} génération

Les biocarburants de 2^{ème} génération sont obtenus par la conversion de la biomasse non comestible (bois, plantes, déchets), en majorité la biomasse lignocellulosique, celle-ci est en effet plus intéressante disponible en grandes quantités et peu onéreuse et surtout elle ne rentre pas en compétition avec l'alimentaire [26].

c) Les biocarburants de 3^{ème} génération

La troisième génération de biocarburants est produit à partir de micro algues. En effet, certaines espèces d'algues sont naturellement riches en huile, l'idée est donc de cultiver des quantités massives d'algues pour produire du carburant. Pour y parvenir, il faut juste de l'énergie solaire, de l'eau et du CO₂. En couplant un centre de production d'algues avec une usine émettant du CO₂, il serait possible de trouver une utilité à ce gaz plutôt que de le rejeter dans l'atmosphère [25].

Tableau I.2. Différentes générations de biocarburants et les procédés de transformation pour chaque génération [27]

Génération	1 ^{ère} génération	2 ^{ème} génération	3 ^{ème} génération
Origine des substrats	grains de blé, colza, tournesol	Déchets organiques, (les dattes, la betterave sucrière...)	micro algues
Procédés mis en oeuvre	fermentation, tans estérification	gazéification, hydrolyse enzymatique, méthanisation	méthanisation, gazéification, fermentation
Produit final	bioéthanol, biodiesel	bio méthane, bioéthanol, biodiesel, bio hydrogène	bio méthane, bioéthanol, biodiesel,
Rendement énergétique mtep/ha/an	1 à 4	3,5 à 5	20 à 40
Stade de maturité technologique	industriel	industrialisation à court terme	recherche pilote

I .5.3. Produit final

Les micro algues peuvent subir différentes transformations pour être valorisées en biocarburant. Espèces de micro algues peuvent contenir des sucres et ainsi être fermentées en bioéthanol. D'autres peuvent accumuler des acides gras jusqu'à 80 % de leur poids sec, permettant d'envisager des rendements à l'hectare supérieurs d'un facteur 30 aux espèces oléagineuses terrestres. Ces acides gras doivent être extraits puis trans-estérifiés pour produire du biodiesel. Enfin, les micro algues peuvent être méthanisées pour produire du biogaz. [28].

I .5.4. Définition du bioéthanol

C'est un carburant issu de matières organiques naturelles. Il appartient à la famille des énergies renouvelables.

Cet éthanol d'origine végétale, il est très inflammable, volatile et est fortement utilisé dans les boissons alcoolisées, comme solvant et comme carburant [29].

I .5.4.1. Domaines d'utilisation du bioéthanol

Le bioéthanol peut être utilisé, sous certaines conditions, comme carburant dans les moteurs à essence, soit de 5 à 20% dans les moteurs à essence sans modification et ou de 85 à 100% dans des moteurs à essence spécifiquement adaptés.

En outre, l'éthanol peut être converti en divers produits de base de l'industrie chimique tels que, l'éthylène, l'éther et l'éthyle tertio butyle (ETBE), conventionnellement, produits à partir du pétrole. Il est à signaler que le plastique résulte de la polymérisation de l'éthylène et de l'ETBE. Mélangé à raison de 15% à l'essence, permet d'augmenter l'indice d'octane du carburant, contrairement à l'éthanol, il ne favorise pas l'évaporation des carburants et n'absorbe pas l'humidité de l'air [30].

I .5.5. Définition de biodiesel

Le biodiesel est un ester méthylique obtenu par réaction chimique avec un alcool léger et des matières grasses végétales ou animales [31].

Le biodiesel est un carburant renouvelable propre, a récemment été considéré en tant que meilleur candidat pour une substitution de gazoile parce qu'il peut être employé dans n'importe quel moteur à allumage par compression sans le besoin de modification [32].

I .5.6. Les avantages et les inconvénients de biocarburants

I .5.6.1. Les avantage

Renouvelables : il faut des milliers d'années pour produire des combustibles fossiles tandis que la matière première des biocarburants est renouvelable beaucoup plus rapidement.

Sécurité : en réduisant la dépendance sur les sources d'énergies étrangères, les pays peuvent protéger l'intégrité de leurs ressources énergétiques et se libérer des influences extérieures.

Biodégradabilité : Les biocarburants sont facilement biodégradables et beaucoup moins dangereux à manipuler que les carburants traditionnels.

Faible émission de carbone : lorsque les biocarburants sont brûlés, ils produisent significativement moins de carbone et beaucoup moins de toxine. C'est une alternative plus sûre pour préserver la qualité atmosphérique [26].

I .5.6.2. Les inconvénients

Production d'énergie : Les biocarburants ont un rendement énergétique plus faible que les carburants traditionnels et nécessitent donc une plus grande quantité pour produire le même niveau d'énergie.

Coût élevé : Raffiner les biocarburants pour produire de l'énergie plus efficace et construire des usines de fabrication nécessaires pour augmenter les quantités de biocarburants nécessitera un investissement initial important.

Les prix de l'alimentation : Certaines cultures vivrières pourraient être utilisées pour l'alimentation et pour les biocarburants (exemple du maïs). La demande augmentant, les prix risquent de s'accroître également.

Disponibilité : Les biocarburants ne sont pas encore disponibles facilement pour les consommateurs et la plupart des véhicules ne sont pas équipés pour fonctionner avec des biocarburants.

Odeur : Selon le type de biocarburant, on est parfois confronté lors de la production à des odeurs indésirables [26].

I .6. Modèles d'étude

I .6.1. La spiruline

Ce genre compte quelques espèces d'eau douce, qui forment communément des colonies fixées à des roches, à des plantes et à tout autre substrat aquatique stationnaire, mais qui peuvent en être détachées par les vagues. Bien qu'elles soient épiphytes, elles ne produisent aucun mucilage et sont donc elles même intensément colonisées par des épiphytes.

La spiruline se présente sous la forme d'un filament pluricellulaire bleu-vert, mobile, non ramifié et enroulé en spirale. Ce filament est appelé trichome ; sa forme hélicoïdale (premiers organismes apparus à la surface de la terre, il y a plus de 3 milliards d'années), observable uniquement en milieu liquide, est caractéristique du genre. C'est d'ailleurs de là que la spiruline tient son nom. Par ailleurs, contrairement à certaines autres cyanobactéries (*Anabaena*, *Nostoc*), la spiruline ne possède pas les cellules spécialisées permettant la fixation de l'azote de l'air (hétérocystes). La longueur moyenne du filament est de 250 µm lorsqu'il a 7 spires et son diamètre est d'environ 10 µm. Capable de photosynthèse et se reproduisant rapidement. Mais les paramètres de l'hélice (épaisseur, longueur) ne sont pas toujours les mêmes selon les chercheurs qui étudient la spiruline. Ainsi, le genre *Arthrospira* a été retrouvé en maints endroits dans le monde et, il a été constaté une grande variation dans la taille et la forme des trichomes [33].

I.6.1.1. Croissance de la spiruline

Grâce à ses pigments chlorophylliens, la spiruline est une espèce photo-autolithotrophe aérobique. Par conséquent, contrairement aux bactéries photo-autotrophes anaérobiques qui n'ont que le photosystème I, elle est dotée des photosystèmes I et II.

Chez la spiruline, la photosynthèse constitue la clé de sa croissance. Ce processus est un phénomène physiologique d'importance capitale, puisqu'il est indispensable à toute forme de vie animale et humaine. Ainsi sous l'action de la lumière, un organisme photosynthétique peut élaborer de la matière organique indispensable à son développement, il le fait à partir d'éléments minéraux, en absorbant le gaz carbonique et l'eau, et en rejetant de l'oxygène. Pour sa photosynthèse, la spiruline a besoin d'eau, de carbone, et d'éléments nutritifs dont l'azote en particulier. Elle assimile une source de carbone minéral (le CO₂ atmosphérique) et la convertit en énergie biochimiquement utilisable représentée par le glucose [34].

I.6.2. La Spirogyra

La spirogyre verte filamenteuse est une plaie en aquarium, car elle parvient à tuer toute plante aquatique envahie et lui servant de support. La spirogyre est une algue non ramifiée avec des cellules ensachées de bout en bout dans de longs filaments du système reproducteur connecté. Ce genre d'algues vertes subit un cycle de vie haploïde-dominant.

I.6.2.1. Description

Le genre *Spirogyra* comporte 300 espèces que l'on peut différencier selon différents critères végétatifs (nombre de plastes, cloisons) et de reproduction. Ces algues ont l'aspect de masses

«floconneuses » d'une couleur vert vif à sombre (en période de reproduction, elles deviennent brun jaunâtre). Elles sont recouvertes d'une substance visqueuse qui leur confère un toucher gluant.

Elles se développent à la surface de l'eau et sont rarement fixées par leur base, mais dans le cas contraire, elles peuvent posséder des rhizoïdes .Elles se présentent comme de fins filaments simples, non ramifiés. Au microscope, on peut distinguer dans les cellules des éléments rubanés en hélice, de couleur vert vif .ce sont les plastes ou chloroplastes (organes de la photosynthèse) contenant la chlorophylle [35].

I.6.2.2. Espèces ressemblante

Les genres Spirogyra, Mougeotia et Zygnema se ressemblent fortement. Ces algues ont toutes un toucher "gluant" qui les distingue des algues du genre Cladophora qui sont plus "rêches".

De même, leurs filaments ne sont pas ramifiés contrairement aux filaments des cladophores. La distinction entre ces genres ne peut se faire que via l'usage de la loupe binoculaire. Les algues du genre Spirogyra sont les plus répandues [36].

I.6.2.3. Reproduction - multiplication

Les spirogyres se reproduisent, de façon sexuée, en échangeant de l'ADN entre deux cellules : dans un ensemble de filaments parallèles, certains jouent le rôle de la femelle et d'autres celui du mâle. Les cellules de filaments adjacents développent des extensions tubulaires qui croissent l'une vers l'autre et fusionnent finalement pour former un tube continu entre les deux cellules. Simultanément, chaque cellule a formé une sphère. La sphère du filament mâle, après s'être frayé un chemin au travers du tube, fusionne avec la sphère de la cellule femelle.

Le résultat de cette fécondation est un zygote (zygospore) dans le filament femelle. Après une période de faible activité, le zygote subit une méiose et germe, créant un nouveau filament.

Le cycle saisonnier est caractérisé par un développement précoce au printemps où de nouveaux filaments prennent naissance à partir des zygotes. Spirogyra fait partie des premiers genres d'algues à apparaître. Cependant, elles ne peuvent maintenir une activité photosynthétique à des températures élevées combinées à un faible éclaircissement et ne paraissent pas supporter les effets indirects de l'exposition prolongée à l'ombre. C'est pourquoi elles peuvent disparaître vers le milieu du mois de juin ou prolonger leur existence jusqu'à l'automne [37].

I.7. conclusion

De ce chapitre en conclue que :

- Définir des algues et regroupe des généralités sur les algues, les espèces et les différentes système de culture.
- Définir les différentes générations de biomasse et avantages et les inconvénients de chaque génération
- Les biocarburants le plus assurant sont les biocarburants de troisième génération ou les algo carburants issu de la biomasse d'algue

II.1. Introduction

La raréfaction des sources d'énergie non renouvelables, la pollution de l'environnement, le réchauffement de la planète et l'augmentation du coût du pétrole sont à l'origine du développement de la production de carburants renouvelables, respectueux de l'environnement et à faible coût. La production de bioéthanol est l'un des matériaux prometteurs qui peut subroger l'huile de pétrole, et il est considéré récemment comme un combustible liquide propre ou un carbone neutre [38]. La fermentation alcoolique consiste en une biotransformation des jus de fruits ou toute solution sucrée par les levures, principalement *Saccharomyces cerevisiae* des sucres du moût, principalement le glucose et le fructose en éthanol et en dioxyde de carbone .

Ce chapitre montre les méthodes, les techniques utilisées pour la fermentation alcoolique de la biomasse des algues

II .2. Historique

La fermentation est une opération connue depuis les anciens temps. Elle a été utilisée par divers peuples (égyptiens, sumériens, Babyloniens, ..) pour la préparation de produits alimentaires comme le pain, les fromages, les boissons alcoolisées, etc. Actuellement, la fermentation est utilisée industriellement pour la fabrication de produits d'intérêt alimentaire (yaourts, bière), pharmaceutique (antibiotiques, vitamines, anticorps, etc.) et chimique (bioéthanol, acides gras,...). La fermentation alcoolique (qui produit des alcools) consiste en une biotransformation des jus de fruits ou toute solution sucrée en vin et fait intervenir des phénomènes physiques, biochimiques et biologiques complexes. Elle consiste en la transformation par les levures, principalement *Saccharomyces cerevisiae* des sucres du moût, principalement le glucose et le fructose en éthanol et en dioxyde de carbone. Dans une fermentation alcoolique en batch, environ 30 à 35% de la source de carbone est convertie pour produire la biomasse cellulaire tandis que 50% d'hydrates de carbone est transformée en éthanol. Le reste des sucres est utilisé pour la production de l'énergie et l'entretien des cellules. Par ailleurs, les méthodes moléculaires basées sur l'analyse de l'ADN sont maintenant utilisés pour identifier rapidement la levure jusqu'à son espèce [39]. Les fermentations sont des procédés multiphasiques. Ceci pose des contraintes biologiques et physico-chimiques. Les cellules vivantes constituent un système organisé avec des entrées de substrats, d'oxygène, de facteurs de croissance et des sorties de déchets comme le CO₂ et l'éthanol. La partie active de la matière vivante, que constituent les protéines, nécessite un environnement adéquat du point de vue du pH, de la température. Ceci permet le développement, la maintenance et la reproduction des cellules dans de bonnes conditions [40].

II .3. Processus de fabrication du bioéthanol

Le procédé de production d'éthanol d'algues verte en tant que matière première, passe par deux étapes essentielles, saccharification de la cellulose qui contiennent les algues vertes en glucose, et la production d'éthanol par fermentation du glucose en milieu anaérobique [41].

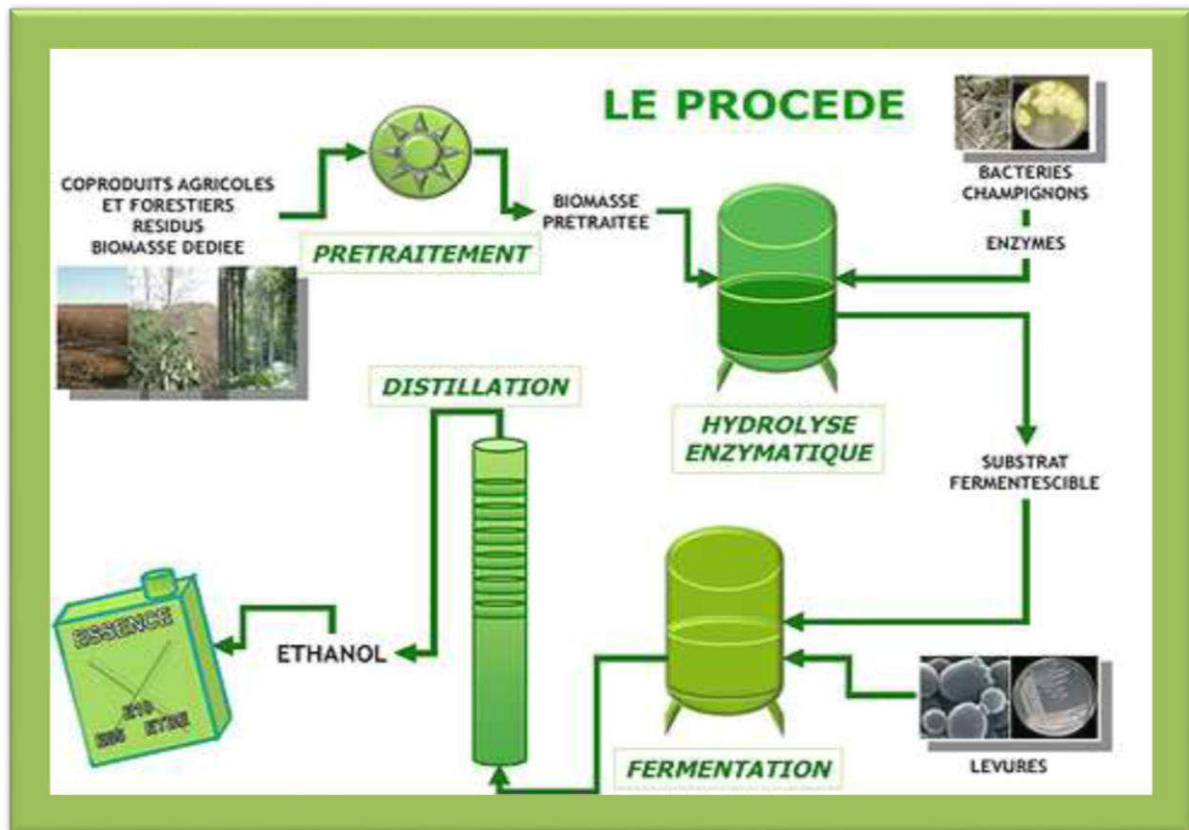


Figure II.1 : Procédé de production de bioéthanol [25]

II .3.1. Prétraitement de la biomasse algue

C'est un traitement nécessaire pour rendre la cellulose accessible à l'hydrolyse (modifier les propriétés physiques et physicochimiques de la lignocellulosique) par différentes actions. Ces actions peuvent être en fonction du type de prétraitements [42], Le processus de production de bioéthanol par fermentation alcoolique est précédé d'une étape de séchage et broyage de la biomasse algale suivi d'un hydrolyse soit acide soit enzymatique [43].

II .3.2. Description et étapes de la fermentation

La fermentation alcoolique est une réaction exploitée depuis des siècles. Elle se fait grâce à l'espèce de levures *Saccharomyces cerevisiae*. D'autres levures ou bactéries peuvent également être utilisées. Cependant, l'utilisation d'un substrat formé de sucres complexes implique des difficultés spécifiques. D'une part, toutes les levures et bactéries ne peuvent pas convertir ces sucres en éthanol. D'autre part, des inhibiteurs de fermentation peuvent être formés lors de

l'opération. Avant donc de commencer une fermentation on a recours au procédé d'hydrolyse qui est considérée comme un prétraitement afin de rendre la biomasse utilisée dans ce procédé accessible aux micro-organismes.

II .3.3. Hydrolyse

Le prétraitement acide de la biomasse (plantes lignocellulosique, résidus d'agriculture, algues, etc.) a reçu une attention considérable de la recherche. Les hémicelluloses sont les premiers des constituants de la biomasse à se rompre durant l'hydrolyse acide. Lorsque l'acide sulfurique est utilisé, une concentration de 0,01 M est généralement suffisante pour rompre les hémicelluloses en leurs monomères [44]. Par exemple, le saccharose présent dans cette biomasse peut ainsi être hydrolysé en glucose et en fructose en milieu acide.

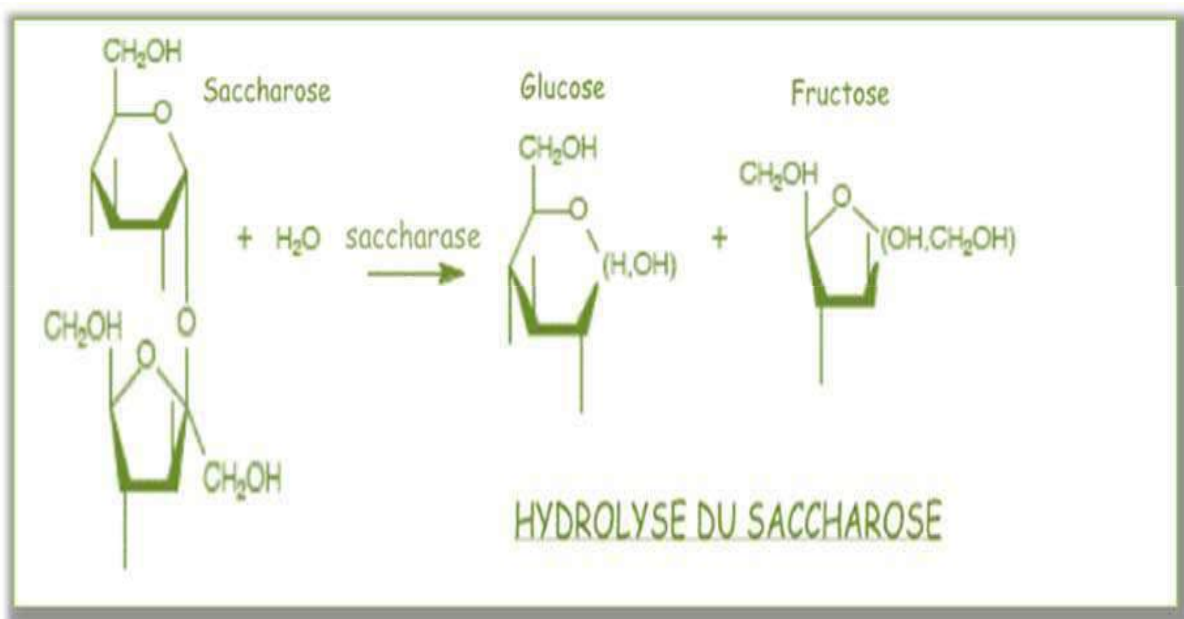


Figure II.2. Hydrolyse du saccharose [45].

II .3.4. La fermentation alcoolique

La fermentation alcoolique consiste à transformer les sucres fermentescibles en anaérobiose par des levures en alcool et gaz carbonique avec dégagement de calories selon la réaction suivante :



La fermentation alcoolique (Figure .II.3), est réalisée dans un milieu riche en sucres. Le moût est introduit dans le fermenteur puis inoculé avec le milieu de pré-fermentation. La fermentation dure de 40 à 72 heures et la température est fixée ente 28 et 30°C [46]. Les sucres les plus abondants sont le glucose et le fructose. L'espèce de levures principalement responsable de la

fermentation alcoolique est *Saccharomyces cerevisiae*. La voie métabolique utilisée pour la consommation de sucres, en condition anaérobie, qui comporte la glycolyse, produit dans cette étape deux molécules d'ATP pour une molécule de sucre consommé. Durant cette réaction, deux molécules de cofacteur NAD^+ sont réduits en NADH . La production d'éthanol à partir du pyruvate de la glycolyse est la conséquence de la réduction de ces cofacteurs. Lors de la fermentation alcoolique, En anaérobiose, les levures ne transforment pas tout le glucose en éthanol et en gaz carbonique, de petite quantité de pyruvate sont utilisées pour assurer la maintenance cellulaire. Théoriquement, la fermentation alcoolique devrait permettre d'obtenir une quantité d'éthanol équivalente à 51.1% du glucose catabolisé [47].

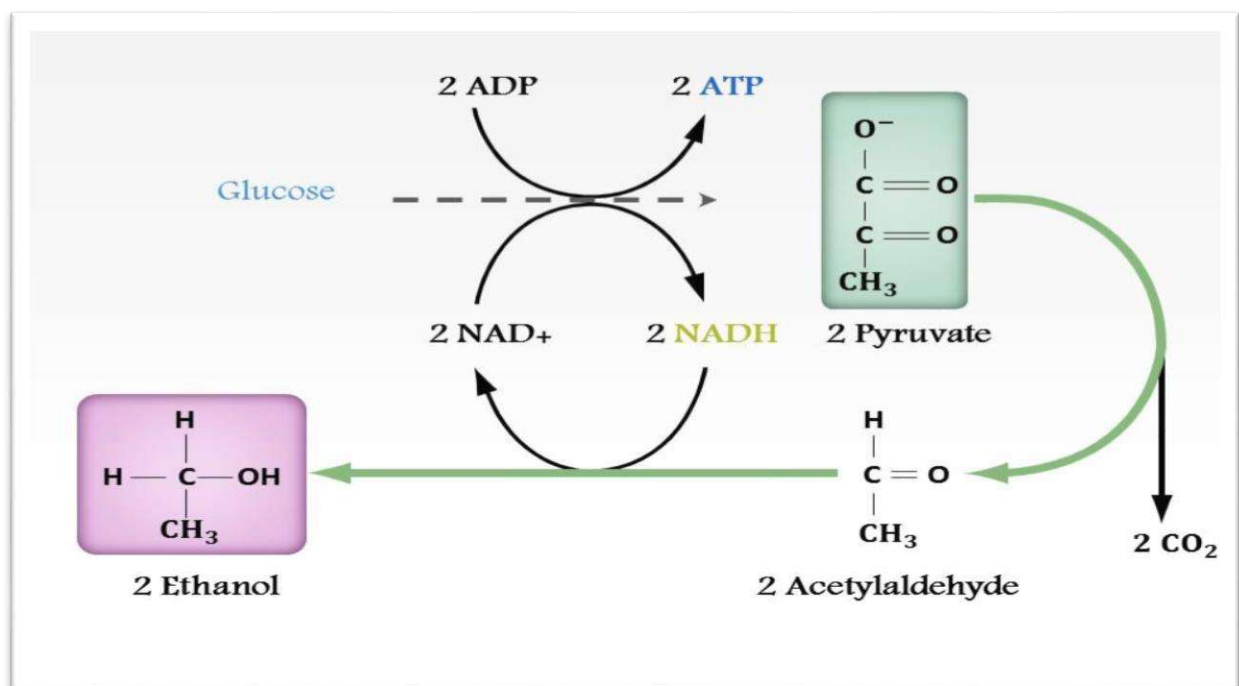


Figure II.3 : Fermentation de l'éthanol à partir du glucose [48].

II .4. Définition de la levure boulangère type (*saccharomyces cerevisiae*)

Les levures peuvent être définies comme des eucaryotes microscopiques. Elles sont des Hétérotrophes faisant partie du groupe des champignons dont on les distingue par leur caractère Unicellulaire et l'absence de vrai mycélium (au moins dans la plus grande partie de leur cycle biologique) largement distribuées dans la nature. Elle a été découverte, isolée et identifiée au milieu du XIXème siècle. Ce champignon, capable de métaboliser des sucres (saccharo-) responsable de la fermentation fut appelé *Saccharomyces cerevisiae* par Mayen en 1837 [49].

II .4.1. Morphologie et Structure

Les levures se caractérisent par la présence d'un :

- Noyau.
- Mitochondrie.
- Appareil de Golgi.
- Chromosomes.

Les cellules végétatives sont généralement ovoïdes ou sphériques. Leur taille cellulaire varie de quelques microns jusqu' à 25 à 30 microns [50].

II .5. Récupération et purification des produits de fermentation

Ultérieurement fermentation, l'éthanol se trouve dans un moût contenant essentiellement de l'eau et des composés provenant de la dégradation de la biomasse, des substances ajoutées au cours du procédé cependant également d'autres molécules produites par les micro-organismes simultanément à la production d'éthanol, comme les alcools excellents. Après la filtration de moût la concentration d'éthanol dans la solution est lavée. Pour réussir un alcool biocarburant, il faut d'abord le concentrer et le purifier par distillation et rectification. Ensuite, il faut le déshydrater pour éliminer toute trace d'eau.

II .5.1. Distillation du bioéthanol

C'est l'opération classique de récupération de l'alcool éthylique résultant de la fermentation ; elle s'opère dans des colonnes à distiller. Ainsi le moût alcoolisé est réchauffé à 75 °C puis éjecté dans la partie supérieure d'une colonne de distillation qui comporte des plateaux superposés. Le moût alcoolisé tombe sur le premier plateau et descend de plateau en plateau pour aboutir à la base de la colonne, inversement de la vapeur est injectée sous pression à la base de la colonne et progresse vers la haut en traversant successivement tous les plateaux. Elle entre ainsi en contact direct avec le liquide. Le moût s'épuise petit à petit de son alcool en descendant de plateau en plateau. Arrivé au bas de la colonne, ce liquide épuisé appelé vinasse est éliminé. La vapeur s'enrichit au contraire en alcool à mesure qu'elle gagne le sommet de la colonne. Lorsqu'elles sont par le haut, elle se refroidit dans un condenseur et passe à l'état liquide [51].

II .5.2. Déshydratation

Avant tout usage, l'éthanol doit être déshydraté. En effet, les alcools issus de la rectification sont des alcools à 94%. Une déshydratation jusqu'à 99.7% est nécessaire, elle peut être réalisée via diverses techniques: ajout de réactifs déshydratants tels que la chaux ou la baryte, déshydratation sous vide,

déshydratation extractive. Mais, la méthode la plus employée est la déshydratation par entraîneur azéotropique [52].

Cette schéma est résume les étapes fondamental pour la production de bioéthanol par la fermentation

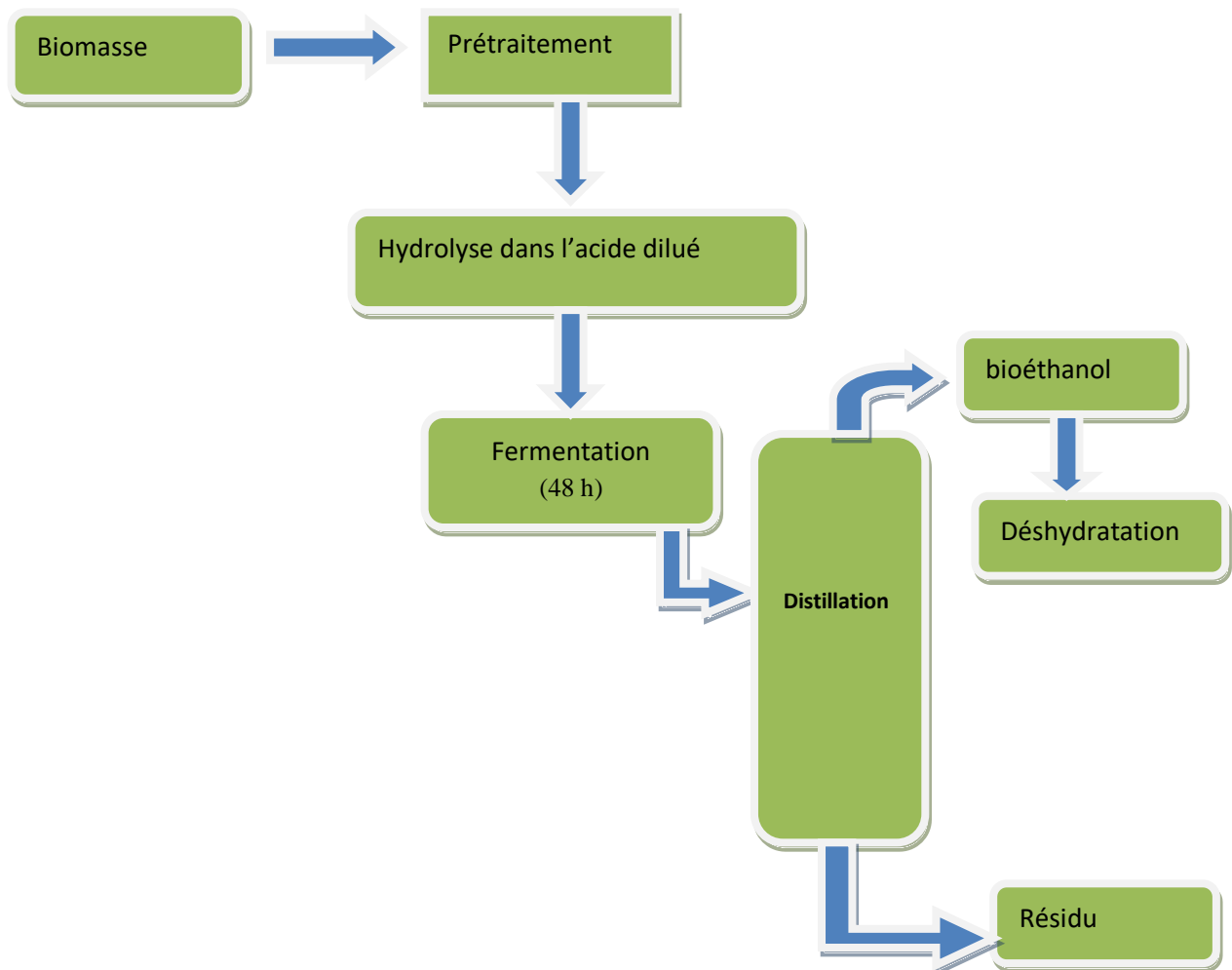


Figure II. 4 : Schéma représentatif des étapes de production de bioéthanol des algues local.

II .6. Les facteurs influençant sur la fermentation alcoolique

Certains facteurs ont une influence sur la fermentation alcoolique, et cela dépend des conditions suivantes [53] :

- l'acidité de milieu ;
- La température ;
- Le taux l'alcool accumulé ;
- La formation des inhibiteurs de fermentation aux cours de l'hydrolyse acide (furfural et hydro-méthyle furfural) ;
- Le taux d'oxygène
- La teneur en carbohydate de la biomasse

II .7. Conclusion

La fermentation alcoolique se déroule dans un milieu anaérobique, la composition de la biomasse d'algue, notamment la nature de carbohydate qu'elle contient exige une série de prétraitement afin d'avoir des sucres fermentables par la levure *Saccharomyces cerevisiae*.

L'objectif est d'avoir un rendement optimal de la fermentation alcoolique, et cela par contrôle des conditions de fermentation.

Pour utilisé le bioéthanol d'algues « *SPIROGIYRA_{sp}* , *SPIRULUN sp* » dans le domaine de biocarburant, les étapes de séparation et de purification sont nécessaires notamment la distillation et le séchage afin d'avoir un bioéthanol conforme au fiche technique de biocarburant.

III. 1. Introduction

Dans un but de mettre en œuvre des manipulations en vue de produire du bioéthanol à partir des algues, des méthodes expérimentales inspirées de travaux antérieurs ont été sélectionnées. La fermentation alcoolique en milieu anaérobie utilisée dans le cas de la biomasse riche en carbohydrate, l'hydrolyse en milieu acide est le procédé le plus répandu comme procédé de prétraitement de la biomasse algale, Vu la diversité et la différence de la composition de chaque type d'algue, la caractérisation de la biomasse est une étape importante avant de procéder à l'étape d'exploitation en tant que biomasse de biocarburants. Ce chapitre comporte deux sections, la première est consacrée à l'identification et l'extraction des lipides par voie Soxhlet modifier et caractérisation de la biomasse, Tandis que la seconde, présente la synthèse de bioéthanol à partir de la biomasse par voie de fermentation alcoolique.

III .2. Identification de type les algues utilisées

Pour identifier le type d'algue on a procédé à une vue microscopique

L'algue a été prélevée de la zone d'irrigation « N'GOUSSA » (figure III. 1).



Figure III. 1 : le site de prélèvement de l'algue SPIRULUN sp

L'algue a été prélevée de la zone d'irrigation « EL OUED » (figure III. 2)

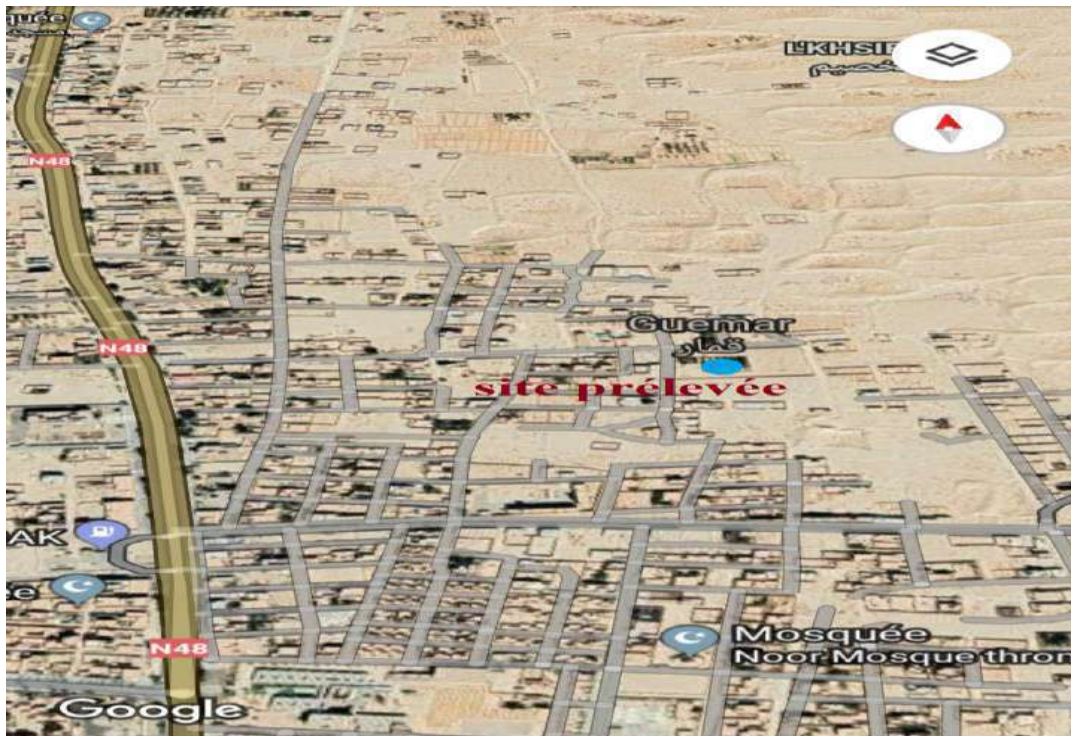
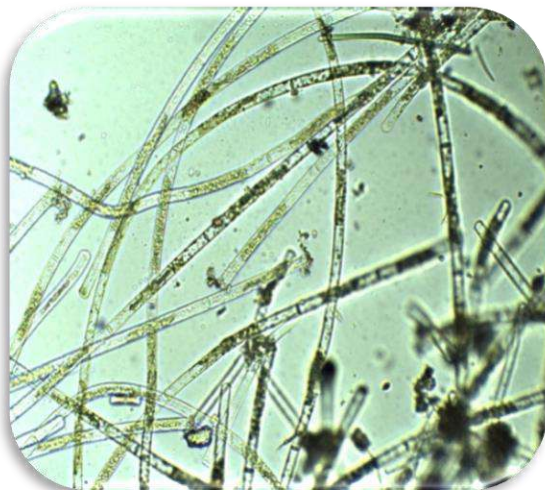


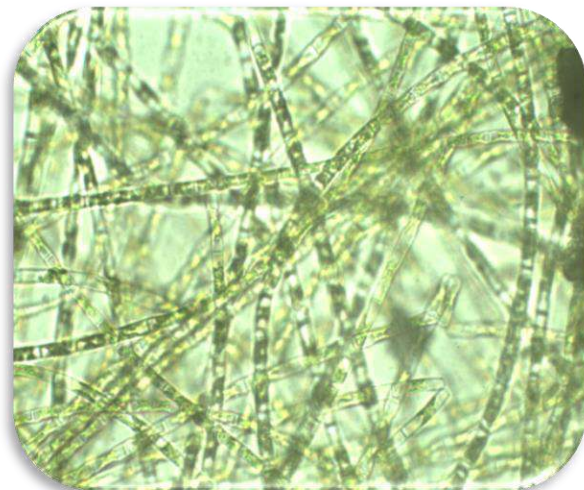
Figure III. 2 : le site de prélèvement de l'algue SPYROGIYRA

La vue microscopique montre que notre algue est filamenteuse (figure II 3) .

La vue réalisée avec le microscope a camera (figure III. 22. en annexe 2)



(A) algue de SPIRULUN sp



(B) algue de SPIROGIYRA

Figure III.3 : Vue microscopique des algues

III .3. Caractérisation de la biomasse d'algue

La caractérisation de la biomasse consiste à l'étude de l'influence de temps de séchage sur la teneur en lipides ainsi que la composition biochimique de la matière sèche qui sera utilisée pour les expériences expérimentales.

III .3.1. Préparation de l'échantillon

La préparation de l'échantillon pour analyse consiste à la récolte de la biomasse d'algue et lavage avec de l'eau distillée pour éliminer les impuretés et le séchage à l'abri de la lumière, suivi d'un broyage (figure III.4)



Figure III. 04 : Les étapes de la préparation de la biomasse.

III .3.2. Extraction des lipides par la méthode de Randall

La teneur en lipides dans la biomasse algale est un paramètre primordial et facteur déterminant et tranchant dans le type de biocarburant synthétisée, d'où le suivi de leur taux d'extraction en fonction de temps de séchage avec la méthode d'extraction de Randall.

A. Principe d'extraction

La matière grasse est extraite à l'aide de Hexane, utilisé comme solvant, au moyen de la méthode de Soxhlet modifiée par Randall, la prise d'essai est immergée dans le solvant en ébullition, puis rincée dans le solvant froid, ce qui permet de réduire la durée de l'extraction, le solvant dissout les graisses, huiles, pigments et autres substances solubles, après l'extraction le solvant est évaporé et récupéré par condensation. La teneur en matière grasse est déterminée par gravimétrie après séchage (figure III.5).

B. Mode opératoire**extraction dans un appareil soxhlet**

Transférée la prise d'essai précédents dans une cartouche d'extraction et la placer dans un appareil soxhlet, on ajoute un volume de 2/3 de hexane , puis la mise en marche de l'appareil soxhlet pendant une durée de 03 heure .

Récupéré le solvant d'extraction par le rota-vapeur et sécher le ballon soxhlet dans une étuve réglé à $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ pendant 2 heure , temps suffisant pour éliminer l'eau .

Un séchage excessif peut oxyder la matière grasse et donner des résultats élevés. Refroidir dans un dessiccateur jusqu'à température ambiante et peser la masse, m3 a 0.1 mg près.



(A) extraction



(B) récupération de solvant

Figure III. 5 : Les étapes de l'extraction des lipides des algues.

D . Calcule et expression des résultats

Calculer la teneur en matières grasses de l'échantillon pour essai, W, sous forme de fraction massique en pourcentage, a l'aide de l'équation suivante :

$$W_o = \left[\frac{m_3 - m_2}{m_1} \right] \times 100 \quad \text{(III. 01)}$$

Avec :

Wo : le pourcentage de la teneur en matière grasse en masse tel quel.

m3 : la masse de ballon soxhlet après le séchage en gramme

m2 : la masse de ballon vide préalablement séché en gramme

m1 : la masse de la prise d'essai en gramme

III .3.3. Teneur en sucre totaux (carbohydrate)

méthode de luff – schoorll (voir annexe 2)

Les carbohydrate sont la composition la plus importante dans la biomasse algale exploitée dans la production de biocarburant de 3ème génération, d'une manière sert a l'opération de fermentation pour la production de bioéthanol algale,

La détermination de leur teneur dans l'algues « SPYROGIYRA_{sp} , SPIRULUN sp » est effectuée par la méthode de luff-schoorl .

Le principe de la méthode est basé sur l'hydrolyse des sucre non réducteur dans un acide diluer a chaud et les dosé avec la solution de thiosulfate de sodium.



(A) Mise en solution et filtration



(B) hydrolyse acide



(C) titration des sucres

Figure III.6 : Les étapes de titration des sucres totaux des algues.

L'expression des résultats de la teneur en sucre réducteurs avant inversion selon la formule suivante (III.05) :

$$SI\% = \left[\frac{s*200*250*100}{25*10*10*1000} \right] = 2S \quad (\text{III.02})$$

Soit S le nombre de mg de sucre inverti correspondant au thiosulfate utilisé (n2-n) selon le tableau de luff-schoorl

L'expression des résultats de la teneur en sucre réducteurs totaux après inversion selon la formule suivante (III.06) :

$$SIT\% = \left[\frac{s*200*250*100}{25*10*10*1000} \right] = 2S1 \quad (\text{III .03})$$

Soit S1 le nombre de mg de sucre inverti correspondant au thiosulfate utilisé (n2-n1)

Les résultats de la caractérisation de la biomasse des algues " SPYROGIYRA_{sp} " , "SPIRULUN_{sp} " , dans le tableau suivant (tableau III. 01).

Tableau III. 1 : Résultats de caractérisation de la biomasse d'algues
« SPYROGIYRA_{sp} , SPIRULUN sp »

Les algues	Paramètres	Résultats
SPIRULUN sp	Lipides % / MS	19
	sucre totaux % /MS	34.4
SPYROGIYRA _{sp}	Lipides % / MS	0.18
	sucre totaux % /MS	82.6

III .4. La fermentation alcoolique

La composition et la teneur élevée en carbohydate de SPIRULIN sp et SPIROGIRA , nous oriente vers la synthèse d'un biocarburant liquide de type bioéthanol .

III .4.1. Echantillonnage et préparation de l'extrait algal

La collecte de le micro algue SPIRULIN sp et SPIROGIRA suivi d'un lavage avec de l'eau distillée et séchage au niveau de laboratoire , L'algue séchée est finement broyée et utilisée dans la préparation de l'extrait algal et cela par un mélange d'un rapport de 10% (p /v) de la farine d'algue et l'acide sulfurique de concentration de 6% .

Prétraitement par hydrolyse acide

L'extrait algal préparé et après l'ajustement du pH à 2 , la solution a été incubée dans un bain mari pendant une heure à 65 °C et suivie de nouveau d'un ajustement du pH à 4 . La solution filtrée et le filtrat récupérer pour servir d'extrait algal.



(A) Incubation à 65°C



(B) Filtration



(C) ajustement du pH

Figure III.7 : Les étapes préparation de les solution des algues.

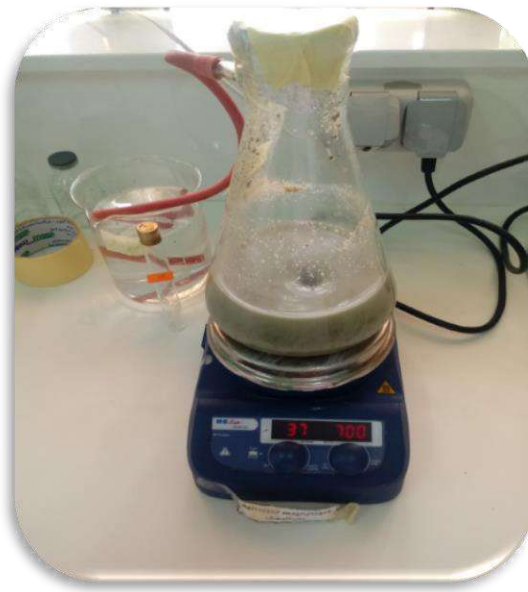
III .4 .2 . Fermentation alcoolique dans un milieu anaérobiose

Nous mettons L'extrait algal préparé et hydrolysé dans l'acide Dans une fiole à vide on met l'extrait algal et la levure *Saccharomyces cerevisiae* et on procède à éliminé l'aire par une pompe à vide.

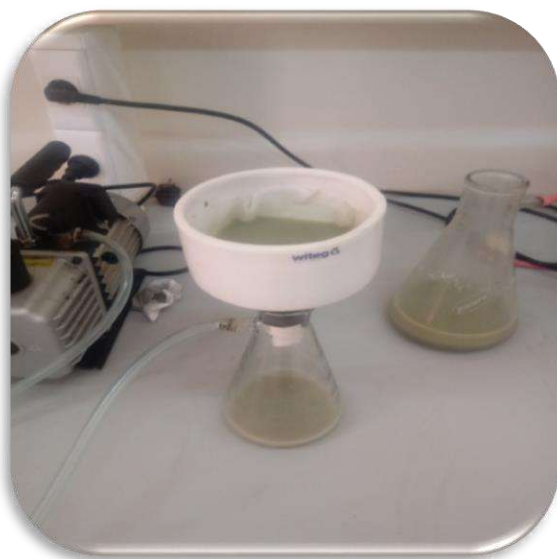
On place le contenu de la fiole à vide sur agitateur magnétique chauffant à 37°C , Apres une fermentation de 48 H on procède à une filtration.



(A) élimination d'air



(B) fermentation à 37°C



(C) filtration après la fermentation



(D) après filtration

Figure III.8 : Les étapes de la fermentation alcoolique réalisée.

Le procédé de distillation simple est utilisé pour séparation de bioéthanol obtenu de la fermentation.(figure III.9) et l'éthanol obtenu (figure III.10) doit être séché .



Figure III.9 : Distillation simple de bioéthanol.



Figure III.10 : le bioéthanol obtenu

Le tableau suivant (tableau III. 2) résume les quantités de la biomasse utilisée et la quantité d'alcool obtenu.

Tableau III.2 : les quantités utilisées pour réaliser l'expérience de fermentation.

La composition	Spirulin	Spirogira
Masse de la farine d'algue (g)	19.4220 g	50.076 g
Volume de l'acide sulfurique 6% utilisé (ml)	250 ml	400 ml
La masse de la levure Utilisée (g)	20 g	55 g
Le volume de l'éthanol obtenu	13 ml	22ml

III .4.3. Rendement de la fermentation

La teneur en éthanol dans l'extrait algal est de :

➤ **Cas de algue SPIROGIRA :**

400 ml de l'extrait d'algal → 14.98 grs

1000 ml de l'extrait algal → X

$$X = \frac{1000 * 14.98}{400} = 37.45 \text{ g/l}$$

Le rendement de fermentation par rapport à la matière sèche :

$$R\% = \left[\frac{\text{masse d'alcool obtenu}}{\text{masse de la biomasse sèche utilisée}} \right] \times 100 \quad (\text{III .02})$$

$$R\% = \left(\frac{14.98}{50.076} \right) = 29.96\%$$

Le rendement par rapport à la teneur en carbohydate dans la biomasse

$$R\% = \left[\frac{\text{masse d'alcool obtenu}}{\text{masse de carbohydate dans la biomasse}} \right] \times 100 \quad (\text{III .03})$$

$$R\% = \left(\frac{14.98}{38.92} \right) \times 100 = 38.48\% \text{ / masse des carbohydate}$$

Le taux de glucose dans le jus d'algue converti en bioéthanol :

D'après la réaction de fermentation suivante ;



$$M(\text{glucose}) = 180,15 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{éthanol}) = 46,07 \text{ g/mol}$$

Le taux de glucose converti en éthanol théorique est de = $\frac{\text{masse de éthanol}}{\text{masse de glucose}}$ (III.04)

$$\text{taux de glucose converti} = \left[\frac{\text{taux pratique}}{\text{taux theorique}} \right] \times 100 \quad (\text{III .05})$$

$$\text{taux de glucose converti en bioethanol} = \left[\frac{38.48}{51.15} \right] \times 100 = 78.24\%$$

➤ **Cas de algue SPIRULIN sp :**

La teneur en éthanol dans l'extrait algal de Spirulin est de :

250 ml de l'extrait d'algal → 3.91 grs

1000 ml de l'extrait algal → X

$$X = \frac{1000 * 3.91}{250} = 24.48 \text{ g/l}$$

Le rendement de fermentation par rapport à la matière sèche :

$$R\% = \left[\frac{\text{masse d'alcool obtenu}}{\text{masse de la biomasse sèche utilisée}} \right] \times 100 \quad (\text{III .02})$$

$$R\% = \left(\frac{3.91}{19.4220} \right) * 100 = 20.13\%$$

Le rendement par rapport à la teneur en carbohydrate dans la biomasse

$$R\% = \left[\frac{\text{masse d'alcool obtenu}}{\text{masse de carbohydrate dans la biomasse}} \right] \times 100 \quad (\text{III .03})$$

$$R\% = \left(\frac{3.91}{27.96} \right) \times 100 = 13.98\% \text{ / masse des carbohydrate}$$

$$\text{taux de glucose converti en bioethanol} = \left[\frac{13.98}{51.15} \right] \times 100 = 27.33\%$$

La caractérisation de la biomasse utilisée et la réaction chimique de fermentation, nous permet de calculer les valeurs inclus dans le tableau suivant (tableau III.3) :

Tableau III. 3: la biomasse utilisée et résultats de fermentation

Paramètres	Spirulun	Spirogyra
Masse de la farine d'algue utilisée(g)	50.0766 g	19.4220 g
Teneur en carbohydrate Correspondante(g)	27.96 g	38.92 g
La masse de l'éthanol obtenu (g)	3.91 g	14.58 g
La masse d'éthanol théorique (fermentation 100%)	14.30 g	19.90 g
Rendement de la fermentation	27.34 %	73.26%

III .5. Caractérisation de bioéthanol obtenu

III .5.1. Les caractéristiques physiques

Les caractéristiques physiques de bioéthanol obtenu effecteur sont :

La densité, la viscosité, le pH et l'indice de réfraction.

III .5.1.1. La densité

La mesure de la densité d'éthanol obtenue par le moyen pycnomètre (Figure III. 19. en annexe 2)

Il est composé d'une fiole à Cole rodé d'une capacité de 25 ml et d'un bouchon percé d'un tube très fin (capillaire). après la pesée dans une balance de précision le pycnomètre à vide , on va le remplir avec de l'éthanol et lorsque l'on ajuste le bouchon sur la fiole, le trop-plein de liquide s'échappe par l'extrémité supérieure du tube , le volume de liquide est déterminé avec une grande précision, on va le peser à nouveau le pycnomètre plein de l'éthanol et on mesure la température de produit . La correction de la densité mesurée en fonction de la température par la relation suivante :

$$D^{420}=d^T+ 0,00068 (T-20) \quad \text{(III.06)}$$

Avec:

D^{420} : la masse volumique à 20°C

d^T : la masse volumique à température de mesure

T: la température de mesure

III .5.1.2. La viscosité

La viscosité de bioéthanol obtenu est mesurée à l'aide d'un viscosimètre à chute de bille .

Le viscosimètre à chute de bille est basé sur le principe de mesure d'Höppler. Une bille sphérique tombe lentement dans un tube bien calibré renfermant le liquide visqueux. On mesure la durée (t) que met la bille pour parcourir une certaine distance η . On montre que la viscosité dynamique $\eta = K \cdot t$. proportionnelle à la durée t : Le tube est monté sur un pivot à roulement à billes qui autorise une rotation à 180° du tube, permettant ainsi de démarrer immédiatement un nouveau test. Trois mesures sont effectuées puis un temps moyen de chute est retenu. (figure III.20 en annexe 2).

Le dispositif accompagné d'une sphère (bille de stainless steel) se déplace sous l'action de la pesanteur dans un tube en verre qui contient le bioéthanol à expérimenter. La bille atteint

rapidement une vitesse limite, ce qui permet de calculer la viscosité du liquide. On mesure le temps nécessaire à la bille pour parcourir la distance entre deux traits gravés sur le tube en verre.

D'après la formule ci-dessous, on peut calculer la viscosité dynamique :

$$\mu = k \times (\rho_b - \rho_{\text{éth}}) \times t \quad (\text{III.07})$$

Avec

t : le temps de chute de la bille par minute

$\rho_{\text{éth}}$: la masse volumique d'éthanol (g/cm³)

ρ_b : la masse volumique de bille (8,03 g/cm³)

k : constante viscosimètre 3,3 pour volume 2 L'unité de viscosité obtenu est centpoise (1cp= mPa/s)

On calcule la viscosité cinématique par la relation suivante :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho_{\text{éth}}} \quad (\text{III.08})$$

Avec :

μ : la viscosité dynamique

$\rho_{\text{éth}}$: la masse volumique de l'éthanol

III .5.1.3. L'indice de réfraction

L'indice de réfraction d'une matière, est un nombre qui caractérise le pouvoir qu'à cette matière, à ralentir et à dévier la lumière. (figure III.21. en annexe 2), Elle est le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide et la vitesse de la lumière dans le corps transparent. Une formule empirique permet d'évaluer l'indice de réfraction d'un liquide à 20°C quand on l'a mesuré à une température différente

Avec:

n^{20} : l'indice de réfraction à 20°C

n^T : l'indice de réfraction à température de mesure

T: la température de mesure

Le réfractomètre d'ABBE atago 3T a été utilisé pour la détermination de l'indice de réfraction de bioéthanol obtenu (Figure III.21 en annexe 2), après la mise en marche on cliquons sur le touche ON/OFF, ajusté l'échelle avec de l'eau distillée puis le sécher et déposer une quantité suffisante d'éthanol à l'aide d'une pipette Pasteur sur le prisme fixe et refermer le prisme mobile, puis regarder dans l'oculaire et amener dans le champ de vision du séparation entre la zone claire et la zone foncée, et dans l'afficher de température enregistre la température de mesure et pour la correction en 20°C on applique la formule suivante (III.09) [54] :

$$n^{20} = n^T + 0,00035 (T-20) . \quad (\text{III.09})$$

III .5.1 .4. Mesure de pH

Selon Sorensen, le pH est défini comme étant le logarithme négatif de la concentration en ions H_3O^+ :

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

La mesure du pH s'effectue comme suit :

Dans une fiole jaugée de 100 ml on introduit 1 gramme de bioéthanol et on complète jusqu'à trait de jauge avec de l'eau distillée, la mesuré sera effectuer directement avec le pH-mètre Mettler Toledo Seven EASY S20 . (figure III. 22 . en annexe 2)

Plonger l'électrode dans l'échantillon et presser sur la touche **READ** pour commencer la mesure le point décimal clignote. L'afficheur indique le pH de l'échantillon et le réglage de base de l'appareil est point final automatique **A**. Lorsque les indications du capteur se sont stabilisées, l'afficheur se fige automatiquement et affiche racine A . Pour ce point final automatique [55].

Les résultats obtenus sont résumé dans le tableau suivant :

Tableau III. 4 : Caractéristiques de bioéthanol obtenue de la distillation.

Paramètres	Spirulun	Spirogira
Viscosité dynamique (μ)	$2.03 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/m. s}$	$2.20 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/m. s}$
Viscosité cinématique (ν)	$2.48 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$	$2.48 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$
Densité (d_4^{20})	0.80	0.84
pH	5.76	6.32
Indice de réfraction à 20°C	1,3646	1,3567

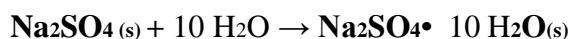
Ces résultats (tableau III.4) montre que le produits nécessite une autre opération plus précis de purification pour amélioré leur qualité physique –chimique.

III .6. Le séchage de bioéthanol

il n'est pas possible d'obtenir de l'éthanol pur à 100 % (absolu), c'est-à-dire sans trace d'eau par la distillation, en raison de la formation d'un azéotrope. Il existe plusieurs techniques pour sécher d'éthanol :

- la distillation extractive
- formation d'azéotrope benzène – éthanol
- utilisation des desséchants chimiques

Après une décantation ou une extraction, la phase organique est presque toujours contaminée par de l'eau. Cette phase organique doit donc être séchée. Pour se faire, on utilise un desséchant chimique, le sulfate de sodium anhydre (Na_2SO_4). Ce composé chimique réagit avec l'eau indésirable pour former un sel déca-hydraté selon la réaction suivante :



(A) ajout de desséchant



(B) filtration de bioéthanol séché

Figure III. 11 : les étapes de séchage de bioéthanol avec sulfate de sodium anhydre

III .7. Analyse par le spectrophotomètre d'infrarouge

Le phénomène d'absorption dans le domaine infra rouge est lié à la vibration de l'énergie de vibration moléculaire [56]. L'Infrarouge permet une analyse :

- fonctionnelle

La position des bandes d'absorption des fonctions est relativement fixe car la constante de raideur d'une liaison est peu modifiée par son environnement.

- structurale

Le spectre infrarouge permet de visualiser des distinctions entre les isomères de position (cis ou trans) ou encore entre des isomères optiques. Pour les minéraux, le spectre peut permettre de retrouver le système cristallin du composé.

- qualitative

A la vue d'un spectre infrarouge, on peut déterminer la composition d'un matériau par comparaison avec des spectres de référence contenus dans des bibliothèques de spectres.

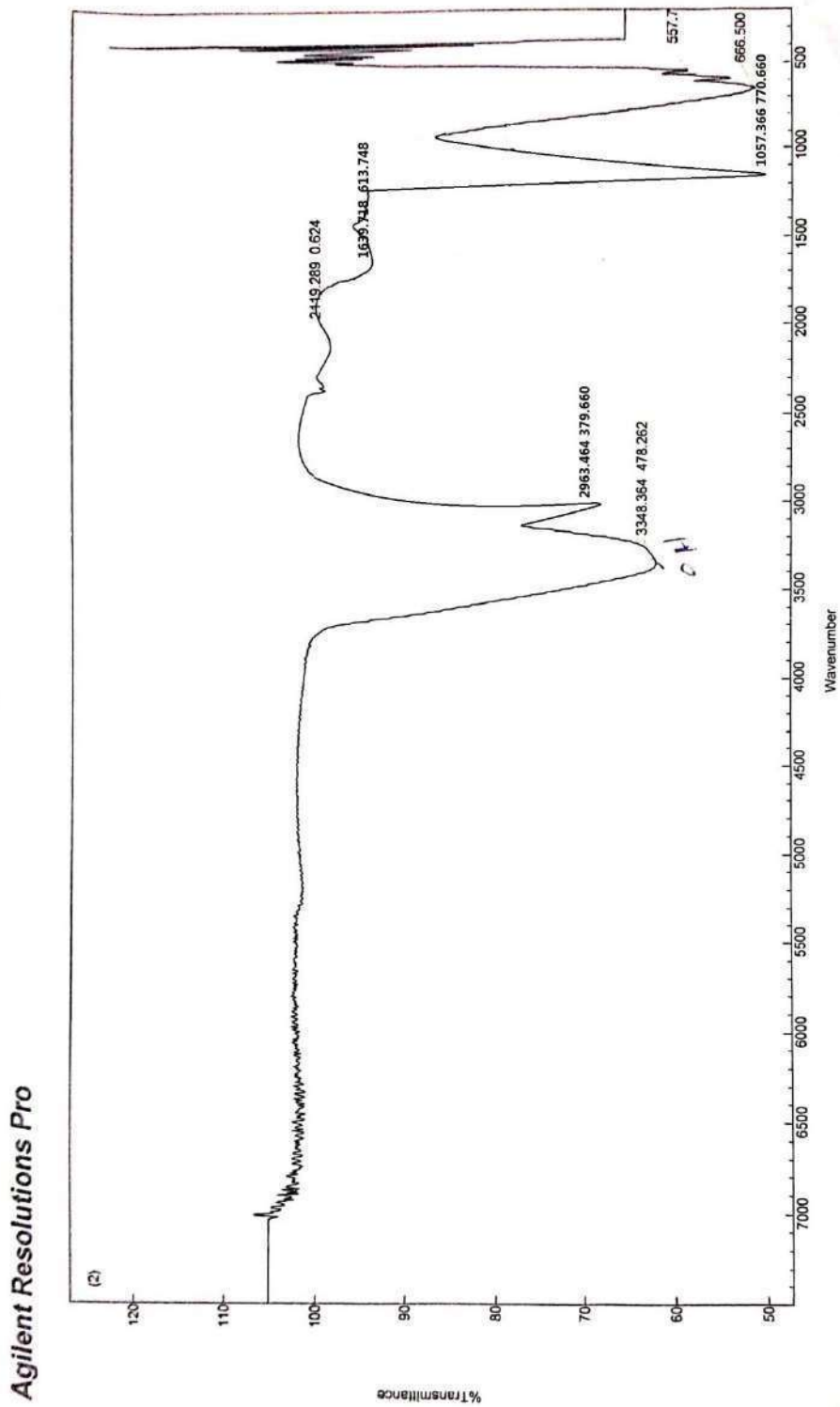
- quantitative

La spectrométrie du moyen infrarouge est également une méthode d'analyse quantitative par application de la loi de Beer-Lambert [57].

III .7.1. Matériels et méthodes

Agilent Cary FTIR 660 est un spectromètre performant haute polyvalent conçu pour répondre aux besoins de spectrométrie et de l'application de recherche de routine. Le Cary 660 FTIR est contrôlé à l'aide du logiciel d'exploitation de haute performance et peut également être équipé d'une large gamme d'accessoires pour fournir des capacités supplémentaires. La plate-forme commune de Cary 660/670/680 FTIR de spectromètres Agilent permet la performance et les capacités d'être facilement et mis à l'échelle pour répondre à façon économique des applications difficiles. Le Cary 660 FTIR offre des performances superbes, des résolutions spectrales et des mesures de signal sur bruit. Il est idéal pour un large éventail d'applications et d'industries de pétrole / produits chimiques à des matériaux , polymères et sciences de la vie[58]. Agilent Cary FTIR 660.

Dans ce présent travail, le spectre IR (figure III. 12) et (figure III. 13) de bioéthanol synthétisé est réalisé par le moyen d'une spectrophotométrie IR type Cary 600 Séries FTIR Spectromètre, marque , Agilent Technologies (Figure III. 23 en annexe 2).



Nom
 (2) — S. Ziegler
 Université de la Réunion

2019 12

Figure III. 12 : le spectre infrarouge de bioéthanol l'algue *Spurilune_{sp}*

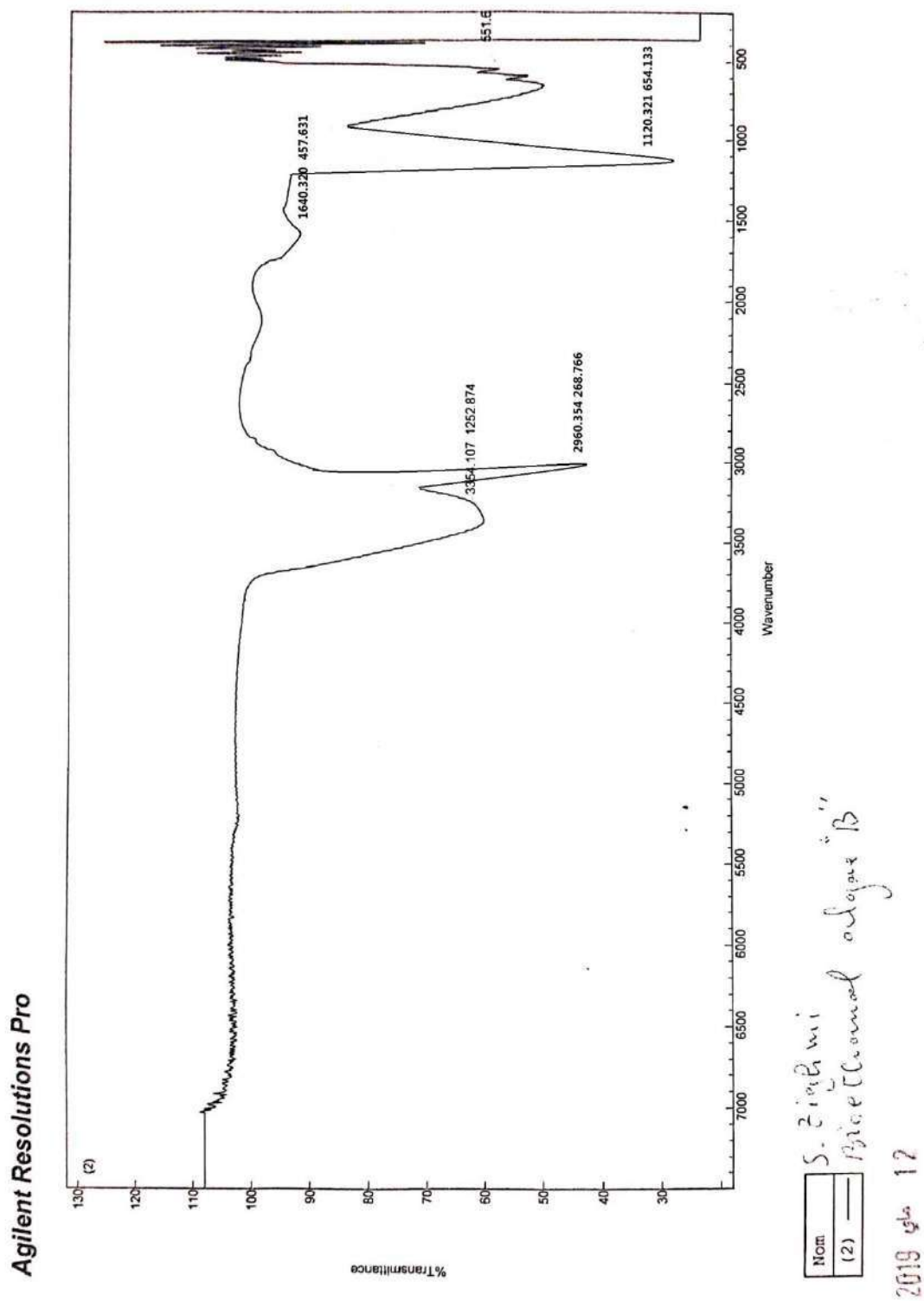


Figure III. 13 : le spectre infrarouge de bioéthanol l'algue Spiroiygira_{sp}

III. 7. 2. Discussion Spectre d'IR obtenu de bioéthanol d'algue

D'après le spectre IR (figure III. 12), les groupements fonctionnels essentiels trouvés sont résumés au tableau suivant :

Tableau III. 5 : Groupements fonctionnels de bioéthanol synthétisé
algue(SPIROIYGIRA)

Type de liaison	Nombre d'onde (cm-1)	Largeur de la bande	Intensité d'absorption
O-H alcool lié (avec liaison d'hydrogène)	3354	Large	Forte
C-O (de valence)	1120	Fine	Forte
Csp3H de valence	2960	Fine	Forte

Tableau III. 6: Groupements fonctionnels de bioéthanol synthétisé
algue(SPIRULUN)

Type de liaison	Nombre d'onde (cm-1)	Largeur de la bande	Intensité d'absorption
O-H alcool lié (avec liaison d'hydrogène)	3348	Large	Forte
C-O (de valence)	1057	Fine	Forte
Csp3H de élancement	2963	Fine	Forte

Le spectre IR de produit obtenu, contenant les groupements fonctionnels caractérisant un alcool primaire éthanol, qui sont :

- une vibration de valence large et de forte intensité à (3354 ; 3348)cm-1 correspondre a la liaison O-H avec lie (avec une liaison d'hydrogène) .
- Une absorption intense vers (1120 ; 1057)cm-1 de la liaison C-O correspondre a un alcool primaire
- Le spectre montre une grande impureté de produit obtenu et correspond a l'alcool primaire C₂H₅OH.

III .8. Utilisation de bioéthanol comme biocarburant

Lorsque l'éthanol est introduit à faible teneur dans les essences, ce sont des taux de 5 ou 10 % maximum qui sont proposés, ce qui correspond à des teneurs en oxygène respectivement égales à 1,85 % et 3,7 % en masse. L'incorporation à ces teneurs permet une interchangeabilité entre essences avec et sans éthanol. L'ensemble des véhicules européens proposés par les constructeurs permet l'utilisation de ces carburants E5. Il en est de même aux États-Unis avec les mélanges E10. Les adaptations nécessaires effectuées concernent essentiellement l'utilisation de matériaux parfaitement compatibles, Lors de la combustion, l'addition de 5 à 10 % d'éthanol dans les essences :

- Réduit les émissions de CO et d'hydrocarbures imbrûlés jusqu'à 15 %
- tend à accroître les NOx jusqu'à 5 %. Toutefois avec certains types de véhicules
- une baisse des NOx. a pu être montrée. Cela pourrait être imputable à des températures de chambre de combustion plus faibles liées à la forte chaleur latente de vaporisation de l'éthanol, accroît significativement les émissions d'aldéhydes, notamment d'acétaldéhyde
- Accroît les risques d'encrassement de soupapes d'admission, ce point étant très Facilement réglé par une adition adaptée du mélange [59].

III .8.1. Préparation de mélange de bioéthanol est essence sans plomb

Les biocarburants E5 et E10 sont à l'heure actuelle disponibles dans bon nombre de stations service à travers le monde et pratiquement aucune incompatibilité avec le matériel et autres équipements n'a été rapportée . Il faut par ailleurs souligner que la plupart des constructeurs automobiles garantissent la compatibilité de leurs véhicules avec l'utilisation d'essence contenant au maximum 5 ou 10% d'éthanol. Ainsi, les véhicules européens sont garantis pour utiliser des essences contenant jusqu'à 5% d'éthanol. Les véhicules américains peuvent par contre utiliser de l'E10, alors qu'au Brésil la quantité minimale d'éthanol dans l'essence varie de 22 à 26%. D'une manière générale, l'adaptation des véhicules porte aussi bien sur le moteur que sur le matériel connexe. Le but est de contrebalancer les inconvénients et d'exploiter les avantages liés à l'utilisation d'éthanol [60].

Dans ce présent travail on a préparé un mélange de bioéthanol et de l'essence sans plomb à 10% (SPE10) (figure III. 14), ce dénier est prélevé de la station d'essence locale (dans la zone de la wilaya de Ouargla) (figure III.15).



Figure III. 14 : Essence sans plomb E10

Figure III. 15 : Essence sans plomb

III .8.2. Les caractéristique technique essentielle de mélange éthanol –essence

Le mélange bioéthanol –essence doit répondre à certaine caractéristique

III .8.2.1. Stabilité des mélanges

Par nature, le mélange d'éthanol avec des hydrocarbures n'est pas stable en présence d'eau. En effet, l'eau présente dans les essences contenant de faibles teneurs en éthanol peut provoquer une démixtion du carburant, avec pour résultat la formation de deux phases : l'une contenant l'eau et une grande partie de l'éthanol et l'autre contenant l'essence et une petite fraction d'éthanol. Ce phénomène peut être évité en contrôlant l'humidité lors du stockage du carburant ou en ajoutant un co-solvant, le tertio-butyl-alcool (TBA) . L'E85 ne présente pas ce phénomène, l'eau étant soluble dans l'éthanol.

III .8.2.2. Contenu énergétique

L'éthanol est un alcool, c'est-à-dire une chaîne carbonée contenant de l'oxygène (O_2). La présence d' O_2 réduit son contenu énergétique par rapport à l'essence et augmente en conséquence la consommation de carburant d'où le pouvoir calorifique inférieur de l'éthanol est bien inférieur à celui de l'essence.

III .8.2.3. Tension de vapeur Reid (TVR)

Une conséquence du mélange éthanol et l'essence est la formation d'azéotropes , éthanol et hydrocarbures légers qui provoque une augmentation de la pression de vapeur, la mesure de la pression de vapeur (TVR) est effectuée a une température de $37.8^\circ C$;(figure III . 16)

- Verser dans la chambre à carburant le produit à analyser.
- Ouvrir la vanne qui relie la chambre à air et la chambre à carburant et les fermer.
- Agiter en exerçant une pression sur l'appareil.

- Placer l'appareil dans le bain thermostatique réglé à 37,8°C et ouvrir le robinet pointeau pour permettre au manomètre de mesurer la pression due aux vapeurs émis par l'échantillon.
- Lire la valeur de la TVR en KPa ou en LBP/In².



Figure III. 16 : la mesure de la pression de vapeur a 37.8°C.

III .8.2.4. Mesure de la viscosité

La mesure de la viscosité dynamique de l'essence obtenue est mesurée à l'aide d'un viscosimètre à chute de bille (voir III. 5. 1. 2.)

III .8.2.5. Mesure de la densité

La mesure de la densité de l'essence obtenue est mesurée par le moyen pycnomètre .
(voir III. 5. 1. 1.)

Le tableau suivant (tableau III. 7) résume les résultats obtenus de l'analyse de l'essence sans plomb prélevé de la station locale de Ouargla le 05 mai 2019 et l'essence sans plomb E10 a base de bioéthanol des algues.

Tableau III.7 : Résultats de caractérisation de l'essence sans plomb et essence sans plomb E10.

Paramètre	Essence sans plomb	SPE10 SPIROGIYRA	SPE10 SPURILUN
Viscosité dynamique (μ)	$0.815 \cdot 10^{-3}$ kg/m.s	$0.822 \cdot 10^{-3}$ kg/m.s	$0.837 \cdot 10^{-3}$ kg/m.s
Viscosité cinématique (ν)	$1.0763 \cdot 10^{-3}$ m ² /s	$1.128 \cdot 10^{-3}$ m ² /s	$1.1613 \cdot 10^{-3}$ m ² /s
Densité	0.7650	0.7648	0.7681
Pression de vapeur TVR kPa à 37.8 °C	62 kPa	57.7 kPa	51 kPa
pH	4.13	4.07	4.36

III.9 : Résultats et discussion

Après la fin de cette partie pratique, les résultats suivants sont apparus :

➤ le séchage de l'algue

On remarque que le temps de séchage de les algues à une influence sur le rendement de l'extraction des lipides contenu dans cette espèce, d'une façon le rendement augment, avec l'augmentation de temps de séchage, conditions de séchage .

Il a été noté que le temps de séchage de algue SPIRULIUN sp pirine était suffisant pour donner un bon rendement et il a été noté structure de la algue évoluer en fonction du niveau de vie dans la région.

➤ Le séchage après étape de distillation

Les résultats indiquent que le produit obtenu d'une pureté acceptable et une grande amélioration par rapport à l'éthanol obtenu directement de la première distillation.

➤ Les compositions des algues

La caractérisation de la biomasse d'algue SPYROGIYRA sp étudié montre une forte teneur en carbohydate et une faible teneur en lipides, Contrairement à la SPIRULUN sp, qui contient plus de protéines et de lipides que les glucides.

les conditions de cultures des algues (température, intensité lumineuse, la composition du milieu aquatique, le pH) à une grande influence sur cette composition .

Tableau III.8 : Teneur en carbohydate et teneur en lipides de quelques espèces d'algue verte .
(Composition en % par rapport à la matière sèche)

Algue	Teneur en carbohydate	Teneur En lipides	Référence
<i>Laminaria japonica</i>	51.9–59.7	1.8–2.4	[61]
<i>Cladophora socialis</i>	58.38	1,52	[62]
<i>Cladophora crupila</i>	58.78	2.37	[62]
<i>Porphyra tenera</i>	35.9	4.4	[61]
<i>Gracilaria verrucosa</i>	33.5	3.2	[61]
<i>Spirogyra</i> sp.	33 - 64	11–21	Présente étude
la spiruline	8–14	4–9	Présente étude
<i>Spirulina maxima</i>	13–16	6–7	[62]
<i>Tetraselmismaculata</i>	15	16–45	[62]
<i>Chlorella vulgaris</i>	12 - 17	14–22	[61-62]
<i>Euglena gracilis</i>	14 - 18	14–18	[61-62]

Les résultats de cette caractérisation de la biomasse spécialement la teneur en carbohydate et les lipides, nous dirige vers la production de bioéthanol par le processus de fermentation.

➤ la fermentation alcoolique

Les conditions opératoire de la fermentation alcoolique de la biomasse des algues *SPYROGIYRA*_{sp}, *SPIRULIUN* sp on été sélectionner d'une manière d'être optimale à savoir la concentration de l'acide sulfurique utilisé et la température de l'hydrolyse de cellulose, la température de fermentation et la durée de fermentation.

Le rendement obtenu dans notre expérience atteinte les 38.48 % par rapport à la teneur en carbohydate d'algue *SPIROGIYRA* sp et 13.98 % d'algue *SPIRULUN* . la concentration de bioéthanol dans la solution de fermentation respectueusement est de (37.45 , 24.96) g/l.

le tableau (III.09) représente une comparaison des concentration à des travaux réalisé

Tableau III.9. : Comparaison des teneurs de bioéthanol obtenues dans le présent travail par rapport à celles trouvées dans les autres travaux.

Algue	Production de bioéthanol	Référence
Alaria crassifolla	25,5 g/l	[61]
la spiruline	24.96 g/l	Présent travail
Gelidium elegans	18 g/l	[62]
I.japonica	27.8 g/l	[62]
Spirogyra sp.	37.45 g/l	Présent travail
Ulva sp	20.8 g/l	[61]
Gracilaria verrucosa	33.5	[62]

➤ **Caractérisation de bioéthanol obtenu**

Le bioéthanol obtenu après toutes les actions de purification est approprié à des normes internationales de bioéthanol et le tableau suivant (tableau III.10) montre une comparaison entre les valeurs obtenues et d'autres valeurs des autres travaux.

Tableau III.10 : Principaux paramètres physico-chimiques de bioéthanol

Paramètre	Bioéthanol d'algue SPG	Bioéthanol d'algue SPL	Bioéthanol carburant	Références
pH	6.32	5.76	7	[50]
Densité	0.80	0.84	0.794	[49]
Indice de réfraction à 20°C	1.3567	1.3646	1.3623	[49]

➤ **Caractérisation de mélange essence sans plomb et 10 % de bioéthanol**

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant (tableau III.11)

Tableau III.11 : les paramètres physiques de mélange essence sans plomb 10% bioéthanol.

Paramètres	sans plomb E10		SP 95 E10	Références
	SPL	SPG		
Tension de vapeur à 37,8°C (kPa)	51 kPa	57.7 kPa	45,0 - 60,0 (1 ^{er} Mai-30 sept.)	[63]
Masse volumique 15°C (kg.m ⁻³)	747.98	762.31	Comprise entre 720,0 et 775,0	[63]

Les résultats des tableaux (tableau III.10) , (tableau III.11) montrent :

- ✓ augmentation de L'indice de réfraction à 20°C dans le sans plomb avec 10% de bioéthanol .
- ✓ une augmentation légère des viscosités dynamique et cinématique dans le sans plomb avec 10% de bioéthanol.
- ✓ ainsi que une diminution de la pression de vapeur dans la SP95E10.

III. 10. Conclusion

A partir de ce chapitre on conclue:

- ❖ l'algues SPYROGIYRA_{sp} riche en carbohydrate par pour l'algue SPIRULUN^{sp}
- ❖ La fermentation est la méthode la plus utilisée pour la synthèse de bioéthanol parce que 'elle est simple et facile à manipuler ainsi que le rendement et important.
- ❖ les analyses physicochimiques sont très importantes pour savoir la qualité de bioéthanol .
- ❖ les micro algues « SPYROGIYRA_{sp}, SPIRULUN sp » pourrait servir comme biomasse renouvelable et durable pour la production de bioéthanol.

Conclusion générale

Biocarburants apparaissent comme une source d'énergie de transport indispensable. L'un des sources intéressant des biocarburants les algues, qui sont capables de produire du biodiesel et bioéthanol.

Le bioéthanol obtenu est de qualité conforme aux exigences en vigueur, ainsi que leur mélange avec l'essence sans plomb à amélioré certaines caractéristiques et de la protection de l'environnement.

Plusieurs générations de biocarburants sont exploités afin de répondre à ces menaces, les biocarburants de première génération et deuxième génération, mais ces deux dernières générations représentent une autre menace alimentaire, à cet effet la troisième génération vient de représenter une solution sécuritaire de la chaîne alimentaire humaine et être une source renouvelable et une énergie verte. Les micro algues sont riches en carbohydrate et notre travail confirme cette richesse et peuvent être exploitées dans la production de bioéthanol par le processus de fermentation alcoolique dans un milieu anaérobique en utilisant la levure *Saccharomyces cerevisiae*. L'identification de notre micro algue par la vue microscopique et test de la morphologie Nos donne une micro algue *SPIRULIN* *sp* et *SPYROGYRA* *sp*.

Dans les conditions naturelles de culture, le prélèvement l'algues a été prélevé et exploité dans la synthèse de bioéthanol qui a abouti à un rendement de 38,48 % et 13,98% par rapport à la teneur en carbohydrate. La séparation et la purification de l'éthanol obtenu dans la fermentation est passé par trois étapes, la filtration, La distillation et le séchage par un agent desséchant chimique.

la micro algue *SPIRULIN* *sp* et *SPYROGYRA* *sp* pourrait servir comme biomasse renouvelable et durable pour la production de bioéthanol par fermentation précédée d'une simple hydrolyse acide, et comme perspectives, Le développement de la biomasse de cette algue nécessite une étude, notamment les conditions optimales auxquelles cette algue se développe et la récolte permanente pour qu'elle ne soit pas saisonnière, ainsi qu'une étude économique pour la détermination la possibilité de réaliser un projet de ce type de l'industrie.

Références

Références

- [1] A.H. Scragg, J. Morrison, S.W. Shales; The use of a fuel containing *Chlorella vulgaris* in a diesel engine; *Enzyme and Microbial Technology* 33 (2003) 884–889
- [2] A. Salis¹, M. Nicolò², S. Guglielmino², V. Solinas¹, Biodiesel from Microalgae, K. N. Timmis (ed.), *Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010
- [3] Anil T, Benan I, Didem O, A comparison of bioethanol and biochar production from various algal biomass samples and sweet sorghum energy crop, *Environmental Research & Technology*, Vol. 1(1), pp. 43-50, 2018
- [4] Groupe CRE Laurentides 2009. Les algues. 2009.
<http://www.troussedeslacs-.org/pdf/fiches.pdf>.
- [5] ZITOUNI H, Valorisation nutritionnelle d'algues marines du littoral Algérien chez le ruminant via des méthodes chimiques, biologiques et moléculaires, Thèse de doctorat 07-2015 Université des Frères Mentouri Constantine, p26
- [6] Ramade 2009 ; p 42
- [7] Sandrin GARON-LARDIERE, Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonnemaisoniales), Thèse de doctorat 02-2004 UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE, p17
- [8] Mr AINANE Tarik ; Valorisation de la biomasse algale du Maroc : Potentialités pharmacologiques et Applications environnementales, cas des algues brunes *Cystoseira tamariscifolia* et *Bifurcaria bifurcata* ; Thèse de doctorat 05 -2011. Université Hassan II – Casablanca. p25
- [9] PDF – MICHEL CARALLA les algues –les microalgues 2000
- [10] Souad ZIGHMI. Production de biodiesel et optimisation des paramètres des procédés de culture des microorganismes. Thèse de doctorat 07-2017. Université Kasdi-Merbah OUARGLA. p 29
- [11] Aly Eldeen Eltayeb, Omar Khalil, Said Al-Hallaj, Fouad Teymour*; Design and modeling of optical modules for use in the —Emerald Forest algae photobioreactors; *Computers and Chemical Engineering* 34 (2010) 1323–1340
- [12] C. Fuentes-Grünwald & E. Garcés & E. Alacid & S. Rossi & J. Camp; Biomass and Lipid Production of Dinoflagellates and Raphidophytes in Indoor and Outdoor Photobioreactors; *Mar Biotechnol* (2013) 15:37–47.

Références

- [13] Ben Xu, Peiwen Li , Peter W, *Study of the flow mixing in a novel ARID raceway for algae production*, Renewable Energy Volume 62, February 2014, Pages 249-257
- [14] HUNGARY AM, *biomass power plant in Hungary*, budapest business journal , June 1, 2015
- [15] (Schaechter, 2009)
- [16] C. Cosandey, S. Bigot.S, M. Dacharry, E. Gille, R. Laganier, P. Salvador. “Les eaux courantes : Géographie et environnement”, Collection Belin Sup Géographie, pp 240. (2003)
- [17] L. Guo-li, L. Da-xue, L. Quan-ming.
“Heavy metals contamination characteristics in soil of different mining activity zones”, J. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, vol 18, pp 207-211. (2008)
- [18] W.W. Eckenfelder. “Gestion des eaux usées urbaines et industrielles, technique et documentation”, Edition Lavoisier Paris, pp 503. (1982)
- [19] Santé Canada, 2002; Duy, 2000
- [20] Akbi A, 2016. Le potentiel algérien en bio énergies. *Revue des Energies Renouvelables*, no14, 120-122.
- [21] VolleF., Les biocarburants, http://www.iutsd.univparis13.fr/iutsd/images/Developpement_durable/F-VOLLEBiocarburants_le11/04/2017
- [22] https://www.google.ca/search?biw=1366&bih=625&tbm=isch&sa=1&ei=CebfXIudJdyFjLsP9o2MsAk&q=+Ressources+de+biomasse+biocarburant&oq=+Ressources+de+biomasse+biocarburant&gs_l=img.3...214656.246039..246667...6.0..0.206.3015.0j19j1.....0....1..gws-wiz-
- [23] Barchmann H., le potentiel de la biomasse dans les pays méditerranéens. www.europarl.europa.eu/.../pdf/energie_draft_report_biomasse_plus_amendments_fr. 24/04/2017
- [24] Barbara Clément-Larosière, Etude de la croissance de *Chlorella vulgaris* en photobioréacteur batch et continu, en présence de concentrations élevées de CO₂, thèse de doctorat, ÉCOLE CENTRALE PARIS, France, 2012, PP:10 et 46
- [25] <http://tpe-biocarburants-nd.e-monsite.com/pages/iii-trois-generations-de-biocarburants.html>
- [26] Lis RAMIREZ , Production de bio-carburants de 3ème génération à partir de Microalgues , Thèse de doctorat 07-08-2006 , L’UNIVERSITE CLAUDE BERNARD – LYON 1 , p 6-7
- [27] www.lewpedagogique.com 25/04/2017
- [28] <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/les-biocarburants-de-troisieme-generation-6831/>

Références

- [29] Dutriez C., watterlot F., 2014. Comparaison des procédés de production de bioéthanol à base d'amidon. Étude bibliographique, Ecole des mines Douai ,30pages
- [30] Kara Ali M., 2014. Isolement et caractérisation de souches levurienne des milieux arides productrices de l'éthanol sur différents substrats. Thèse de doctorat, Université Constantine 1, Algérie. 129 pages.
- [31] HAMD BERNA , Transestérification des huiles végétales par l'éthanol en conditions douces par catalyses hétérogènes acide et basique, thèse doctorat, 2009, p : 10-31
- [32] NGUYEN VAN CUONG, Maîtrise de l'aptitude technologique des oléagineux par modification structurelle ; applications aux opérations d'extraction et de transestérification in-situ, Thèse doctorat, 2010, p : 8-50
- [33] Cruchot H, 2008
- [34] (Scheldeman P) (Doumenge F et al, 1993)
- [35] Corolla J.P., Kupfer M., Rochefort G., Sohier S., 2012, LA VIE EN EAU DOUCE - LES CARNETS DU PLONGEUR , ed. Neptune Plongée, 416p.
- [36] Engelhardt W., 1998, LA VIE DANS LES ETANGS, LES RUISSEAUX ET LES MARES , ed. Vigot, 316p.
- [37] Saint-Maxent Th., 2002, Jeu de fiches descriptives des espèces végétales exotiques et indigènes susceptibles de proliférer dans le bassin Artois-Picardie , Agence de l'Eau Artois-Picardie, 167p.
- [38] KHALED A. SELIM D ,SAADIA M. et all ,*bioethanol a microbial biofuel metabolite; new insights of yeasts metabolic engineering*, fermentation mdpi ,march 2018 p27
- [39] MOUNIR, M. BELGRIRE M , Lahnaoui S., Hamouda A., Thonart P., Delvigne F., Ismaili 2016. Maîtrise de la fermentation alcoolique sous stress éthanoloïque, thermique et osmotique de la souche *Saccharomyces cerevisiae* YSDN1 en vue de la préparation du vinaigre de fruits. Revue. Mar. Sci. Argon. Vol. 4 (2) pages86- 95.
- [40] Riess J., 2012.intensification de la brique « fermentation alcoolique »des substrats betteraviers et autre substrats pour la production d'éthanol. Thèse de doctorat, Université de Toulouse. Fran ,177pages
- [41] NAOTO H, *method for producing ethanol green algae rope algae as a raw material*, jip4654362b1. 2011-03-16. brevet d'invention jp465
- [42] Derbali M., 2012. Conception d'une bioraffinerie de deuxième génération. Master académique .université kasdi Marbach Ouargla. Algérie. P.46.

Références

- [43] LEILA C , SALOUA S, *la macroalgue verte ulva sp. pour la production du bioéthanol: optimisation et caractérisation*, bull. inst. natn. scien. tech. mer de salammhô, vol. 42, 2015 (numéro spécial)
- [44] Groupe de recherche interuniversitaire Chimie biologique industrielle Génie biologique www.valbiom.be/.../160215_VALBIOM_Pretraitements-biomasse- lignocellulosique. 25/04/2017
- [45] Tesquet G., 2013. Etude de la réaction de Guerbet à partir de bioéthanol sur des oxydes mixtes de type pérovskite .Thèse de doctorat. Ecole Doctorale l'Université de Lille1, 253 pages
- [46] Kaidi F., Touzi A., 2001.production du bioéthanol à partir des déchets de dattes. *Revue Energie Renouvelable. : Production et Valorisation – Biomasse*, pages 75-78.
- [47] RENE S, *biotechnologie*, édition tec ,5edit , paris 1999 p1042
- [48] <https://svtplus1.blogspot.com/2015/12/respiration-cellulaire-fermentations-et.html>
- [49] FromentinF., Dauriat A., Lucas H., Marchaud D., Sarlos G., 2000.Caractérisation de filière de production de bioéthanol dans le contexte helvétique. *Revue l'office fédérale de l'énergie*, no69809, 120pages.
- [50] PILON G., 2013. Étude de production et de caractérisation de bio charbon de panic érigé (*panicum virgatum* L) obtenus par pyrolyse. Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke, Canada, 192 pages.
- [51] Acourene S., 2013.valorisation biotechnologique des dates de faible valeur marchande par la production de la levure boulangère, éthanol, acide citrique. Thèse de doctorat, École nationale supérieur d'agronomie El-Harrach Alger, Algérie.171 pages
- [52] ISABELLE D, JACQUELINE D, PHILIPPE T, *le bioéthanol de seconde génération*, les presses agronomiques de gembloux (2008). p 129.
- [53] JEAN-LW, AURORE R , PATRICK G, *Prétraitements de la biomasse lignocellulosique*,valbiom , février 2016.
- [54] HUYNH, M., ET N. SEREDIK. *Identification des algues Guide de terrain*. Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2006. 40 pages
- [55] LAPLACE T, PELTRE M, LAMBERT E et all , *guide pratique de détermination des algues macroscopiques d'eau douce et de quelques organismes hétérotrophes* , Version électronique (pdf). Les Éditions d'Irstea Bordeaux, Cestas, 2014 page 204 .
- [56] fichier bio bloque scientifique, *Réfractomètre d'Abbe de précision 3T Références* 94110 Manuel d'instructions Cat. No. 1230

Références

[57] catalogue mettler Toledo sevenEAsy , document numéro 20030016 imprimé 2003

[58] SHIMADZU, *Livre Blanc Spectroscopie Infrarouge*, France 2015

[59] catalogue Agilent Cary FTIR 660.

developpement du marche en Belgique , val biom, juillet 2006 Réf. 2006_OS_02

[60] MAMTA A, RAJIV K, *Development of algae for the production of bioethanol, biomethane, biohydrogen and biodiesel*, REVIEW ARTICLE, INT J CURR SCI 2011, p 14-2

[61] VO THANH TRUNG, BUI MINH LY, LE NHU HAU et all , *research to produce ethanol from seaweed biomass cladophora sp*, journal of materials science and engineering b 3 (10) (2013) p 670-676

[62] CSR ,*SUPERCARBURANT SANS PLOMB 95-E10 SP95-E10*, 29 Janvier 2014, version PDF

Annexe .01

Table de luff – school

Na₂S₂O₃ 0.1 N			Glucose , fructose C₆H₁₂O₆ Sucres inverti			Na₂S₂O₃ 0.1 N			Glucose , fructose C₆H₁₂O₆ Sucres inverti		
Millilitres			Milligramme	Différence	Millilitres			Milligramme	Différence		
1			2.4	2.4	13			33	2.7		
2			4.8	2.4	14			35.7	2.8		
3			7.2	2.5	15			38.5	2.8		
4			9.7	2.5	16			41.3	2.9		
5			12.2	2.5	17			44.2	2.9		
6			14.7	2.5	18			47.4	2.9		
7			17.2	2.6	19			50	3		
8			19.8	2.6	20			53	3		
9			22.4	2.6	21			56	3.1		
10			25	2.6	22			59.1	3.1		
11			27.6	2.7	23			62.2	.		
12			30.3	2.7							

Annexe. 02

(Instruments utilisés)



Figure III. 23 : Photo de spectrophotomètre IR



Figure III. 22 : pH- HI 9829



Figure III. 19 : pycnomètres BLAUBRAND



Figure III. 21 : Refractomètre



Figure. III. 20 : Viscosimètre à chute de bille



Figure .III.24. Le microscope utilisé