

UNIVERSITE BLIDA 1

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département d'Agroalimentaire

MEMOIRE DE MAGISTER

En Sciences Agronomiques

Spécialité : Nutrition et transformation des aliments

**CARACTERISATION BIOCHIMIQUE DE QUELQUES MACROS
ALGUES MEDITERRANEENNE A INTERET NUTRITIONNEL :
ETUDE DE L'EFFET DES FIBRES ALIMENTAIRES SUR LE TRANSIT
DIGESTIF ET SUR L'ABSORPTION INTESTINALE DU GLUCOSE.**

Nora GHALIAOUI

Devant le jury composé de :

| | | | |
|--------------|-------------------------|--------------------|--------------|
| S. MEGATLI | Maître de conférences A | Université Blida 1 | Président |
| A.HADJ ZIANE | Professeur | Université Blida 1 | Promotrice |
| A.DOUMANDJI | Maître de conférences A | Université Blida 1 | Examinatrice |
| D. ELHADI | Maître de conférences A | Université Blida 1 | Examinateur |
| H. MOKRANE | Maître de conférences A | E.N.S.P Kouba | Examinatrice |

Blida, le 21 Février 2015

RESUME

Les algues marines sont une source importante d'ingrédients d'intérêt nutritionnel. Une consommation accrue d'algues sous forme entière en tant que légumes ou sous forme d'extraits permettrait d'obtenir un effet bénéfique sur la santé.

Ce travail vise à étudier les potentialités nutritionnelles de deux algues vertes marines à savoir *Ulva lactuca* et *Enteromorpha sp.* récoltées de la région de la Madrague (Alger) par la caractérisation de la composition biochimique et de quelques propriétés fonctionnelles et par l'évaluation de l'effet des fibres alimentaires sur le transit digestif.

Les résultats indiquent que les algues étudiées *Ulva lactuca* et *Enteromorpha sp.* sont caractérisées respectivement par des teneurs en matière minérale $39.5\% \pm 2.37$, $33.82\% \pm 7.79$, fibres insolubles 29%, 25%, sucres $8.28\% \pm 0.05$, $10.03\% \pm 1.45$, protéines $7.28\% \pm 0.42$, $3.04\% \pm 0.46$, lipides 5%, 3% une capacité de rétention d'eau 10.94 ± 0.09 , 7.85 ± 0.45 g/g d'algue sèche et par une capacité d'absorption des lipides respectivement de 1.48 ± 0.02 , 1.57 ± 0.36 g/g d'algue sèche.

Quant à l'étude in vivo sur des rats *Wistar*, de l'effet des fibres alimentaires de ces algues sur le temps de vidange gastrique, les résultats montrent que le temps de vidange gastrique le plus accéléré est celui de lot des rats qui ont été alimenté par le régime contenant l'algue *Ulva lactuca* (RU) avec 3h30min, ensuite celui de lot des rats avec un régime contenant *Enteromorpha sp* (RE) avec 4h, puis de lot témoin où les rats ont été alimenté par un régime contenant l'agar comme source de fibres alimentaires (RS) avec 4h15min.

Mots clés : Algue marine, *Ulva lactuca*, *Enteromorpha sp*, composition biochimique, fibres alimentaires, transit digestif.

ABSTRACT

Seaweeds are an important source of ingredients for nutritional interest. Increased consumption of seaweed as a vegetable or as extracts provides a beneficial effect on health.

This study investigates the nutritional potential of two marine green algae *Ulva lactuca* and *Enteromorpha sp.* harvested in the region of Madrague (Algiers), with the characterization of the biochemical composition and some functional properties and the evaluation of the effect of dietary fiber on digestive transit.

The results indicate that the studied algae *Ulva lactuca* and *Enteromorpha sp.* are characterized respectively by a mineral content $39.5\% \pm 2.37$, $33.82\% \pm 7.79$; insoluble fiber 29%, 25%; sugar $8.28\% \pm 0.05$, $10.03\% \pm 1.45$; proteins $7.28\% \pm 0.42$, $3.04\% \pm 0.46$; fat 5%, 3%; a water holding capacity 10.94 ± 0.09 , 7.85 ± 0.45 g/g of dry seaweed and an oil absorption capacity 1.48 ± 0.02 , 1.57 ± 0.36 g/g of dry seaweed respectively.

For the *in vivo* study in rats (*Wistar*) of the effect of dietary fiber algae on the time of gastric emptying, the results show that the most accelerated time of gastric emptying obtained in rats that were fed the diet containing seaweed *Ulva lactuca* (UD) with 3h30min, then rats fed a diet containing *Enteromorpha sp.* (ED) with 4 h, and then the control group where the rats were fed a diet containing agar as a source of dietary fiber (DS) with 4h15min.

Keywords: Seaweed, *Ulva lactuca*, *Enteromorpha sp.*, biochemical composition, dietary fiber, digestive transit.

ملخص

العوالق البحرية مصدر هام للمكونات ذات القيمة الغذائية. زيادة استهلاك العوالق كخضروات أو على شكل مستخلصات من شأنه أن يوفر تأثير مفيد على الصحة.

تهدف هذه الدراسة الى معرفة الخاصية الغذائية لاثنتين من العوالق البحرية الخضراء *Ulva lactuca* و *Enteromorpha sp.* من منطقة لما دراج (الجزائر العاصمة) من خلال تمييز التركيبة البيو كيميائية وبعض الخصائص الوظيفية وتقييم تأثير الألياف الغذائية على الهضم.

وتشير النتائج إلى أن هذه العوالق *Ulva lactuca* و *Enteromorpha sp.* تميزت بعلى التوالي كمية من الاملاح المعدنية $2.37 \pm 39.5\%$ ، $7.79 \pm 33.82\%$ ، والألياف غير القابلة للذوبان 29% ، 25% سكر $8.28 \pm 10.03\%$ ، $1.45 \pm 7.28\%$ ، وبروتينات 0.42 ± 3.04 ، $0.46 \pm 5\%$ ، والدهون 3% قدرة الاحتفاظ بالماء 10.94 ± 0.09 ، 7.85 ± 0.45 غ / غ من للعوالق الجافة اما بالنسبة للقدرة على امتصاص الدهون على التوالي 1.48 ± 0.02 ، 1.57 ± 0.36 غ/غ من للعوالق الجافة.

أما الدراسة المجراة على فئران ويستار، وتأثير الألياف الغذائية للعوالق البحرية المدروسة على وقت إفراغ المعدة، فقد بينت النتائج أن اسرع وقت إفراغ المعدة تم الحصول عليه هو عند الفئران التي كانت اعطيت النظام الغذائي الذي يحتوي على العلقة البحرية *Ulva lactuca* (3سا)، ثم عند الفئران التي قدم لها نظام غذائي يحتوي على *Enteromorpha sp.* (4سا)، ثم لدى مجموعة فئران شاهد حيث تم تغذية الفئران بنظام غذائي يحتوي على agar كمصدر للألياف الغذائية (4سا و30د)

الكلمات الجوهرية: العوالق البحرية، *Ulva lactuca* ، *Enteromorpha sp.*، التركيب البيو كيميائي ، الألياف الغذائية، الهضم.

Avants Propos

Avant toute chose, je remercie Dieu le tout puissant « سبحانه عز و جل », pour m'avoir donné la force et la patience afin de pouvoir réaliser ce mémoire.

Au terme de ce travail, il m'est agréable de remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Je voudrais tout d'abord remercier Mme A. HADJ ZIANE, Professeur à l'université de Blida, département de Génie Des Procédés qui a bien voulu accepter la charge de diriger ce mémoire et pour la confiance qu'elle m'a accordé et m'a permis de réaliser ce travail. Qu'elle trouve ici l'expression de mes remerciements les plus sincères, pour tout le temps qu'elle m'a consacré. J'espère pouvoir continuer à collaborer avec elle.

Je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance aux différents membres du jury qui ont bien voulu juger ce modeste travail :

Mr. S. MEGATLI, Maître de Conférences A pour l'honneur de présider ce jury malgré ses nombreuses tâches en sa qualité de Chef De Département Des Sciences Alimentaires.

Mme MOKRANE H. Maître de Conférences A à l'ENS Kouba, que j'ai eu le plaisir de faire sa connaissance et je la remercie d'avoir accepté d'examiner également ce travail.

Mme A. DOUMANDJI et Mr D. ELHADI, Maîtres de Conférences A à l'Université de Blida qui répondent toujours favorablement à un appel scientifique. Merci pour avoir accepté d'être examinateurs de mon travail.

J'adresse mes sincères remerciements aux personnes qui ont participé à ce travail.

Je tiens à remercier très sincèrement Mme HAMZA.K, Mr A. AIT YAHIA, Mr A. BENDALI Maîtres Assistants A à l'Université de Blida pour leur grande aide avec générosité et gentillesse.

Au cours de cette année d'étude, j'ai pu rencontrer de très nombreuses personnes qui m'ont apporté une aide considérable et je les en remercie : Mr H. LARBI, Mr TAREK, Mr ABDELKADER, Mr DJAMEL et toute l'équipe de plongée du port de Tipaza et de La Madrague, Mme A. BOUDAOUED Ingénieur de laboratoire INSFP, Bougara, Mlle A. BAKALEM inspectrice principale au niveau de CACQE, S. BOUKKARAS service de sécurité à SAIDAL de Gue de Constantine (Alger) Mme S. RAHMANI responsable de l'animalerie d'USTHB, N. OUAIL ingénieur de laboratoire de chimie de département d'Agronomie à l'Université de Blida1.

Je n'oublie pas non plus mes collègues qui m'ont aidé : Wafa, Sid Ahmeh, Kami-la, Lamia. Merci énormément à : Raoudha, Zakia, Imane, Wahchia, Selma, Leila, Djamila et Merièmè.....

Enfin mille mercis à toute ma famille et les personnes qui ont toujours cru en moi et m'ont toujours encouragé depuis toutes ces années.

TABLE DES MATIERES

AVANTS PROPOS

RESUME

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATION

LISTE DES ILLUSTRATIONS, BRAPHIQUES ET TABLEAUX

INTRODUCTION 14

CHAPITRE 1. Généralité sur les macroalgues

| | | |
|---------|--|----|
| 1.1. | Historique | 17 |
| 1.2. | Définition | 18 |
| 1.3. | Caractérisation des algues | 18 |
| 1.4. | Classification des algues..... | 18 |
| 1.5. | Apport nutritionnel des algues..... | 20 |
| 1.6. | Les propriétés nutritives des algues et leurs bienfaits sur l'organisme | 23 |
| 1.7. | Toxicité des macroalgues..... | 24 |
| 1.8. | Récolte des algues | 24 |
| 1.9. | Conservation | 25 |
| 1.10. | Principales utilisations des macroalgues | 25 |
| 1.10.1. | Algues alimentaires | 25 |
| 1.10.2. | Utilisation des algues pour l'agriculture | 26 |
| 1.10.3. | Autres utilisations. | 27 |
| 1.11. | Utilisations actuelle des algues en Algérie | 27 |
| 1.11.1. | Agriculture..... | 27 |
| 1.11.2. | Alimentation animale | 27 |
| 1.11.3. | Industrie | 28 |
| 1.12. | Production mondiale des algues | 28 |
| 1.13. | Aperçu sur les travaux de recherches portant sur les macroalgues en Algérie..... | 28 |

CHAPITRE 2 : Les fibres alimentaires

| | | |
|--------|---|----|
| 2.1. | Définition | 30 |
| 2.2. | Composition chimique | 31 |
| 2.3. | Propriétés physicochimiques..... | 32 |
| 2.3.1. | Solubilité | 32 |
| 2.3.2. | Pouvoir d'absorption et de rétention de l'eau | 33 |
| 2.3.3. | Viscosité et pouvoir gélifiant | 33 |
| 2.3.4. | Pouvoir fermentaire..... | 33 |
| 2.4. | Consommation des fibres alimentaires | 33 |
| 2.5. | Fibres alimentaires des macroalgues | 33 |
| 2.6. | Mucilages des algues vertes | 36 |
| 2.7. | Effets digestifs et fonctionnels des fibres alimentaires..... | 36 |

CHAPITRE 3 : Matériel et Méthodes

| | | |
|--------|--|----|
| 3.1. | Le matériel biologique d'étude..... | 38 |
| 3.1.1. | Présentation et description des Algues vertes utilisées. | 38 |
| 3.1.2. | Récolte et identification | 41 |
| 3.1.3. | Préparation des échantillons..... | 42 |
| 3.2. | Méthodes d'analyse..... | 43 |
| 3.2.1. | Teneur en cendre | 43 |
| 3.2.2. | Dosage des sucres totaux..... | 43 |
| 3.2.3. | Détermination de la teneur en lipides | 45 |
| 3.2.4. | Dosage des protéines brutes..... | 46 |
| 3.2.5. | Dosage des fibres alimentaires | 48 |
| 3.2.6. | Détermination des propriétés fonctionnelles | 51 |
| 3.3. | Expérimentation animale : Détermination de temps de la vidange gastrique..... | 52 |
| 3.3.1. | Animaux | 52 |
| 3.3.2. | Protocole expérimentale..... | 57 |
| 3.5. | Analyse statistique | 60 |

CHAPITRE 4 : Résultats et discussion

| | |
|---|----|
| 4.1. Analyse biochimique | 61 |
| 4.1.1. Teneur en cendre | 61 |
| 4.1.2. Teneur en sucre | 63 |
| 4.1.3. Teneur en lipides..... | 64 |
| 4.1.4. Teneur en protéines..... | 66 |
| 4.1.5. Fibres alimentaires..... | 67 |
| 4.1.6. Propriétés fonctionnelles..... | 72 |
| 4.2. Le temps de transit digestif chez le Rat <i>Wistar</i> | 74 |
| | |
| CONCLUSION ET PERSPECTIVES..... | 77 |
| REFERENCES..... | 80 |
| APPENDICES..... | 94 |

LISTES DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

| | |
|--------------------------------|---|
| ADF | : Acid Detergent Fiber |
| ADL | : Acid Detergent Lignin |
| CB | : Cellulose Brute |
| FAO | : Food and agricultural organization |
| HCl | : Acide chlorhydrique |
| H ₂ SO ₄ | : Acide sulfurique |
| H ₂ O ₂ | : Eau oxygénée |
| M | : Molarité |
| MG | : Matière grasse |
| MS | : Matière sèche |
| NDF | : Neutral Détergent Fiber |
| N | : Normalité |
| NaOH | : Hydroxyde de sodium |
| P | : Probabilité |
| RE | : Régime contenant <i>Enteromorpha sp</i> |
| RS | : Régime Standard |
| RU | : Régime contenant <i>Ulva lactuca</i> |
| cm | : centimètre |
| g | : gramme |
| g/j | : gramme par jour |
| h | : heure |
| kg | : kilogramme |
| min | : minute |
| ml | : millilitre |
| nm | : nanomètre |
| µm | : micromètre |

$\mu\text{g/ml}$: micromètre par millilitre

$^{\circ}\text{C}$: degré Celsius

% : pourcentage

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHES ET TABLEAUX

ILLUSTRATIONS

| | |
|--|----|
| Figure 1.1 : Position des algues vertes, rouges et brunes parmi les lignées phylogénétiques..... | 19 |
| Figure 2.1 : organisation des polysaccharides structuraux et de la lignine dans les parois cellulaires | 30 |
| Figure 2.2 : La complexe fibre alimentaire et ses principaux composants.... | 31 |
| Figure 2.3 : Représentation schématique de la molécule de cellulose | 32 |
| Figure 2.4 : Distribution de différents polysaccharides des cellules de parois d' <i>Ulva sp.</i> | 35 |
| Figure 3.1 : Image rassemblant <i>Ulva sp.</i> et <i>Entéromorpha sp</i> | 38 |
| Figure 3.2 : Aspect externe du thalle d' <i>Ulva lactuca</i> | 39 |
| Figure 3.3 : Caractéristiques morphologiques d' <i>Ulva sp</i> | 39 |
| Figure 3.4 : Aspects externe et cellulaire du thalle de l' <i>Enteromorphe</i> | 40 |
| Figure 3.5 : Site d'échantillonnage | 41 |
| Figure 3.6 : Photographie d' <i>Ulva lactuca</i> | 41 |
| Figure 3.7 : Photographie d' <i>Enteromorpha sp</i> | 41 |
| Figure 3.8 : Photographie des algues en poudre, | 42 |
| Figure 3.9 : Evaluation des constituants de la paroi végétale | 50 |
| Figure 3.10 : photo de rat <i>Wistar</i> | 52 |
| Figure 3.11 : Photographie montre les rats <i>Wistar</i> dans leur cage normalisée | 53 |
| Figure 3.12 : Photographie d'aliment de régime standard | 56 |
| Figure 3.13. Photographie de l'aliment contenant l'algue..... | 56 |
| Figure 3.14 : Photos montrant la technique de gavage..... | 58 |
| Figure 3.15 : Photo montrant les fèces non colorées à l'état sèches secrétées par rats | 59 |
| Figure 3.16 : Photo montrant les fèces colorées avec le rouge de phénol à l'état sèches secrétées par rats | 59 |
| Figure 3.17 : Disposition des cages..... | 60 |

| | |
|--|----|
| Figure 4.1 : Teneur en cendre d' <i>Ulva lactuca</i> et <i>Enteromorpha sp.</i> | 62 |
| Figure 4.2 : Teneur en sucres d' <i>Ulva lactuca</i> et <i>Enteromorpha sp.</i> | 63 |
| Figure 4.3 : Teneur en lipides d' <i>Ulva lactuca</i> et <i>Enteromorpha sp.</i> | 64 |
| Figure 4.4 : Teneur en Protéines d' <i>Ulva lactuca</i> et <i>Enteromorpha sp.</i> | 66 |
| Figure 4.5 : Pourcentage de différentes fractions des fibres alimentaires d' <i>Ulva lactuca</i> et <i>Enteromorpha sp.</i> | 68 |
| Figure 4.6 : Teneur en Cellulose, Hémicellulose et Lignine des fibres insolubles des deux algues étudiées..... | 69 |
| Figure 4.7 : Teneur (%) MS en fibres alimentaires insolubles des deux algues vertes étudiées..... | 70 |
| Figure 4.8 : Temps de transit digestif total..... | 75 |

TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1.1 : Classification des algues selon la pigmentation | 19 |
| Tableau 1.2 : La composition moyenne d'une algue marine consommable ... | 20 |
| Tableau 1.3:Algues alimentaires autorisées | 26 |
| Tableau 3.1 : classification botanique de <i>Ulva lactuca</i> et <i>Enteromorpha sp.</i> ... | 40 |
| Tableau 3.2 : Composition des détergents | 49 |
| Tableau 3.3 Composition des différents régimes alimentaires | 55 |
| Tableau 4.1: les fibres alimentaires des algues étudiées..... | 68 |
| Tableau 4.2 : Récapitulatif de la composition biochimique | 71 |
| Tableau 4.3 : Propriétés fonctionnelles d' <i>Ulva lactuca</i> et d' <i>Enteromorpha sp.</i> | 72 |
| Tableau 4.4 : le temps de vidange gastrique | 74 |

INTRODUCTION

Avec le développement grandissant de l'alimentation et santé, la nutrition est au cœur des préoccupations des consommateurs et des industriels qui découvrent les vertus des substances d'origine naturelle [1].

Les algues marines représentent pour l'Homme un produit naturel non négligeable comme source des revenus exploitables. Depuis quelques années, les études chimiques, dans le domaine des végétaux marins, se sont intensifiées de façon considérable. Cet engouement est dû à l'essor qu'ont pris les algues dans les perspectives les plus diverses : alimentaires, agricoles, pharmacologiques [2].

L'algue est un aliment traditionnel qui présente un intérêt nutritionnel connu et exploité depuis de nombreuses années. La valeur nutritionnelle des algues peut s'expliquer en grande partie par la présence conjointe de trois grandes catégories de composants : les fibres, les minéraux et les protéines, mais également par la présence de métabolites présentant des propriétés antioxydantes et antiradicalaires tels que caroténoïdes, polyphénols, vitamines ou acides gras polyinsaturée [1].

Ces algues (rouges, brunes ou vertes), riches en oligoéléments, minéraux et vitamines, sont des aliments peu caloriques et sont aussi exploitées pour l'extraction d'additifs alimentaires gélifiants et épaississants (agar, carraghénanes, alginates) [3]. Leur forte teneur en polysaccharides pariétaux contribue à leur richesse en fibres alimentaires (35-40% du poids sec des algues) [3-4-5], ayant des structures variées et originales, différentes des fibres des végétaux terrestres [5]. Ces fibres sont très divers tant par leur composition et leur structure chimique que par leurs propriétés physico-chimiques, leur fermentescibilité par la flore colique et leurs effets biologiques sur des cellules animales et humaines.

La majorité des fibres des algues alimentaires sont des polysaccharides peu ou pas dégradés par la flore colique humaine. Leurs effets nutritionnels sont surtout liés à leurs caractéristiques physico-chimiques (épaississant/gélifiant, échange

d'ions...) [3], auxquelles est porté actuellement un grand intérêt du fait de leurs propriétés métaboliques chez l'homme : effets sur le transit intestinal, les hypercholestérolémies, le diabète [6-7] cité par [8].

En Algérie il existe une diversité algale considérable, un réservoir pour la recherche et la production de nouvelles sources alimentaires et énergétiques. Il est impératif de mettre en valeur nos ressources marines,

Cette étude a été consacrée aux algues vertes appartenant à l'ordre des Ulvales. Elles suscitent en effet, à l'heure actuelle, un intérêt croissant dans les secteurs de la recherche et le développement car la paroi de leurs cellules renferme des polysaccharides sulfatés, dont les propriétés technologiques et biologiques commencent à être bien décrites [9].

Dans le domaine alimentaire, les renseignements concernant la valeur nutritive des algues restent encore insuffisants ; aussi convient-il d'exploiter de façon rationnelle les ressources que recèle ce matériel végétal ?

C'est dans cette optique que se situe notre travail, dont l'objectif est d'une part déterminer la valeur nutritionnelle de deux algues vertes à savoir : *Ulva lactuca* et *Enteromorpha* et d'autre part mettre en évidence l'effet de leurs fibres alimentaires sur le transit digestif des rats de laboratoire et cela en incorporant en alimentation.

Dans ce présent travail, nous aborderons en premier lieu l'importance alimentaire des algues en général dans l'introduction.

Une étude bibliographique sur l'intérêt des algues et ses constituants phytochimiques, son utilisation dans divers domaines, ses propriétés nutritives et leurs bienfaits sur l'organisme seront aussi abordées,

Une partie expérimentale vient ensuite pour montrer les méthodes utilisées afin d'atteindre notre but ; qui servent à

- Doser certains constituants chimiques, en particulier : les cendres, les glucides, la fraction protéique, la fraction lipidique, les fibres alimentaires,

- A déterminer la capacité de rétention d'eau ainsi que l'absorption d'huile et A déterminer le temps de la vidange gastrique par la méthode de rouge de phénol chez des rats *Wistar* après l'incorporation dans leur alimentation de base une quantité de chacune des deux algues.

En dernier lieu, nous exposerons les résultats obtenus afin de les comparer à d'autres travaux cités dans la bibliographie.

CHAPITRE 1 :

GENERALITES SUR LES MACROALGUES

1.1. Historique

Les algues seraient, selon les dernières données scientifiques, la première trace de vie apparue sur terre, il y a plus de 3,5 milliards d'années, formant, par le fait même, un des premiers maillons de la chaîne alimentaire [10].

La découverte en Corée, dans les tertres funéraires de Kiong-Ju, de fragments de Chrysobiontes du type *Hizikia* et *Undaria*, au milieu de restes de repas fossilisés datant de 10 000 ans, conduit à penser que ces plantes furent d'abord utilisées comme aliments. Cette pratique s'est principalement poursuivie et développée au cours des millénaires dans les communautés asiatiques où le végétal marin fait partie de la ration alimentaire quotidienne [11].

Les Vikings emportaient toujours des algues lors de leurs folles épopées. Les guerriers celtes et romains utilisaient la dulse. On en retrouve dans les tombeaux des empereurs. Les Japonais les utilisent depuis au moins 10000 ans. Au XVII^e siècle la Hongrie et l'Autriche utilisaient l'algenbrott, sorte de pain aux algues pour lutter contre le goitre [12].

La reprise de l'industrie des algues s'est faite à la suite de découverte de l'iode dans ces végétaux par Courtois en 1912. Elle durera jusqu'en 1955. Durant toute la deuxième moitié du XX^e siècle, l'industrie des algues a pour principaux débouchés les alginates et les carraghénanes [13].

Les algues ont constitué durant des siècles une source d'alimentation des populations côtières. Elles sont devenues récemment plus populaires en Europe, notamment grâce au développement de la gastronomie japonaise [14].

1.2. Définition

Le terme « algue » est très difficile à définir [15]. Les algues sont des organismes vivants possédant de la chlorophylle dans toutes leurs cellules et croissant dans le milieu aquatique ou dans un milieu très humide [16].

1.3. Caractérisation des algues

Les végétaux marins sont autotrophes c'est-à-dire capables d'élaborer leur propre matière organique à partir d'éléments minéraux et de gaz carbonique dissous dans l'eau [17]. Elles peuvent être libres ou fixés sur un support. Leur taille varie de moins d'un micromètre à plusieurs dizaines de mètres [18]. Chlorophylle, vie aquatique, absence de vaisseaux conducteurs, différenciation cellulaire peu poussée, sont les caractères fondamentaux des algues [16].

Les algues s'attachent généralement aux roches, pierres, coquillages et autres supports solides, grâce à des organes appelés « haptères » [14].

1.4. Classification des algues

Partant d'un ancêtre commun, deux lignées évolutives seraient à l'origine de tous les végétaux actuels pratiquant la photosynthèse. L'une regrouperait les algues bleues, rouges et brunes et l'autre, avec les algues vertes, serait à l'origine des végétaux supérieurs [13].

La figure 1.1 illustre la position systématique des : algues vertes, rouges et brunes parmi les lignées phylogénétiques.

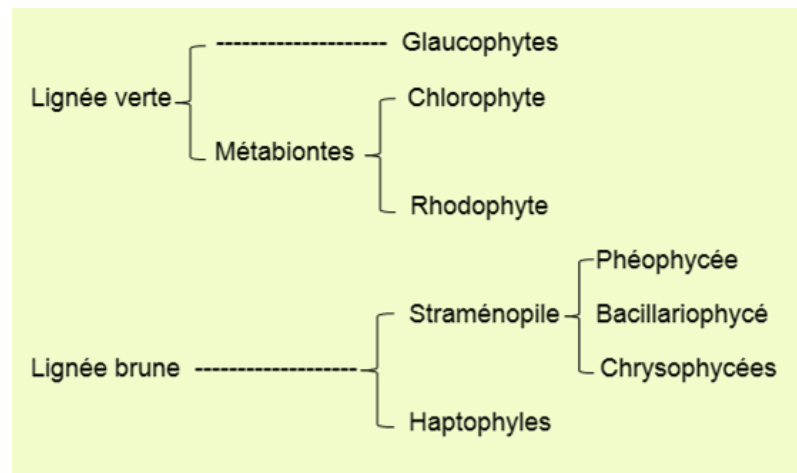


Figure 1.1 : Position des algues vertes, rouges et brunes parmi les lignées phylogénétiques [19].

La classification en usage, il y a encore quelques années, se fondait sur la pigmentation. Leur composition pigmentaire permet de classer les algues en grands groupes identifiés dans le tableau suivant:

Tableau 1.1 : Classification des algues selon la pigmentation [19-17].

| Groupe d'algues | Principaux pigments |
|--------------------------------|---|
| Algues bleues ou Cyanophycées | chlorophylle <i>a</i> + phycoérythrin+ phycocyanine+ allophycocyanine |
| Algues rouges ou Rhodophycées | chlorophylles <i>a</i> + phycoérythrine + phycocyanine + allophycocyanine |
| Algues vertes ou Chlorophycées | chlorophylle <i>a</i> + chlorophylle <i>b</i> + caroténoïdes |
| Algues brunes ou Phéophycées | chlorophylle <i>a</i> + chlorophylle <i>c</i> + caroténoïdes (surtout fucoxanthine) |
| Les diatomées | chlorophylle <i>a</i> + chlorophylle <i>c</i> + caroténoïdes (fucoxanthine, diatoxanthine, diadinoxanthine et d'autres) |

Quelle que soit leur couleur, les milliers d'espèces d'algues connues peuvent être classée en deux grandes catégories :

1.4.1. Les microalgues

Elles sont formées d'une seule ou de quelques cellules qui assurent toutes les fonctions. Leur taille moyenne est de quelques dizaines de microns (millième de millimètres). La plupart d'entre elles sont adaptées à la flottaison. De plus, de nombreuses espèces possèdent des flagelles mobiles qui leur confèrent une véritable aptitude à la nage [13].

1.4.2. Les macroalgues

Selon **Alayse et le Nozéh [13]**, les algues sont composées d'un grand nombre de cellules formant le thalle : forme visible de l'algue. Trois parties composent le thalle :

- Un système de fixation fait d'un **disque** ou de **crampons**,
- Un pédoncule de longueur et de diamètre variables appelé **stipe**.
- Une **lame** ou fronde découpée en filaments, cordons ou lanières

1.5. Apport nutritionnel des algues

Une algue se compose de :

- 10% d'eau
- 70% de matières organiques
- 20% de matières minérales

L'apport nutritionnel des algues diffère de l'une à l'autre [10], il est intéressant de savoir que l'on trouve tout de même jusqu'à des proportions mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau 1.2 : La composition moyenne d'une algue marine consommable (%) [12].

| | |
|-----------|-----|
| Fibres | 35% |
| Minéraux | 25% |
| Protéines | 20% |
| Glucides | 18% |
| Lipides | 2% |

1.5.1. Les glucides

Les algues se composent de glucides complexes, notamment :

- Des acides alginiques ;
- Des carraghénanes ;
- Des géloses ;
- Des celluloses

1.5.2. Les protéines

La quantité de protéines de certaines algues est supérieure aux autres sources terrestres comme la viande ou le soya. Les algues contiennent huit acides aminés qui ne sont pas synthétisés par l'organisme et qui doivent être consommés:

- Isoleucine
- Leucine
- Lysine
- Phénylalanine
- Thréonine
- Tryptophane
- Valine

Ainsi, certaines algues rouges ont une teneur en protéines équivalente à celle des légumineuses, de l'ordre de 20% à 40% du poids sec (25% pour la dulse, 30% pour la nori), tandis que les algues brunes ne renferment que 5 à 10% environ [20].

1.5.3. Les lipides

Les algues ne contiennent que 2 à 3% de graisses. De plus, ces lipides sont des acides gras polyinsaturés, les oméga 6 et 3, célèbres pour tant de bienfaits au cœur, aux veines et artères, au cerveau, à la peau, etc.... [12].

1.5.4. Les sels minéraux et les oligoéléments

Les oligoéléments, l'iode en particulier, se trouvent en très grande quantité dans les algues. On y décèle aussi énormément de calcium, de magnésium, de phosphore, de sodium, de potassium, de cuivre, de cobalt, d'or, de zinc, de brome ; le taux diffère d'une algue à l'autre, d'où l'importance de varier sa

consommation [10]. La laitue de mer contient 2 fois plus de fer que le germe de blé réputé pour sa richesse ; les algues contiennent 5 à 10 fois plus de magnésium que le germe de blé [12].

1.5.5. Pigments

Les différents pigments qui peuvent être présents appartiennent à trois groupes biochimiques :

1.5.5.1. Chlorophylles

Ce sont des pigments verts, solubles dans l'alcool et les solvants organiques. Il en existe plusieurs, de formules chimiques voisines, que caractérisent leurs spectres d'absorption. Ce sont : la chlorophylle *a* ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) présente chez toutes les algues, la chlorophylle *b* ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) présente chez les Chlorophycophytes et les Euglénophycophytes, la chlorophylle *c* présente chez les Chrysophycophytes, la chlorophylle *d* caractéristique des Rhodophytes, enfin la chlorophylle *e* qui existe chez certaines Chrysophytes (Xanthophycées).

1.5.5.2. Caroténoïdes

Ce sont des pigments jaunes ou oranges, solubles dans les solvants organiques et dans les lipides, Ils comportent :

1.5.5.2.1. Les carotènes, le carotène *b* est le plus répandu et se trouve chez toutes les algues ; le carotène *a*, ne se rencontre, dans les algues, que chez les Chlorophycophytes et les Rhodophytes.

1.5.5.2.2. Les xanthophylles, dérivés oxygénés des carotènes, sont des caroténoïdes mono-, di- ou polyalcools.

1.5.5.3. Phycobilines

Ce sont des substances labiles qui présentent une couleur bleue dans le cas de la phycocyanine et une couleur rouge dans le cas de la phycoérythrine. On distingue la c et la r phycoérythrines. Les Cyanophycées et les Rhodophycées, seuls groupes possédant des phycobilines dans leur complexe pigmentaire, semblent bien, par ce caractère biochimique commun, avoir entre elles des relations de parenté [21].

1.5.6. Enzymes

Les algues fraîches sont riches en enzymes, éléments vitaux de l'alimentation. On trouve notamment la superoxydedismutase aux propriétés antioxydantes reconnues.

1.5.7. Les vitamines

Il paraît qu'on ne trouve pas de vitamine B12 dans les végétaux et que c'est pour cela qu'il faut consommer de la viande ! Ceci est inexact. L'algue Nori en est riche. L'algue kombu aussi. Les algues vertes sont les plus riches en vitamines C, les brunes en vitamines C et E, les rouges en vitamines A [12]. Ils forment aussi une source des antioxydants [15].

Toutes les algues alimentaires sont pauvres en calories par manque de sucres assimilables et de matières grasses, mais elles sont riches en fibres non digestibles, en protéines, sels minéraux et vitamines [22].

Les études concernant les composés azotés, lipidiques, vitaminiques et minéraux ont été relativement délaissées jusqu'à une date, à laquelle plusieurs espèces d'algues ont fait l'objet de nombreuses recherches dans le domaine de l'alimentation humaine et animale [23-24-25].

1.6. Les propriétés nutritives des algues et leurs bienfaits sur l'organisme

Ces légumes de mer représentent un large éventail de bienfaits, que ce soit pour le système rénal, le taux de cholestérol, le transit intestinal, la réduction des risques liés à l'obésité ; elles font des miracles pour ceux souffrant de problèmes aux jambes (lourdeur, circulation sanguine et maux) [26].

La consommation d'algues réglerait aussi certains troubles liés à la constipation, à l'hyperthyroïdie, à la fatigue, de même que les problèmes de déminéralisation. Elle contribuerait à l'élimination du stress, favoriserait une amélioration accrue de la mémoire et de la concentration, une plus grande vitalité.

L'apport en silice conféré par les algues fait des merveilles pour ceux qui ont les ongles cassants et les cheveux abimés [26].

Des propriétés antivirales de polysaccharides et de phénols d'algues brunes ont également été signalées, notamment vis -à -vis du HIV-1 [26], des propriétés anti-inflammatoires par inhibition de la phospholipase A2 ont été décelées pour 12 espèces d'Algues appartenant aux trois classes [27], et les propriétés antimicrobiennes de certains acides gras d'algues brunes ont été décrites [28]. Plusieurs mises au point générales sur ce sujet ont été publiées [29].

1.7. Toxicité des macroalgues

Une forte consommation d'algues peut engendrer certains problèmes de santé. L'iode contenu dans les algues peut être bon pour la glande thyroïde mais, à trop forte dose, il peut aussi lui être néfaste [10]. Plusieurs études, principalement effectuées au Japon, démontrent qu'une consommation excessive d'algues peut aussi entraîner une hyperthyroïdie [12]. Il est prouvé qu'une trop grande consommation d'algues peut également occasionner certains malaises physiques, dus à une surdose de minéraux, par exemple le sodium qui est, rappelons-le, l'ennemi numéro un des personnes souffrant d'hypertension [10].

1.8. Récolte des algues

Il est possible et utile de faire des récoltes depuis la fin de l'hiver jusqu'aux premières gelées de l'automne [16], les récoltes doivent être faites loin de toute source de pollution (ports, égouts, mouillages, etc.). Il est préférable de mettre les différentes espèces d'algues dans des sacs à part afin de rendre la préparation plus aisée[17].

1.9. Conservation

L'algue sèche se conserve au sec et à l'abri de la lumière pour éviter notamment qu'elle se décolore. Elles peuvent être conservée deux ans, comme la loi le préconise ; sachant que les Japonais conservent leurs algues plus de 10 ans en les faisant vieillir comme du bon vin pour les rendre meilleures [12].

1.10. Principales utilisations des macroalgues

Cinq grands secteurs de l'activité industrielle sont concernés par les algues marines, et les substances que l'on peut en extraire, ces cinq domaines industriels sont les suivants, globalement présentés par ordre d'importance économique:

- Production d'algues alimentaires
- Industrie des phytocolloïdes
- Recherche-développement dans le domaine de la santé
- Cosmétologie et industries dérivées
- Agriculture et élevage.

1.10.1. Algues alimentaires

C'est la principale utilisation des Algues dans le monde. Les espèces utilisées comme algues alimentaires se répartissent entre les trois classes: algues vertes, rouges et brunes [30].

Il faut savoir que nous consommons tous des algues chaque jour sans le savoir, sous la forme de gels Sin 400, 401, 405, 406, 407, acides alginiques, agars [12].

Les algues rendent savoureuses les préparations de notre cuisine [31]. On peut incorporer des algues selon leurs différences saveurs dans les soupes, les muffins, les pains, les biscuits, les plats mijotés, la sauce à spaghetti, les salades, les légumineuses, les fricassées de légumes, les jus de légumes ou de fruits fraîchement pressés. Les algues offrent des additifs alimentaires fort précieux, que nous retrouvons dans les produits allégés, ou encore remplaçant efficacement les farines en tant qu'agent épaississant et les œufs. Elles ont la propriété de ne pas

former de cristaux et de fondre sur la langue, ce qui révèle un grand avantage dans la fabrication de produit comme les crèmes glacées et desserts gélifiés [10].

Le Conseil national supérieur d'hygiène publique de France (CNSHPF) et l'Académie nationale de médecine ont émis un avis favorable le 13 décembre 1988 à la commercialisation en alimentation humaine de 12 algues, répondant à des critères bactériologiques et toxicologiques précisés [32].

Tableau 1. 3 Algues alimentaires autorisées [33-34].

| Espèces | Nom commun |
|-----------------------------|----------------------------------|
| Algues vertes | |
| <i>Enteromorpha</i> | Ae-nori |
| <i>Ulva</i> | Laitue de mer |
| Algues rouges | |
| <i>Chondrus crispus</i> | Pioca, lichen |
| <i>Gracilaria verrucosa</i> | Ogo-nori |
| <i>Palmariapalmata</i> | Dulse |
| <i>Porphyra tenera</i> | Nori |
| <i>Porphyra umbilicalis</i> | Faux-nori |
| Algues brunes | |
| <i>Ascophyllum nodosum</i> | Goémon nori |
| <i>Fucus serratus</i> | Goémon nori |
| <i>Fucus vesiculosus</i> | Goémon nori |
| <i>Himantalia elongata</i> | Spaghetti de mer, haricot de mer |
| <i>Hizikia fusiforme</i> | Hiziki, iziki |
| <i>Laminaria digitata</i> | Kombu |
| <i>Laminaria saccharina</i> | Kombu, tangle |
| <i>Undaria pinnatifida</i> | Wakame |

1.10.2. Utilisation des algues pour l'agriculture

Les engrais aux algues marines ont des possibilités d'expansion grâce aux extraits d'algues liquides, qui peuvent être produits sous forme concentrée. Un certain nombre d'études scientifiques démontrent que ces produits peuvent être

efficaces et les extraits d'algues sont maintenant très bien acceptés dans l'horticulture. Pour la culture des arbres fruitiers, des légumineuses et des fleurs, ils ont permis de réaliser des progrès, en particulier des rendements plus élevés, une meilleure assimilation des nutriments, une plus grande résistance à certains organismes nuisibles tels que l'araignée rouge et les aphides, une meilleure germination, et une résistance accrue au gel[35].

A cet aspect, il convient d'ajouter l'utilisation de phycocolloïdes pour la rétention de l'humidité des sols [36], et la possibilité récente d'utiliser l'activité antivirale de certains alginates pour lutter contre le virus de la mosaïque du tabac [37].

1.10.3. Autres utilisations

Les sucres extraits des algues (par ex. l'agarose et le carragénine) peuvent également servir à la préparation de gels. En microbiologie, l'agarose est utilisé depuis plus de cent ans pour solidifier les milieux nutritifs (agar-agar). L'addition de polysaccharides extraits d'algues aux cosmétiques et aux plats préparés est destinée à améliorer la consistance de ces produits [38].

1.11. Utilisations actuelle des algues en Algérie

1.11.1. Agriculture

Depuis longtemps, les agriculteurs dans la région Cherchell et Damous ont utilisé les algues décomposées comme engrais vert pour modifier la texture et améliorer la structure de leurs sols. Généralement la texture des sols de ces régions est sablonneuse. Une autre utilisation à petite échelle est à signaler la conservation de la pomme de terre par les algues. Les agriculteurs creusent des tranchées et conservent les pommes de terre en les couvrant d'algue avant de mettre la terre. Il semble que le sel contenu dans les algues améliore la conservation [39].

1.11.2. Alimentation animale

Dans l'utilisation des algues pour l'alimentation des animaux est ancienne. En Algérie l'incorporation des algues dans la fabrication des aliments pour animaux est récente.

Actuellement, seulement les deux espèces *Ulva lactuca*, *U. rigida* sont utilisées dans la fabrication d'aliment pour poisson. Ces deux espèces ont été recensées en quantité importante dans les sites suivants : Anse de koali, plage El Djamila Wilaya de Tipaza et plages Sghirette et Rocher Noir Wilaya de Boumerdès [39].

1.11.3. Industrie

Actuellement l'utilisation des algues dans l'industrie est inexistante cependant à petite échelle d'extraction des phytocolloïdes notamment les alginates ont été réalisés. Ils ont concerné quelques espèces de genre *Cystosira*[39].

1.12. Production mondiale des algues

La production des algues change avec le groupe systémique. En 2009, la production des algues brunes est de 6,7 millions de tonnes, celles des algues rouges a atteint 8 millions de tonnes. La culture des algues vertes reste limitée à 22000 tonnes.

La production mondiale de macro-algues marines (plus de 6millions de tonnes, cueillette et culture confondues) est depuis toujours dominée par les pays asiatiques [13]. La production est destinée principalement à l'extraction de gélifiants (colloïdes) ; elle trouve également des débouchés dans l'agriculture, la parapharmacie et l'alimentaire [40].

1.13. Aperçu sur les travaux de recherches portant sur les macroalgues en Algérie

L'étude de la flore algale de l'Algérie a fait l'objet d'un certain nombre de travaux. Les premières études remontent à la fin du 19^{ème} siècle dernier auxquelles viennent s'ajouter celles de Perret-Boudouresque et Siridi [41] en regroupant tous les taxons et stades d'algues signalés sur l'ensemble des côtes Algériennes (d'ouest en est). Selon Séridi[42 - 43] la flore algale de l'Algérie reste peu étudiée.

D'autres études orientées sur l'aspect écologique sont réalisées par Ould Ahmed[44] dans la région d'Arzew (à l'ouest d'Alger) et par Kadari-Méziane [45] dans la baie de Bou-Ismaïl.

Quelques contributions à l'étude d'ordre chimique ont porté sur l'extraction et la purification des alginates chez *Cystoseira* sp. Des côtes algériennes par Benchabanne[2] et sur la détermination des stérols en vue du développement d'une nouvelle méthode analytique chez l'algue rouge *Asparagopsis armata* par EL Hattab-Bouzidi [46] et chez les algues brunes des côtes Algériennes par Bouzidi[47]. Une étude antérieure à celle-ci a porté sur des extraits organiques de quelques algues méditerranéennes et de l'océan Atlantique par El Hattab [48]. Cette étude a permis de développer les techniques d'extraction, de séparation et de caractérisation des extraits lipidiques et de leurs dérivés.

Au cours des deux contributions apportées par Siridi en 1990 et 2007, l'étude des dominances des différents groupes systématiques algales reste insuffisante pour obtenir des données sur les possibilités d'exploitation.

CHAPITRE 2 :

LES FIBRES ALIMENTAIRES

2.1. Définition

Le terme « fibres alimentaires » est utilisé pour décrire l'ensemble des résidus de la paroi végétale non hydrolysés par les enzymes digestives de l'Homme et de certains animaux [49-52]. Elles comprennent des polysaccharides non amylacés à savoir, la cellulose, l'hémicellulose, le β glucan, les pectines, les mucilages et les gums, plus une substance non polysaccharidique la lignine.

Ce sont des macromolécules glucidiques formées par enchainement d'un grand nombre de sucres élémentaires. La cellulose, l'hémicellulose et les pectines sont des polysaccharides constitutifs de la paroi des cellules végétales [53]. La figure ci-après illustre la structure des fibres.

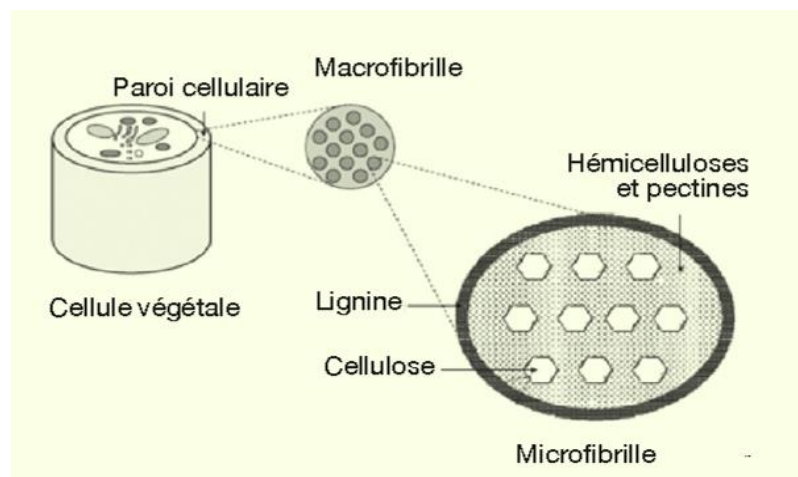


Figure 2.1 : organisation des polysaccharides structuraux et de la lignine dans les parois cellulaires [54]

Les fibres alimentaires ne sont ni digérées ni absorbées dans l'intestin grêle. Elles assurent l'une des propriétés suivantes [55] :

- augmentation de la production des selles ;
- stimulation de la fermentation colique ;
- diminution de la cholestérolémie à jeun ;
- diminution de la glycémie et/ou de l'insuline post-prandial

2.2. Composition chimique

Les fibres alimentaires forment un groupe très hétérogène d'un point de vue chimique et physicochimique. Elles font partie de la famille des glucides (polysaccharides non amylacés d'origine végétale, algale microbienne ou fongique, amidons résistants, et oligosaccharides résistants) à l'exception de la lignine.

La figure suivante nous montre la complexe fibre alimentaire et ses principaux composants :

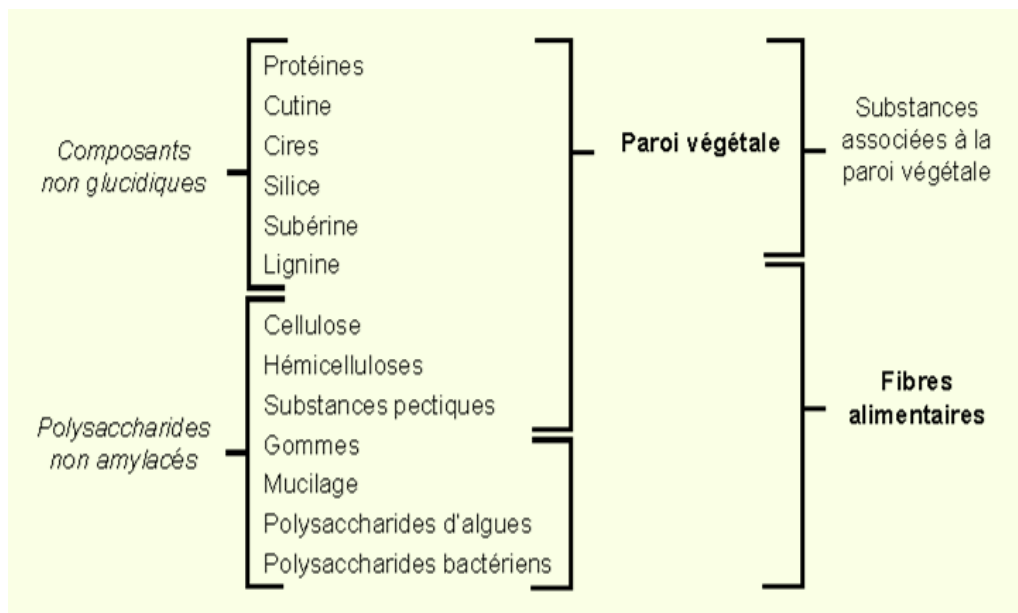


Figure 2.2 : La complexe fibre alimentaire et ses principaux composants [56].

Ce sont des molécules complexes et de grande taille qui sont des polymères organisés en chaînes linéaires ou ramifiées. Leur structure chimique détermine leurs propriétés physicochimiques et leurs effets physiologiques [57].

La figure 58 représente un schéma de la molécule de cellulose,

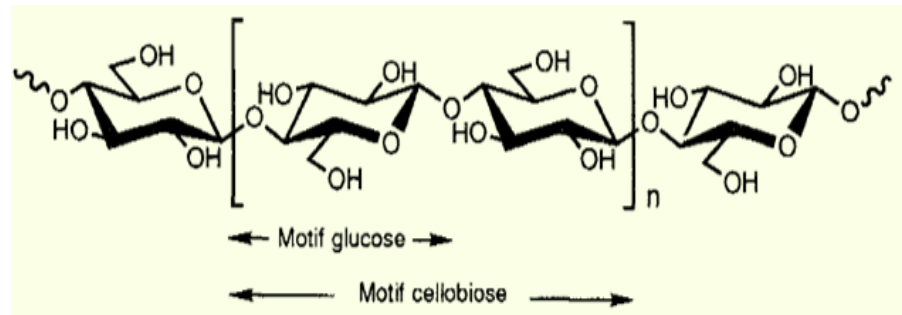


Figure 2.3 : Représentation schématique de la molécule de cellulose [58].

2.3. Propriétés physicochimiques

D'après Schneeman et Teityen [59], les fibres ont une structure chimique unique et des propriétés physiques caractéristiques à savoir : la solubilité, la viscosité, le pouvoir gélifiant, l'absorption, la rétention de l'eau et le pouvoir fermentaire.

2.1.1. Solubilité

D'après Saettel [60], les fibres sont divisées en deux catégories (solubles et insolubles) et la plupart des aliments riches en fibres apportent un mélange de ces deux catégories. Les fibres solubles regroupent la pectine, les gommés, les mucilages et certaines hémicelluloses telles que les β -glucan. Les fibres insolubles regroupent la lignine, la cellulose et d'autres hémicelluloses (les arabinoses).

Les fibres solubles se dissolvent dans l'eau ainsi que dans le tractus intestinal. Elles y forment un gel en absorbant et se gonflent dans l'eau. Par contre les fibres insolubles ne se dissolvent pas dans l'eau et dans le liquide stomacal et intestinal. Cependant elles ont un pouvoir d'absorber l'eau [61].

2.1.2. Pouvoir d'absorption et de rétention de l'eau

La capacité d'absorption d'eau (Water Binding Capacity) est reliée au pouvoir de gonflement des fibres, alors que la capacité de rétention d'eau fait plutôt référence à la conservation d'une quantité d'eau contre une force [62].

2.1.3. Viscosité et pouvoir gélifiant

Les fibres solubles absorbent une grande quantité d'eau et forment soit des solutions épaisses de viscosités importantes, comme les gommes ou l'hémicellulose de l'orge et de l'avoine, soit des gels comme les pectines de fruits et alginates des algues. De cette façon, elles ralentissent la vidange gastrique, elles procurent une satiété précoce et elles diminuent la vitesse d'absorption des glucides (aussi des lipides) dans l'intestin grêle [60].

2.1.4. Pouvoir fermentaire

Le concept de fermentabilité est fondamental pour comprendre l'effet physiologique des fibres alimentaires. Les polysaccharides amylicés ne sont pas digestibles par les enzymes endogènes de l'intestin grêle de l'Homme, et passent à travers le côlon qui contient une large gamme de microorganismes, où ils sont fermentés [63].

D'après Stephen [64], les fibres alimentaires insolubles résistent à la fermentation alors que les fibres solubles sont pratiquement complètement fermentées.

2.4. Consommation des fibres alimentaires

La modification des habitudes alimentaires avec la consommation accrue de produits raffinés dans les pays industrialisés a entraîné une chute de la consommation des fibres alimentaires ce dernier siècle [65]. On recommande d'en absorber en moyenne de 30 à 40 g/j [66].

2.5. Fibres alimentaires des macroalgues

Les algues sont riches en glucides non assimilables par l'organisme (fibre) : une algue contient en moyenne 35% de fibres. Plus de la moitié de ces dernières

sont solubles et mucilagineuses. Elles sont différentes des fibres des plantes terrestres. Elles consistent principalement en polysaccharides solubles (de 17 à 59%), parmi lesquels on trouve les carraghénanes et les agars des algues rouges ainsi que les alginates des algues brunes.

Les parois des algues sont formées de deux parties : une phase dite « cristalline » qui joue le rôle de « Squelette » et une phase amorphe, appelée « matrice », qui contient le squelette.

2.5.1. Polysaccharides fibrillaires du « squelette »

Il s'agit essentiellement de la cellulose, le diholoside monomère, unité répétitive de la cellulose, porte le nom de « cellobiose ». D'une manière générale, les pourcentages de cellulose sont plus élevés dans les algues vertes que dans les algues rouges ou brunes. Ces pourcentages sont de l'ordre de 30%. La cellulose n'est cependant pas le seul polysaccharide fibrillaire des algues vertes.

2.5.2. Polysaccharides matriciels

Il s'agit de polyholosides complexes, diversement sulfatés, qu'il est utile de répartir en deux groupes. Le premier contient les polyholosides formés à partir de L-rhamnose, de D-xylose et d'acide glucuronique, qui se trouvent surtout dans les espèces de l'ordre des Ulvales (*Enteromorpha*, *Ulva*) [30].

La figure suivante présente association entre les différents composants polysaccharides de la paroi d'*Ulva lactuca* .

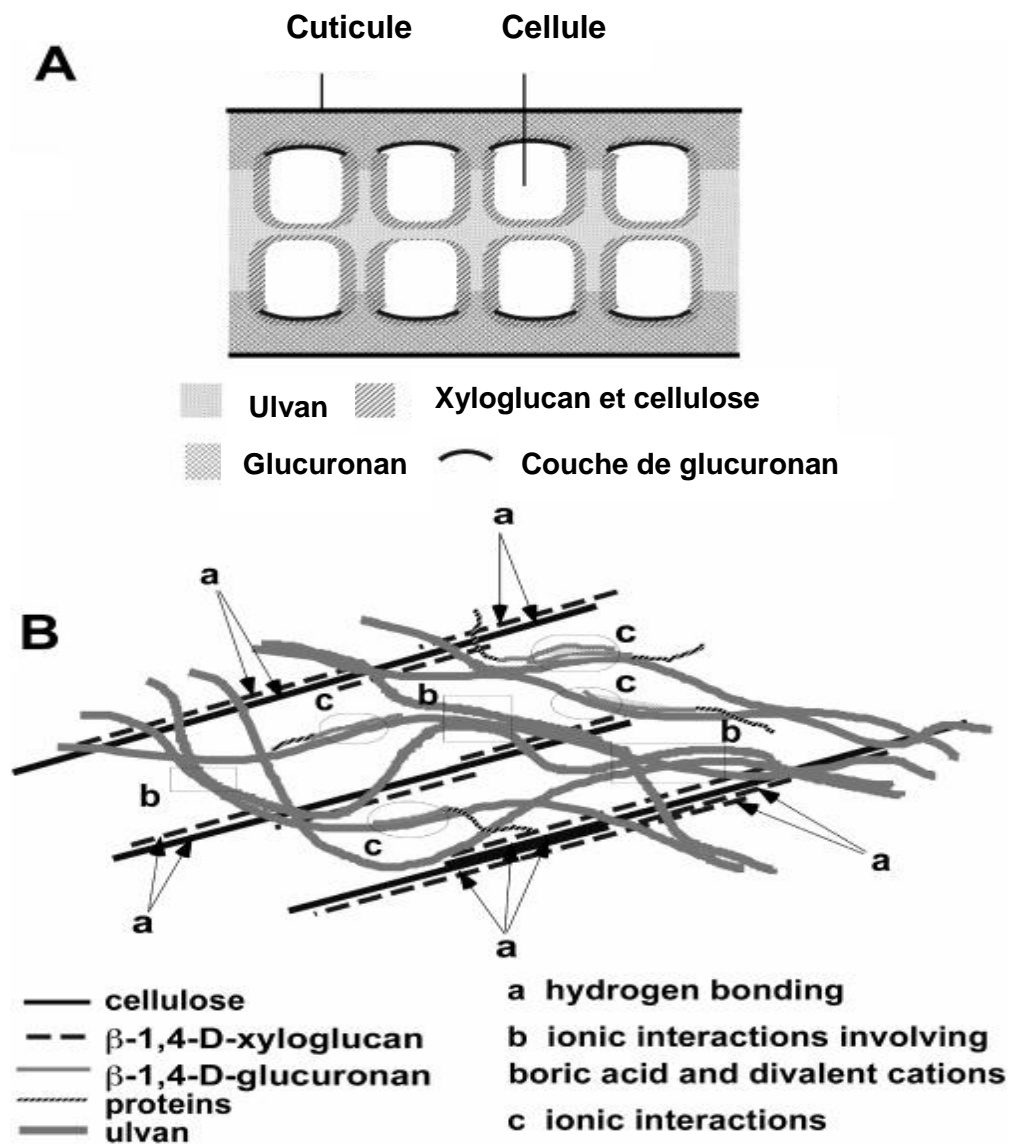


Figure 2.4 : Distribution de différents polysaccharides des cellules de parois d'*Ulva* sp. A : coupe schématique de thalle, B : association entre les différents composants polysaccharides de la paroi [67].

2.6. Mucilages des algues vertes

L'intérêt industriel principal des mucilages des algues vertes marines réside dans leurs propriétés anticoagulantes. Les polyosides sulfatés des algues vertes ne constituent pas facilement de gel *in vitro*. Cependant, les uronopolyosides sulfatés extraits d'*Ulva lactuca* donnent un gel souple après dialyse contre de l'eau de mer. Le processus de gélification correspondrait à la formation de liaisons inter chaînes par l'intermédiaire de complexes borate-polyoside stabilisés par des liaisons ioniques formées par l'intermédiaire d'ions Ca^{2+} [68]. Certaines algues en contiennent de façon significative. Elles se combinent aux métaux lourds : plomb, mercure, cadmium, et déchets de la mer pour les expulser vers les selles [12].

2.7. Effets digestifs et fonctionnels des fibres alimentaires

Des études d'intervention et épidémiologiques montrent un effet positif possible des fibres vis-à-vis de fonctions et de maladies digestives:

- Stimulation de la croissance et/ou de l'activité d'une flore intestinale bénéfique (effets prébiotiques).
- Prévention de la maladie diverticulaire
- Effets préventifs possibles du cancer colorectal
- Effets préventifs possibles de maladies cardiovasculaires.

De plus, une alimentation riche en fibres augmente la sensation de satiété et réduit la prise énergétique dans la journée. Les fibres peuvent aider à la réduction pondérale en association avec des régimes hypocaloriques.

Les fibres alimentaires ont un rôle important dans la diminution de certaines maladies tel que diabète, maladies cardiovasculaires, cancer de colon et constipation [69].

Connaissant certains effets des fibres alimentaires sur le fonctionnement du tube digestif, les chercheurs et les médecins ont cherché à évaluer si la présence des fibres peut avoir un effet préventif, voire curatif vis-à-vis de quelques troubles digestifs. Parmi ces troubles, la constipation, se traduisant par l'émission de selles dures et de faible poids, apparait très répandue. Les facteurs responsables de la

constipation sont multiples, mais pour la plupart des gens, la constipation est liée au mode de vie et à une alimentation déficiente en fibres alimentaires. Il est donc certain que la consommation de quantités suffisantes de fibres, est indispensable de prévenir ou faire régresser la constipation [70].

Comme la plupart des autres fibres alimentaires, celles des algues ont la capacité de faciliter le transit alimentaire. Cependant elles présentent aussi des propriétés liées à leur natures polysaccharidiques, très intéressantes à différents niveaux : plusieurs études scientifiques ont en effet mis en évidence récemment des effets antiviraux et anticoagulants liés aux polysaccharides des algues [20].

CHAPITRE 3 :

MATERIEL ET METHODES

Introduction : dans ce chapitre seront exposés les différentes techniques utilisées pour la caractérisation de la matière première végétale ainsi que les tests in-vivo sur les rats dans le but de mettre en évidence l'efficacité des fibres alimentaires sur le transit intestinal.

3.1. Le matériel biologique d'étude

Le matériel végétal ayant fait l'objet de notre étude est constitué de deux algues benthiques endémique des côtes Algériennes, *Ulva lactuca* et *Enteromorpha sp.* appartenant au groupe des algues vertes. La figure ci-après illustre l'aspect de cette espèce végétale.



Figure 3.1 : Image rassemblant *Ulva sp.* Et *Entéromorpha sp.* [71].

3.1.1. Présentation et description des Algues vertes utilisées

3.1.1.1. *Ulva lactuca* ou la laitue de mer

Cette algue verte, commune sur les rochers dans la zone de balancement des marées, se présente comme une lame orbiculaire, plus ou moins lobée, qui

s'attache au substrat par un très petit disque basal. En coupe transversale toute la lame est formée par deux couches de cellules quadratiques toutes semblables et dans lesquelles se trouve un plaste pariétal en forme de coupe porteur d'un ou de deux pyrénoides [21],

Et cela est présenté dans les deux figures suivantes :

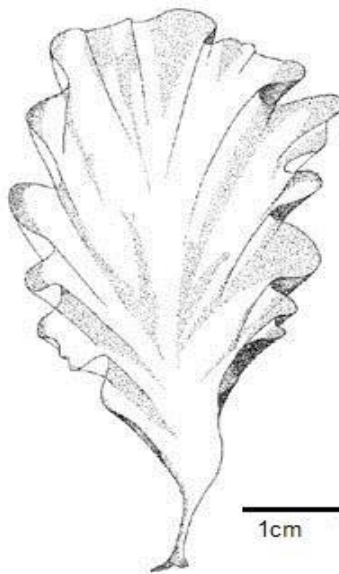


Figure 3.2 : Aspect externe du thalle d'*Ulva lactuca* [72].

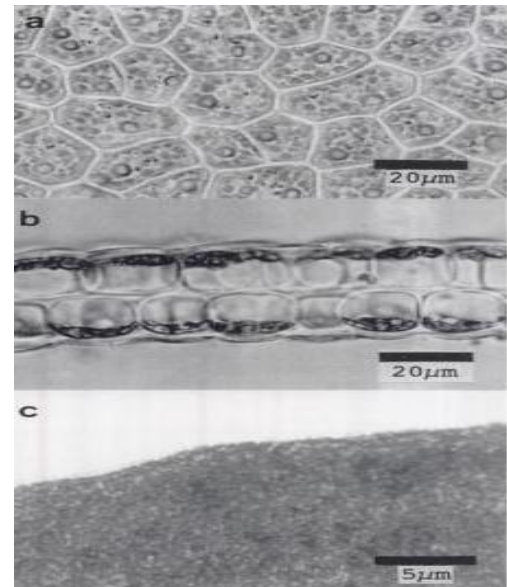


Figure 3.3 : Caractéristiques morphologiques d'*Ulva sp.*, a : coupe transversale, b : coupe longitudinale, c : la partie marginale, [73].

3.1.1.2. Enteromorphasp. ou cheveux de mer

Ils ressemblent énormément à la laitue de mer tant dans leur composition que dans leur utilisation. Les cheveux de mer sont des algues d'un vert franc, très minces aux bords arrondis, pouvant atteindre les 20 centimètres comme illustré sur la figure ci-après :

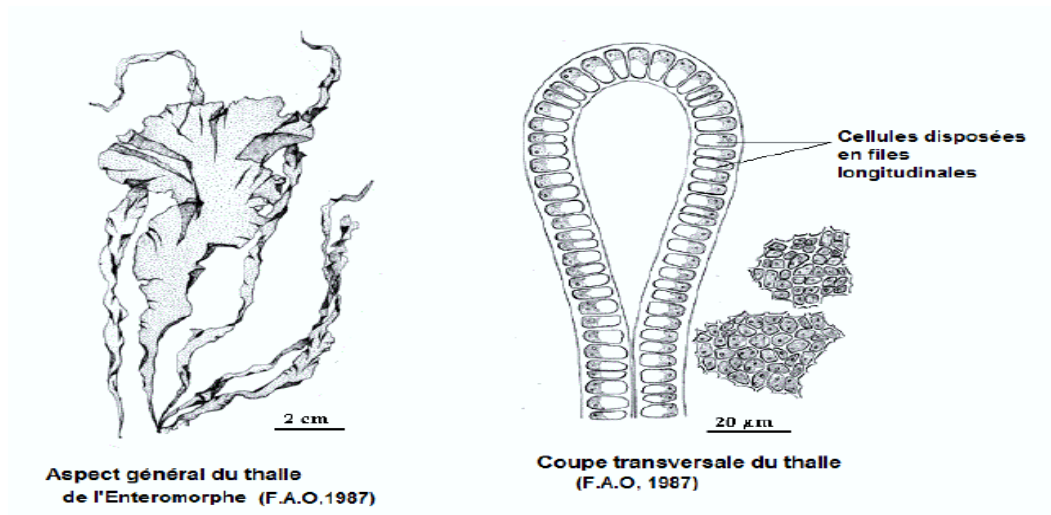


Figure 3.4 : Aspects externe et cellulaire du thalle de l'*Enteromorpha*[72].

3.1.1.3. Classification

La classification de ces deux Algues vertes est répartie dans le tableau suivant :

Tableau 3.1 : Classification botanique de *Ulva lactuca* et *Enteromorpha* sp. [74-75].

| | Laitue de mer | Cheveux de mer |
|----------------------|------------------------|-------------------------|
| Règne | <i>Plantae</i> | <i>Plantae</i> |
| Embranchement | <i>Chlorophyta</i> | <i>Chlorophyta</i> |
| Classe | <i>Ulvophyceae</i> | <i>Chlorophyceae</i> |
| Ordre | <i>Ulvales Ulvales</i> | <i>Ulothricales</i> |
| Famille | <i>Ulvaceae</i> | <i>Ulvaceae</i> |
| Genre | <i>Ulva</i> | <i>Enteromorpha</i> |
| Espèce | <i>Ulva lactuca</i> | <i>Enteromorpha</i> sp. |

3.1.2. Récolte et identification

Les algues vertes *Ulva lactuca* et *Enteromorpha sp* sont récoltées de la région de Corniche, la Madrague (Ain benian, Willaya d'Alger), respectivement en Décembre 2013 et Mars 2014 en marée basse. Elles sont identifiées par Mr. Mettai au niveau de l'université de Blida. La figure ci-après illustre le site d'échantillonnage



Figure 3.5 : Site d'échantillonnage (La Corniche, la Madrague).



**Figure 3.6 : Photographie
d'*Ulva lactuca***



**Figure 3.7 : Photographie
d'*Enteromorpha sp***

Les deux figures ci-dessus montre les deux espèces d'algues étudiées.

3.1.3. Préparation des échantillons

Les algues recueillies ont été débarrassées de leur épiphytes et des débris adhérent à leur thalles, rincées sur place à l'eau de mer, filtrée puis placées dans des boites en plastique. À leur arrivée au laboratoire, les algues sont à nouveau rincées à l'eau distillée et séchées à l'étuve (38°C). Les échantillons sont ensuite broyés pour obtenir une poudre fine qui sera utilisée pour les différentes analyses.

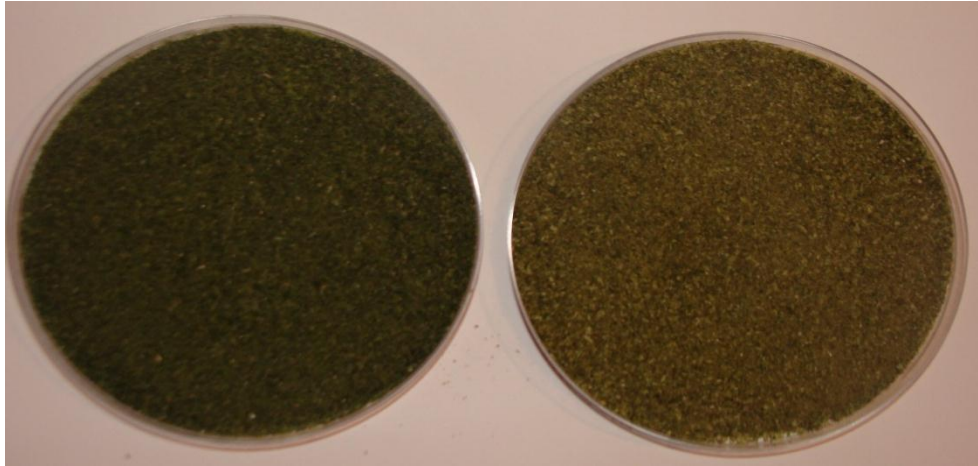


Figure 3.8 : Photographie des algues en poudre, *Ulva lactuca* à gauche et *Enteromorpha sp.* à droite.

3.2. Méthodes d'analyse

Dans cette étude, la détermination de la valeur nutritionnelle des deux chlorophycées a porté sur les dosages suivants :

3.2.1. Teneur en cendres

La teneur en cendres a été déterminée Selon la norme française NF V03-922 :

Nous avons procédé à une incinération de la poudre d'algue à 500°C dans un four à moufle jusqu'à obtention d'une masse constante.

$$Teneur\ en\ cendres = \frac{(M2 - M0)}{(M1 - M0)} \times 100$$

Avec:

m₀: la masse en g de la capsule d'incinération

m₁: la masse en g de la capsule avec la prise d'essai

m₂: la masse en g de la capsule avec les cendres

3.2.2. Dosage des sucres totaux

3.2.2.1. Principe

Le dosage des sucres totaux est effectué par la méthode de phénol /acide sulfurique [76]. Cette dernière nécessite une hydrolyse acide qui permet la rupture de toutes les liaisons glucidiques dans le polyside.

Le principe du dosage se base sur la condensation des produits de déshydratation des oses avec un chromogène qui est le phénol. A ce moment- là, il se forme des chromophores de couleur jaune-orange, leur apparition est suivie en mesurant l'augmentation de la densité optique à 490 nm.

La teneur des sucres est exprimée en µg / ml (convertie en grammes / litre) de α D (+) Glucose à partir d'une courbe d'étalonnage établie (Voir appendice A).

3.2.2.2. Mode opératoire

➤ **Préparation de l'échantillon**

- On additionne à 0,5g d'échantillon, 20 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) 0,5 M, puis on place l'ensemble dans une étuve réglée à 105°C pendant 3 heures
- on transpose la solution dans une fiole de 500ml tout en ajustant le volume par de l'eau distillée jusqu'à 500ml ;
- on filtre la solution puis on réalise trois dilutions au 1/3 ;
- dans des tubes, on met 1ml de chaque dilution, ensuite on ajoute dans chaque tube 1ml de phénol à 5 % et 5ml d'acide sulfurique H_2SO_4 à 98 % ;
- les tubes sont maintenus dans l'étuve pendant 5 minutes à 105°C, puis laissés dans l'obscurité pendant 30 minutes ;
- enfin, à l'aide d'un spectrophotomètre, on fait la lecture de la densité optique à une longueur d'onde de 490 nm.

➤ **Courbe d'étalonnage**

La gamme d'étalonnage est effectuée de la façon suivante :

- Une solution mère de α D (+) glucose est préparée à une concentration de 1%. A partir de cette dernière, on prend 1ml et on complète le volume par l'eau distillée jusqu'à 100ml.
- Ensuite, on prépare des dilutions de différentes concentrations de 10, à 100 μ g/ml.
- De chaque concentration, on prend 1ml auquel on ajoutera 1ml de phénol à 5% et 5ml d'acide sulfurique à 98%.
- On maintient les tubes dans une étuve pendant 5min à 105°C, ensuite on les laisse dans l'obscurité pendant 30min.
- Enfin, on lit la densité optique, de chaque concentration, à 490nm et on trace la courbe d'étalonnage $DO = f(C)$.

Dont :

C : est la concentration en μ g/ml

DO : est la densité optique.

3.2.3. Détermination de la teneur en lipides

3.2.3.1. Principe

L'extraction par solvant organique (Hexane), spécifique pour la détermination du taux de la matière grasse est réalisée avec un appareil de type Soxhlet.

A la fin de l'extraction, on peut admettre que toute la matière grasse est transférée dans le solvant.

3.2.3.2. Mode opératoire

Il est effectué selon la méthode **NF V 03-905** :

50 g d'échantillon sont placés dans le Soxhlet, on y introduit 500 mL d' hexane dans le ballon et on règle la température à 60°C.

Par la suite, on chasse la majeure partie du solvant à l'aide de l'évaporateur rotatif.

Le ballon contenant les lipides est placé à l'étuve pendant 30 min à 103°C, puis au dessiccateur pendant 30 min. Le poids des lipides est obtenu par la différence entre le poids final et le poids initial du ballon.

3.2.3.3. Expression des résultats

Le taux de la matière grasse est calculé par la formule suivante :

$$\text{Teneur en MG(\% MS)} = ((A - B) \cdot 100) / ((C \cdot MS) / 100)$$

A: poids du ballon + extrait en gramme

B: poids du ballon vide en gramme

C: poids de la prise d'essai en gramme

MS: matière sèche en pourcentage

3.2.4. Dosage des protéines [77]

3.2.4.1. Principe

Pour déterminer la quantité des protéines contenues dans un échantillon, on procède à un dosage de l'azote total par la méthode de **Kjeldahl**. Cette dernière s'effectue en trois phases :

- Digestion (minéralisation) ;
- distillation ;
- titration.

3.2.4.2. Mode opératoire

3.2.4.2.1. Minéralisation

Dans un matras de **Kjeldahl**, on introduit :

- 1 g du matériel biologique broyé.
- 2 g de catalyseur
- 25 ml de H₂SO₄ concentré à 97 %.
- 2 ml d'H₂O₂ (eau oxygénée) à 30 %.

On chauffe le matras jusqu'à ce que la couleur noire se transforme en une couleur limpide, à ce moment-là, l'azote organique est transformé en azote minéral.

Ensuite, on laisse refroidir et on transpose l'échantillon minéralisé dans une fiole, on lave le matras avec l'eau distillée tout en ajustant le volume jusqu'à 100 ml.

3.2.4.2.2. Distillation

Dans un matras, on introduit 10 ml du contenu de la fiole auquel on additionne 20 ml d'eau distillée et 30 ml de la soude à 35 %.

En parallèle, on prépare une solution d'acide borique à 0,1N avec 10 gouttes d'indicateur de Tashiro (de couleur rose- violette en présence d'un milieu acide et

verte dans le cas d'un milieu alcalin). La distillation s'effectue dans un appareil spécifique, elle est arrêtée au bout de 4 minutes à compter du début d'ébullition.

3.2.4.2.3. Titration

Puisqu'on utilise l'acide borique comme solution de récupération, on va alors titrer l'excès des anions de borate avec la solution de HCl à 0,1N jusqu'à changement de la coloration du vert au rose-violet dû au virage de l'indicateur de Tashiro.

3.2.4.3. Expression des résultats

L'azote total est calculé suivant la formule représentée ci- dessous :

$$\text{Azote total (N) (\%)} = \frac{(VB - VE) F \cdot 0,0014 \cdot 10 \cdot 100}{m}$$

Dont :

VB : Volume de NaOH 0.1N utilisé pour un essai blanc (ml).

VE : Volume de NaOH 0.1N utilisé pour la titration de la solution à doser (ml).

F : Facteur de correction.

100 : coefficient du pourcentage

10 : coefficient du volume total de la solution à doser

m: masse de la prise d'essai.

Le taux d'azote total est converti en taux de protéines brutes selon la formule suivante :

$$\text{Taux de protéines brutes (\%)} = N \text{ total (\%)} \times 6,25$$

D'où 6,25 est le facteur de conversion basé sur le taux moyen d'azote des protéines.

3.2.5. Dosage des fibres alimentaires

3.2.5.1. Fractionnement et dosage des polysides pariétaux

Le fractionnement des constituants pariétaux est réalisé selon la méthode de **Van Soest [78]**.

Le principe consiste à fragmenter les différents constituants de la paroi végétale grâce à des détergents appropriés.

Cette méthode constitue une amélioration de dosage des structures physico-chimiques de la cellule végétale. De ce fait elle tend à s'imposer au niveau international.

Sur le même échantillon, elle permet de doser :

- NDF (Neutral Détergent Fiber) ou paroi végétale totale. C'est le résultat de l'hydrolyse de l'échantillon en milieu neutre avec une solution détergente. Ce résidu renferme encore, néanmoins, des matières azotées et des matières minérales emprisonnées dans les parois ; (NDF=CB + hémicellulose + lignine) ;
- ADF (Acid DétergentFiber) C'est le résultat de l'hydrolyse de l'échantillon ou du résidu NDF, en milieu acide, en présence de cétyle-triméthyl-ammonium-bromide (CTAB). Ce détergent solubilise le contenu cytoplasmique du végétal et les hémicelluloses. En règle générale, ce résidu contient la totalité de la cellulose vraie, de la lignine en majeure partie, une fraction variable des hémicelluloses, des substances pectiques et une fraction des matières minérales (ADF= cellulose + Lignine).
- La lignine : estimée après destruction, par H_2SO_4 à 72 %, de la cellulose vraie. Le résidu appelé ADL (Acid DétergentLignin) contient de la lignine et de la cutine.

Le mode opératoire est représenté par la figure 2.8 et la composition des détergents utilisés est donnée dans le tableau 2.2.

Tableau 3.2 : Composition des détergents (pour 1 litre).

| | |
|------------|---|
| NDF | 30 g de Sodium Lauryl Sulfate |
| | 18,6 g de Dissodium Ethylène Diamine Tetracetatedihydrate (E.D.T.A) |
| | 6,8 g de Sodium Borate decahydrate |
| | 4,56 g de Dissodium Hydrogène Phosphate anhydre |
| ADF | 20 g de CethylTriméthylAmoniumBromide (C.T.A.B) |
| | 27,77 ml d'Acide Sulfurique |

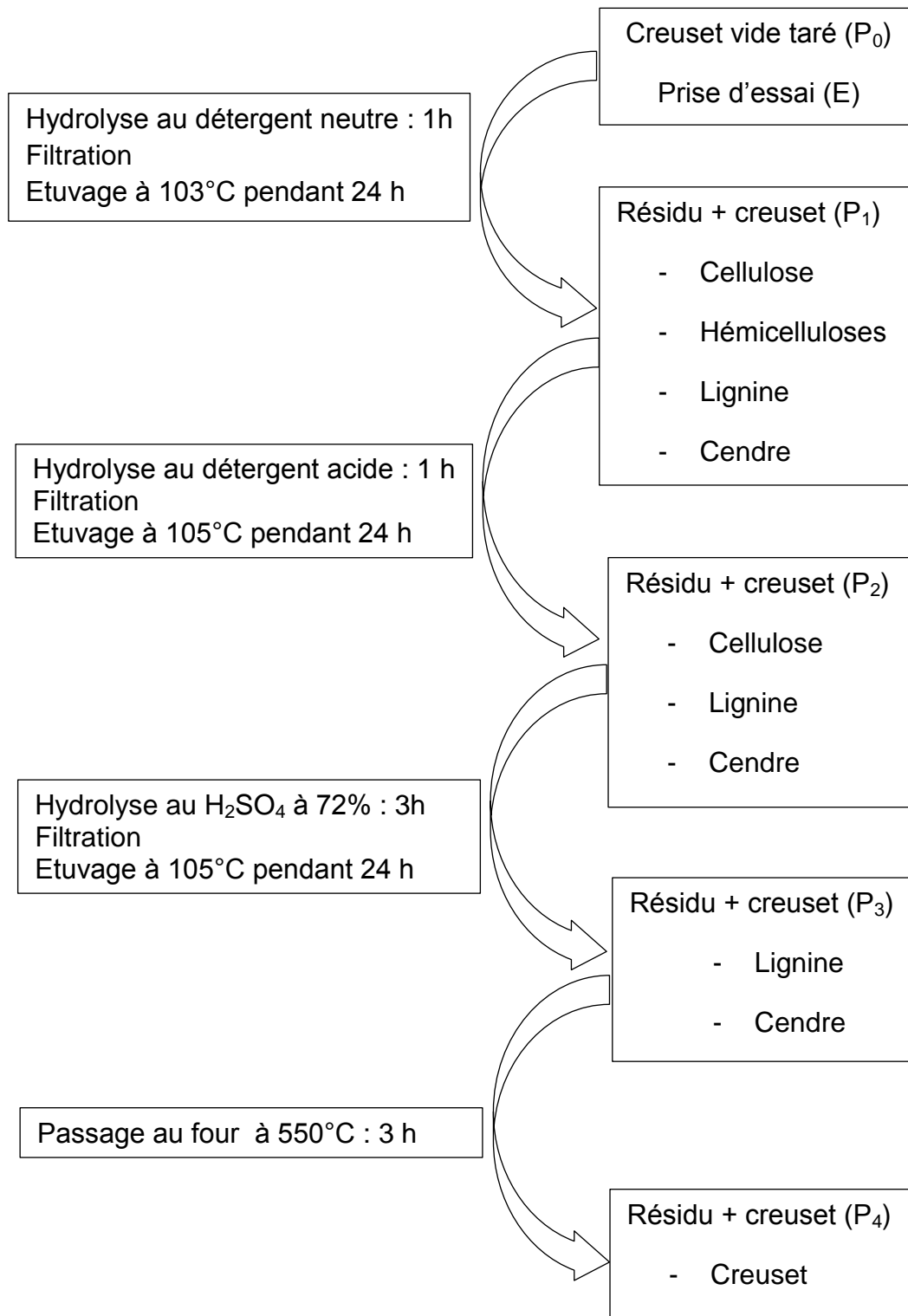


Figure 3.9 : Evaluation des constituants de la paroi végétale [78].

3.2.5.2. Expression des résultats

Les valeurs sont exprimées en % MS et sont calculées à partir des formules suivantes :

$$\mathbf{NDF} = (P_1 - P_0) / E \times 100$$

$$\mathbf{ADF} = (P_2 - P_0) / E \times 100$$

$$\mathbf{Hemicellulose} = \mathbf{NDF} - \mathbf{ADF}$$

$$\mathbf{Cellulose} = (P_2 - P_3) / E \times 100$$

$$\mathbf{Lignine} = (P_3 - P_4) / E \times 100$$

$$\mathbf{Cendres} = (P_4 - P_0) / E \times 100$$

Avec :

E: Prise d'essai.

P₀ : Poids en g de creuset vide.

$$\mathbf{P_1} = \mathbf{P_0} + \mathbf{E}$$

P₂: Poids en g de creuset après lavage à l'eau chaude (cellulose, lignine et matières minérales).

P₃: Poids en g de creuset après l'attaque acide (lignine et matières minérales).

P₄: Poids en g de P₃ après incinération.

3.2.6. Détermination des propriétés fonctionnelles

3.2.6.1. Capacité de rétention de l'eau

Dans un tube à centrifuger, 1g d'échantillon à analyser est mis en présence de 30 ml d'eau distillée sous agitation, les tube sont maintenus à une température ambiante. Après 1 h chaque échantillon est centrifugé (12,000xG, 20 minutes), ensuite le surnageant est éliminé et le résidu est pesé. La capacité d'absorption d'eau est exprimée en g d'eau par g d'algue sèche.

3.2.6.2. Capacité d'absorption des lipides

A 3 g d'échantillon on ajoute 18 ml d'huile de tournesol et on laisse le mélange une nuit à une température ambiante puis il est centrifugé à 1500xg pendant 10 minutes, le surnageant est évacué, la capacité d'absorption des lipides est exprimée en g d'huile par g d'algue séchée.

3.3. Expérimentation animale : Détermination de temps de la vidange gastrique

3.3.1. Animaux

Dans cette étude, nous avons utilisé comme modèle expérimental 24 rats males, albinos de souche Wistar (*Rattusnorvegicus*) pesant environ 190g à leur arrivée, fournis par l'Institut Pasteur d'Algérie (Annexe kouba).

Le rat est le mammifère d'expérimentation le plus largement utilisé dans les études comportementales pour lesquelles, incidemment, la souris ne convient pas. De plus, le rat a été traditionnellement l'animal de choix dans de nombreux projets de recherche en nutrition.



Figure 3.10 : photo de rat *Wistar*.

3.3.1.1. Condition d'élevage

Les rats sont logés dans des cages en plastique recouvertes d'une grille en acier inoxydable. Toutes les cages sont équipées d'une tétine assurant régulièrement une alimentation en eau. Ces cages sont nettoyées une fois par semaine.

L'aliment préparé sous forme granulé est donné de manière *ad-libitum*.

Ces cobayes sont hébergés dans une pièce convenablement aérée. Le cycle jour/nuit est de 12 heures.



Figure 3.11 : Photographie montre les rats *Wistar* dans leur cage normalisée

3.3.1.2. Aliment

Les régimes utilisés lors de cette expérimentation sont de trois types :

- Un régime standard (RS) : permet de maintenir l'équilibre nutritionnel des rats,
- Un régime contenant une quantité d'*Ulva lactuca* (RU)
- Un régime contenant une quantité d'*Enteromorpha* (RE)

La composition du régime est inspirée de celle proposée par Varela and *al.*, (1995) ;

Hochgraf and *al.*, (1997); Sanchez-Muniz and *al.* (1998) in [79-80]. Le régime est composé de 16 % de protéines, 28 % de sucre simple, 10 % de lipides, 7 % de minéraux, 1 % de vitamines, 3% de fibres (agar) et on complète la composition à 100 % par un sucre complexe (amidon de maïs).

La fraction protéique est apportée par la poudre de lait écrémé, supplémentée avec de la DL Méthionine ; la même quantité de poudre de lait fournit 3,16 % de minéraux, 20.63 % de sucre simple sous forme de lactose et le reste est complété par le saccharose.

Le tableau 2.3 récapitule la composition des régimes alimentaires administrés aux différents lots de rats, et les figures 3.12 et 3/13 présentent des photos des aliments préparés.

Tableau 3.3 Composition des différents régimes alimentaires (g/100g d'aliment)

| Régime Ingrédients | RS | RU | RE |
|-------------------------|----------|-------------|------------|
| Poudre de lait | 42.11 | 40.88 | 41.49 |
| Saccharose | 7.37 | 6.85 | 6.59 |
| Huile de tournesol | 8 | 7.68 | 7.76 |
| Complément minéral | 3.84 | 1.33 | 1.28 |
| Complément vitaminique | 1 | 1 | 1 |
| Fibre (Agar) | 3 | | |
| <i>Ulva lactuca</i> | | 6.39 | |
| <i>Enteromorpha sp.</i> | | | 7.7 |
| DL Méthionine | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Amidon de maïs | 25.38 | 26.57 | 24.88 |
| Humidité | 9 | 9 | 9 |

Les aliments sont préparés en quantités suffisantes, sur la base d'une consommation moyenne quotidienne de 15 g par le rat *Wistar* [81].



Figure 3.12 : Photographie d'aliment de régime standard (RS) de rat.



Figure 3.13. Photographie de l'aliment contenant l'algue *Ulva lactuca* à droite et de l'aliment contenant *Enteromorpha sp.* à gauche.

3.3.2. Protocole expérimentale

Après une semaine d'adaptation avec le régime standard, les rats ont été répartis en 3 lots de 8 rats chacun,

Pour déterminer le temps de transit digestif total ou le temps de la vidange gastrique chez les rats après une alimentation contenant les algues étudiées, nous allons procéder à la technique de rouge de Phénol.

Cette technique consiste à introduire à l'aide d'une sonde œsophagienne après un jeûne de 12 heures, une solution liquide de rouge de phénol à 3% distribuée à raison de 11 ml par Kg de poids vif de l'animal, l'observation de l'apparition de coloration rouge dans les fèces permet également d'évaluer le temps de transit intestinal total [82].

Technique de gavage :

- Placer la sonde du côté gauche de la bouche du rat avec un angle de 45° et l'insérer délicatement.
- Redresser la seringue à la verticale en douceur et la descendre sans qu'il y ait de résistance. On ne doit jamais forcer.
- Administrer le volume et retirer doucement la sonde.

Les photos suivantes 3.14, 3.15 et 3.16 nous montrent la technique de gavage pour l'administration intragastrique de la solution de rouge de phénol plus l'aspect des fèces après et avant de procéder à cette technique.



Figure 3.14 : Photos montrant la technique de gavage



Figure 3.15 : Photo montrant les fèces à l'état sèches non colorées secrétées par les rats.



Figure 3.16 :Photo montrant les fèces à l'état sèches colorées avec le rouge de phénol secrétées par les rats.

Cette figure montre la disposition des cages.



Figure 3.17 : Disposition des cages

3.4. Analyse statistique

Le test t de Student a été utilisé pour les comparaisons statistiques. Les résultats sont exprimés en moyenne \pm une erreur standard avec un seuil de significativité $p \leq 0.05$. Tous les calculs ont été effectués au moyen du logiciel statistique SigmaPlot.

CHAPITRE 4 :

RESULTATS ET DISCUSSION

Dans ce chapitre, seront présentés les différents résultats auxquels cette étude a abouti ainsi que des interprétations et discussion.

4.1. Analyse biochimique

L'analyse biochimique réalisée au cours de cette présente étude nous a permis d'apprécier la qualité nutritionnelle des algues étudiées.

4.1.1. Teneur en cendres

Les résultats obtenus pour la teneur en cendre des algues étudiées sont représentées dans l'histogramme (la figure 4.1) ci-dessous,

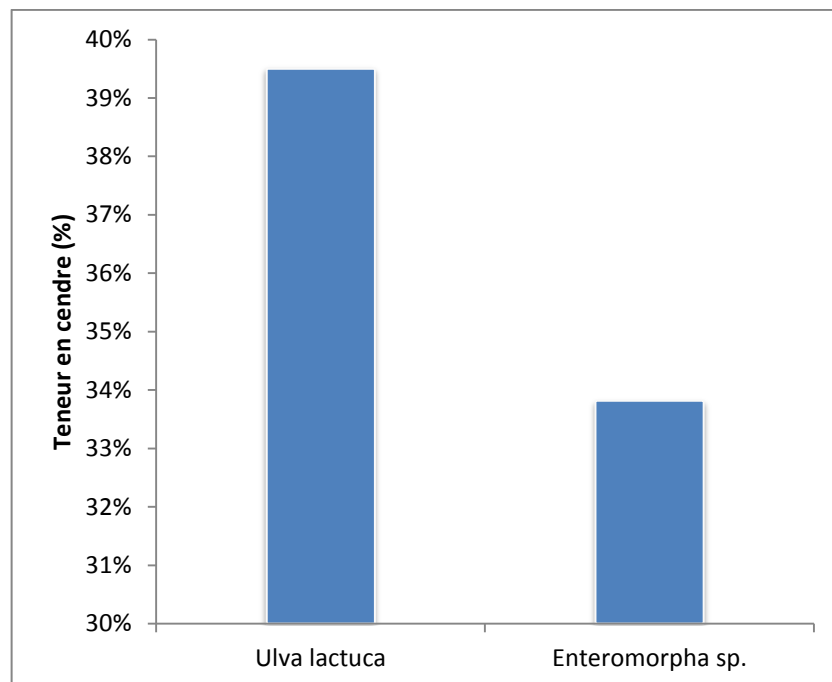


Figure 4.1 : Teneur en cendre d'*Ulva lactuca* et *Enteromorpha sp.*

Les algues puisent dans la mer une richesse incomparable d'éléments minéraux. La fraction minérale peut représenter jusqu'à 36% de la masse sèche. La diversité des éléments représentés est énorme : calcium, sodium, magnésium, potassium, phosphore, iode, fer, Zinc, etc. [1].

Les algues vertes présentent des teneurs en matières minérales entre 14 et 30% rapportées en matière sèche (MS) [83], mais selon Brault et *al.* [84], des teneurs entre 30 et 40% en MS ont été signalées.

En effet, les résultats obtenus montrent que l'algue *Ulva lactuca* présente une teneur en matière minérale (39.50%) proche de celle d'*Enteromorpha* sp. (33.83%), il n'y a pas une différence significative entre les deux teneurs ($P = 0.293$).

Pour l'algue *Ulva lactuca*, la teneur en matière minérale est supérieure à celles trouvées dans d'autres études sur la même espèce [85-87] et [88] avec respectivement 29.86%, 21.3%, 19.6% et 11%, en outre elle est aussi supérieure que celle d'*Ulva fasciata* (12.79%, 25.4 ± 0.1 à 32.2 ± 0.1) [89- 90].

Des résultats similaires (39.1%) ont été trouvés pour cette espèce d'algue de la région d'Annaba par Zitouni et *al.* [91].

La teneur en matière minérale qui est généralement très supérieure à celle des végétaux terrestres [92], varie selon l'espèce, localisation géographique et selon la saison [93].

4.1.2. Teneur en sucres

Les résultats du dosage des sucres totaux au niveau des algues étudiées sont représentés dans la figure 4.2

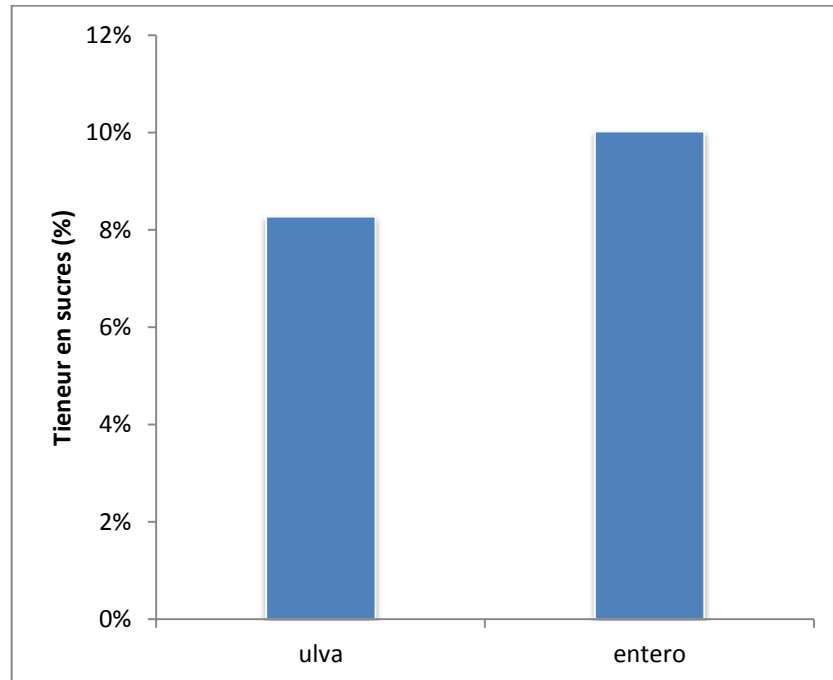


Figure 4.2 : Teneur en sucres d'*Ulva lactuca* et *Enteromorpha sp.*

D'après les résultats trouvés au cours de notre étude, on constate que les deux algues vertes *Ulva lactuca* et *Enteromorpha sp.* présentent des teneurs en sucres de 8.28% et 10.03% respectivement.

Ulva lactuca présente une teneur en sucres de 6.84% MS [94], une teneur moyennement significative par rapport à celle dans notre étude.

Selon [95], *Ulva lactuca* contient 11,53% et *Enteromorpha sp.* Contient 8,72%.

La teneur moyenne en glucides de l'espèce *Enteromorpha sp.* peut atteindre 16,9% MS [96] ; Ray [97] dans son étude sur l'espèce *Enteromorpha compressa* a trouvé une teneur plus élevée (45%), de même pour Ganesan et al [98] dans leur étude sur la composition chimique de trois espèces d'*Entéromorpha* : *E. compressa*, *E. linza* and *E. tubulosa* avec respectivement de teneur en sucres : 44.08%, 50.01% et 51.05%.

La différence entre les valeurs des moyennes des teneurs en sucres des deux algues étudiées est non significative ($P=0.352$).

4.1.3. Teneur en lipides

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

De multiples paramètres influent sur le taux de matière grasse comme la granulométrie, l'humidité, la nature du solvant et la méthode d'extraction utilisée.

Dans les diagrammes ci-dessous (Figure 4.3) sont illustrées les teneurs en lipides d'*Ulva lactuca* et d'*Enteromorpha sp.* étudiées, exprimées en pourcentage de matière sèche (MS).

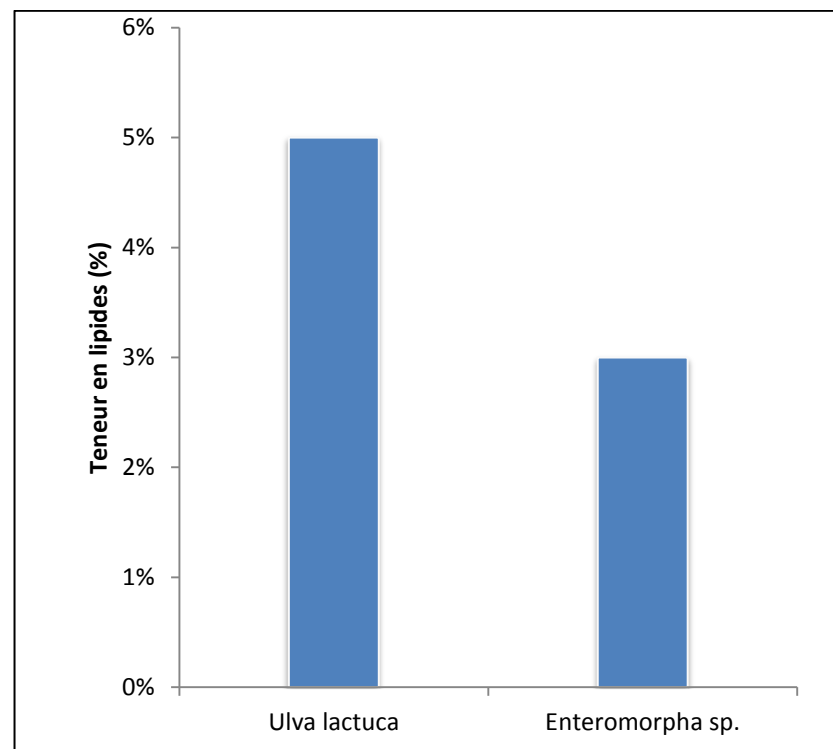


Figure 4. 3 : Teneur en lipides d'*Ulva lactuca* et *Enteromorpha sp.*

La teneur en lipides d'*Ulva lactuca* identifié dans notre étude est de 5%, une valeur inférieure à celles trouvées par [87] (7.87%) ; alors qu'elle est supérieure de celles de [88] (0.3%), [86](1.64%) et de [91] (1.01%).

En comparant nos résultats à d'autres espèces du même genre (*Ulva*), cette algue présente une teneur en lipides plus élevée qu'*Ulva clathrata* (<3.5%) [94] et d'*Ulva fasciata* (0.21%) [89].

La teneur en lipides totaux d'*Enteromorpha sp.* dans notre étude est similaire à [99] avec 3% et [100] avec 3.56% ; elle est supérieure à [101] ($1.8 \pm 5\%$).

L'analyse statistique montre une différence significative entre les deux espèces étudiées *Ulva lactuca* et *Enteromorpha sp.* ($P=0.001$).

La teneur en lipides d'*Ulva lactuca* varie en fonction de la saison, elle est de $4.81 \pm 0.62\%$ au printemps tandis qu'elle est de $3.14 \pm 0.0\%$ [102] en automne, Sanchez-Machado et al. [103], ont montré que lorsque la température augmente, la teneur en lipides diminue et va se stabiliser à la fin de saison de développement.

La quantité des lipides dans les algues marines est inférieure à 4% [104], bien qu'elles ne sont pas considérées comme une source conventionnelle d'énergie, par ailleurs avec leurs teneurs en acides gras polyinsaturés, elles peuvent devenir plus importantes que les autres végétaux terrestres [105], mais une variation en acides gras qu'elles contiennent est attribuée à une différence génétique et environnementale [106].

En général, les algues marines ne sont pas considérées comme une bonne source en lipides [107].

4.1.4. Teneur en protéines

Les algues vertes, actuellement peu valorisées, présentent également un contenu protéique non négligeable puisque ce dernier peut atteindre 20% de la matière sèche.

La figure 4.4 illustre la teneur en protéines d'*Ulva lactuca* et *Enteromorpha sp.* en % de matière sèche.

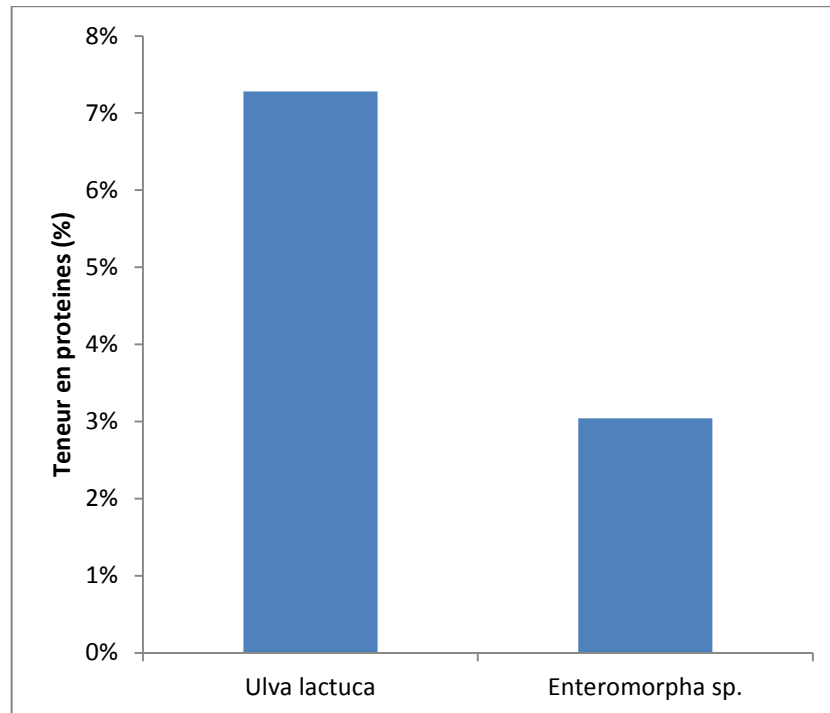


Figure 4.4 : Teneur en Protéines d'*Ulva lactuca* et *Enteromorpha sp.*

La teneur en protéines trouvées dans cette étude d'*Ulva lactuca* (7.28%) est plus importante, elle est plus élevée que celle d'*Enteromorpha sp.* (3.04%), l'analyse statistique montre une différence significative ($P= 0.022$).

Le résultat que nous avons obtenu concernant la teneur en protéines d'*Ulva lactuca* est nettement inférieure à celle trouvée par [88] (27.2%), [108] (18.1%), [109] (12.04%);

Elle est aussi inférieure, en le comparant à d'autres espèces du même genre *Ulva fasciata* (12.24%) [88]. Alors qu'elle est conforme aux [86] (7.06%), [87] (8.46%) et [110] (10%).

L'algue *Enteromorpha sp.* présente une teneur très inférieure par rapport à l'espèce *Enteromorpha intestinalis* (15.02%) dans [111].

L'algue *Enteromorpha sp.* peut contenir de 9 à 14% de protéines [112]; et selon d'autres travaux elle peut contenir de 1.5 à 33.5% de protéines [91], notre résultat coïncide avec cet intervalle.

La quantité en protéines dans les algues marines varie en fonction des conditions environnementales de développement [113], de saison [114] et d'espèce [115].

4.1.5. Fibres alimentaires

Le dosage des fibres alimentaires effectué sur les échantillons des chlorophycées étudiés en pourcentage de (MS) est représenté sur le tableau (4.1) et le diagramme de la Figure 4.5.

Les fibres insolubles se répartissent en trois composés différents : les hémicelluloses insolubles, la lignine et la cellulose. La composition et la distribution de ces composés dans nos échantillons d'algues est représenté dans la figure 5.6.

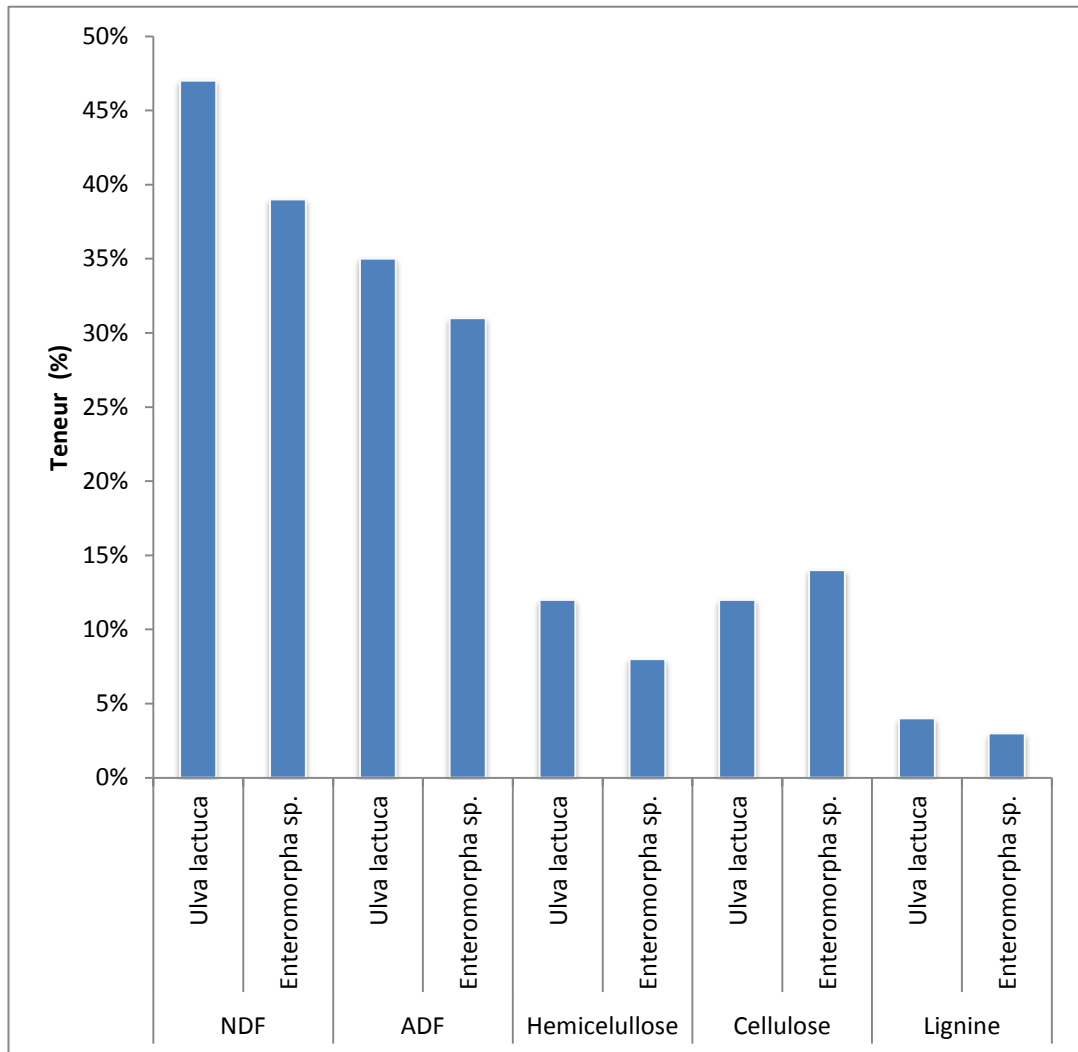


Figure 4.5 : Pourcentage de différentes fractions des fibres alimentaires d'*Ulva lactuca* et *Enteromorpha sp.*

Tableau 4.1: les fibres alimentaires des algues étudiées (%)

| | <i>Ulva lactuca</i> | <i>Enteromorpha sp.</i> |
|---------------|---------------------|-------------------------|
| NDF | 47±2 | 39±0.5 |
| ADF | 35±1 | 31±0.5 |
| Hemicellulose | 12±1 | 8±0.5 |
| Cellulose | 13±1 | 14±0.5 |
| Lignine | 4±1 | 3±2 |

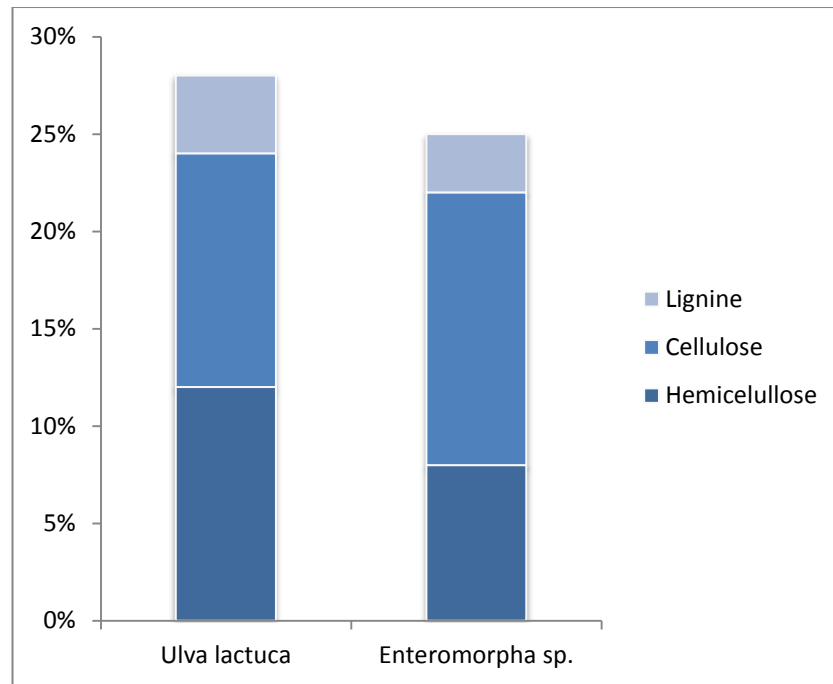


Figure 4.6 : Teneur en Cellulose, Hémicellulose et Lignine des fibres insolubles des deux algues étudiées.

Les résultats illustrés dans la figure 4.5, 4.6 et le tableau 4.2 ci-dessus, montrent que la cellulose ($13\% \pm 1$) est la fraction la plus dominante suivie de l'hémicellulose ($12\% \pm 1$) et la lignine ($4\% \pm 1$) pour l'algue *Ulva lactuca*, de même pour *Enteromorpha sp.* avec $14\% \pm 0.5$ cellulose, $8\% \pm 0.5$ hémicellulose et $3\% \pm 2$ de lignine.

Une différence significative est présentée entre les deux espèces ($P= 0.002$) pour la teneur en Hémicellulose, alors que la différence entre les teneurs de Cellulose et de Lignine n'est pas significative au niveau de ces deux algues vertes.

Dans d'autres travaux sur l'espèce *Ulva lactuca*, la fraction dominante des fibres alimentaires trouvée est l'Hémicellulose avec 16.64% [116], tandis que d'autres confirment que la fraction dominante est la cellulose avec (15.17%) [117].

La teneur en fibres alimentaires insolubles totales des deux algues étudiées est représentée par la figure suivante :

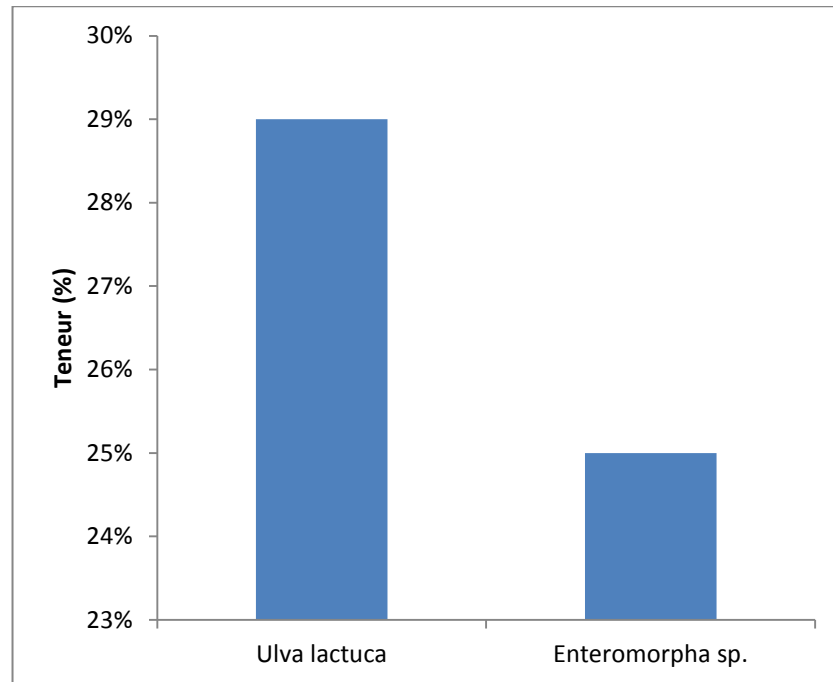


Figure 4.7 : Teneur (%) MS en fibres alimentaires insolubles des deux algues vertes étudiées.

La concentration moyenne en fibres alimentaires insolubles d'*Ulva lactuca* est de l'ordre de 29% MS, elle se rapproche de celle trouvée dans d'autres travaux [87-89] (31.29 ± 0.18), (39.92 ± 13).

Elle est nettement supérieure à la concentration en fibres alimentaires insolubles de l'échantillon d'*Entéromorpha sp* étudiée (25%).

L'analyse statistique montre une différence significative entre les concentrations moyennes en fibres alimentaires insolubles des deux algues étudiées *Ulva lactuca* et *Enteromorpha sp*.

Le tableau 4.2 résume la composition biochimique d'*Ulva lactuca* et *Enteromorpha* sp.

Tableau 4.2 : Récapitulatif de la composition biochimique (teneur %)

| | <i>Ulva lactuca</i> | <i>Enteromorpha</i> <i>sp.</i> | Seuil de significativité (P<0.05) |
|------------------|---------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Matière minérale | 39.5±2.37 | 33.82±7.79 | 0.293 |
| Sucre | 8.28±0.05 | 10.03±1.45 | 0.352 |
| Lipide | 5 | 3 | 0,001 |
| Protéine | 7.28±0.42 | 3.04±0.46 | 0.022 |
| NDF | 47±2 | 39±0.5 | 0.002 |
| ADF | 35±1 | 31±0.5 | 0.002 |
| Hémicellulose | 12±1 | 8±0.5 | 0.002 |
| Cellulose | 13±1 | 14±0.5 | 0.081 |
| Lignine | 4±1 | 3±2 | 0.482 |

D'après ce tableau, on peut conclure que l'algue *Ulva lactuca* est plus riche en matière minérale, en lipides, en protéines et en fibres alimentaires insolubles (avec les deux fractions hémicellulose et lignine) que l'algue *Enteromorpha* sp. tandis que cette dernière est plus riche que la première que dans la teneur en sucres et en fraction de fibres alimentaires insolubles la cellulose.

Ce qui ressort essentiellement de ces résultats concernant la composition biochimique d'*Ulva lactuca* et d'*Enteromorpha* sp. est que ces « légumes » de la mer possèdent surtout une richesse incontestée en minéraux. Ces derniers sont variables et représentent jusqu'à 34% de la matière sèche [118]. Ainsi qu'une concentration en fibres alimentaires insolubles remarquable. Des teneurs faibles et moyennement faibles en lipides, protéines et sucres.

En générale, les algues vertes sont composées d'environ 11% de protéine, 36% de glucides, et 53% de matière minérale [119] in [120].

Le contenu total en fibres alimentaires, rapporté à la matière sèche est important chez les algues de (32%à50%).

L'étude de Donggiun [121], sur plusieurs classes d'algues marines (Vertes, Brunnes, Rouges), indiquent que ces dernières contiennent : 19.15% à 26.50% de matière minérale, 5.08% à 15.44% de protéine, 2.75% à 4.43% de lipide, et 36.84% à 52.98% de fibres alimentaires.

Tous les composés contenus dans les algues marines varient selon l'espèce, la localisation géographique, la saison et la température [122].

4.1.6. Propriétés fonctionnelles

Le tableau 4.3 résume les propriétés fonctionnelles (à savoir la capacité de rétention de l'eau et la capacité d'absorption des lipides) des algues étudiées.

Tableau 4.3 : Propriétés fonctionnelles d'*Ulva lactuca* et d'*Enteromorpha sp.*

| | <i>Ulva lactuca</i> | <i>Enteromorpha sp.</i> | P<0.05 |
|--|---------------------|-------------------------|--------|
| Capacité de rétention de l'eau (g d'eau /g de MS) | 10.94±0.09 | 7.85 ± 0.45 | 0.001 |
| Capacité d'absorption des lipides (g d'huile / g de MS) | 1.48±0.02 | 1.57±0.36 | 0,838 |

D'après les résultats représentés sur le tableau ci-dessus, on observe que la capacité de rétention d'eau d'*Ulva lactuca* est de l'ordre de 10.94±0.09 g d'eau par g d'algue sèche, tandis que celle d' *Enteromorpha sp.* n'est que 7.85±0.45 g d'eau par g d'algue sèche.

Dans notre étude *Ulva lactuca* présente une valeur de capacité de rétention d'eau plus élevée par rapport à celles trouvées dans plusieurs travaux, citant [87], [123] avec respectivement 6.66g/g d'algue sèche et 7.50 g/g d'algue sèche.

Alors que l'espèce *Enteromorpha sp.* étudiée présente une capacité de rétention d'eau inférieure à celles trouvées dans d'autres études [124] (10.44 ± 0.17 g/g d'algue sèche).

Quant à la capacité d'absorption des lipides d'*Ulva lactuca* elle est à 1.48 ± 0.02 g d'huile par g d'algue, alors que celle d'*Enteromorpha sp.* est de l'ordre de 1.57 ± 0.36 g d'huile par g d'algue sèche.

En comparant nos résultats avec d'autres travaux, *Ulva lactuca* possède une capacité d'absorption d'huile presque similaire à celle de Yaich et al [87] (1.68g/g d'algue sèche), en outre elle est supérieure à celle de [86] (0.65 g/g d'algue sèche).

Pour *Enteromorpha sp.* la capacité d'absorption des lipides est nettement inférieure à Mamatha et al [124] (4.29 ± 0.05 g/g d'algues sèche).

L'analyse statistique montre une différence très significative ($P=0.001$) entre les capacités de rétention d'eau et non significative ($P=0.838$) entre les capacités d'absorption des lipides de nos échantillons d'algues *Ulva lactuca* et *Enteromorpha sp.*

Cependant, les capacités de rétention d'eau de l'algue *Ulva lactuca* sont supérieures à celles de l'algue *Enteromorpha sp.* tandis que les capacités d'absorption des lipides de ces deux algues sont presque similaires.

Les propriétés fonctionnelles des algues vertes sont influencées par les teneurs en fibres alimentaires et en protéines [87].

En effet *Ulva lactuca* dans notre étude présente une teneur en fibres alimentaires et une teneur en protéines plus élevées qu'*Enteromorpha sp.*

La capacité de rétention d'eau des algues marines dépend des types de fibres alimentaires qu'elles contiennent, l'hémicellulose, par exemple adsorbe plus d'eau que la cellulose, ainsi que les deux adsorbent plus que la lignine et cela influe sur le temps de transit intestinal [125]. Elle dépend aussi de la composition chimique, quelques propriétés physiques telles que : la structure, la taille des particules, la porosité, le pH, la température, le types des ions dans la solution et la densité [126]

La variation de capacité d'absorption des lipides des algues marines est en relation avec les sites polaires des chaînes des acides aminées en surface des molécules des protéines [127].

4.2. Le temps de transit digestif chez le Rat *Wistar*

Le temps de vidange gastrique ou le temps de transit digestif total observé chez chacun des lots des rats *Wistar* alimentés des différents régimes préparés (RS, RU et RE) est réparti et illustré dans le tableau et la figure suivants :

Tableau 4.4 : le temps de vidange gastrique

| | Témoin | <i>Enteromorpha</i> <i>sp.</i> | <i>Ulva lactuca</i> |
|---|---------------|---|----------------------------|
| Temps de vidange gastrique total (h) | ≈4h15min | ≈4h | ≈3h30min |

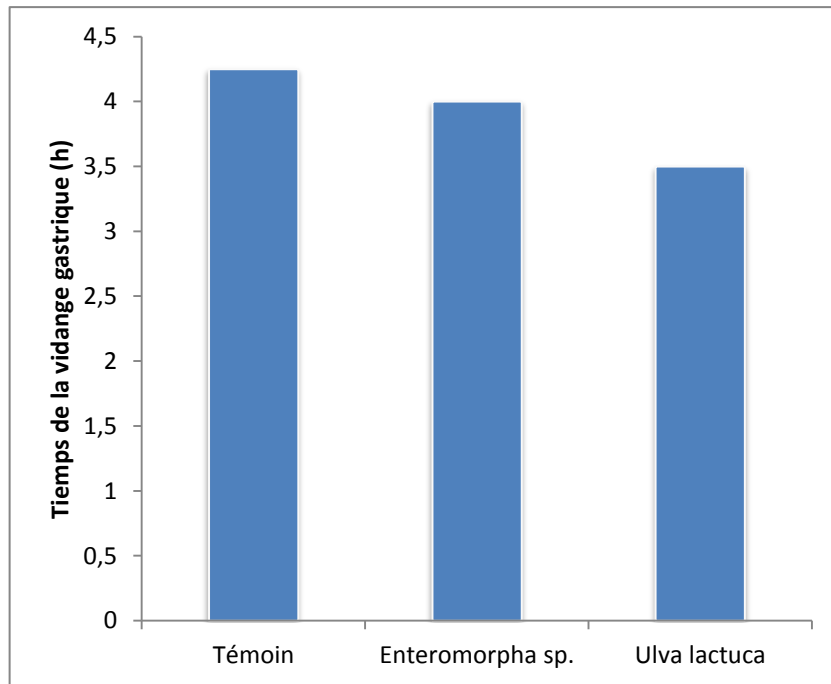


Figure 4.8 : Temps de transit digestif total

Ce qui nous interpelle en examinant ces résultats est que le temps de transit digestif total diffère d'un régime alimentaire à l'autre, il est plus long ($\approx 4\text{h}15\text{min}$) chez les rats de premier lot, le lot témoin qui ont consommés un régime alimentaire de base (RS), suivi du lot des rats consommant un régime alimentaire contenant une quantité d'algue *Enteromorpha sp.* (RE) ($\approx 4\text{h}$) puis de ceux du lot des rats dont leur régime alimentaire contenant l'algue *Ulva lactuca* (RU) ($\approx 3\text{h}30\text{min}$).

En effet, le temps de vidange gastrique le plus accéléré est celui du lot des rats qui ont été alimentés par (RU), ensuite le lot des rats avec un régime (RE), puis du lot témoin où les rats ont été alimentés par (RS) contenant l'agar comme source de fibres alimentaires.

L'analyse statistique révèle une différence significative entre le temps de transit digestif total des trois lots des rats ($P=0.001$).

La vidange gastrique est un phénomène complexe [128].

La teneur en fibres alimentaires de la ration est en effet considérée comme un facteur déterminant de la durée du transit digestif.

Il vient de ce qu'elles augmentent le volume et le poids des selles [129], l'augmentation du volume des selles due à la consommation des fibres alimentaires permet une vidange plus rapide et plus aisée de l'intestin [130].

Toutes les fibres alimentaires sont capables de lier ou d'absorber de grandes quantités d'eau. La capacité de liaison de l'eau détermine la capacité de gonflement dans l'intestin [130].

Les fibres solubles ralentissent la vidange gastrique par augmentation de la viscosité du milieu, et les fibres insolubles accélèrent le transit intestinal [131].

Les fibres insolubles réagissent comme des éponges: elles lient de grandes quantités d'eau dans la structure de leur squelette. Elles gonflent et gagnent en viscosité.

Les fibres solubles quant à elles ont besoin de grandes quantités d'eau pour se dissoudre; il en résulte des solutions hautement visqueuses. Par leur capacité de gonflement et l'augmentation de la viscosité qu'ils induisent, les aliments riches en fibres provoquent une augmentation de volume du contenu intestinal. Ce phénomène stimule le péristaltisme intestinal, accélère le passage du bol alimentaire dans l'intestin et contribue à une élimination plus aisée et plus rapide des selles [130].

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les algues de marées vertes constituent une biomasse certes disponible mais méconnue par l'Homme, difficilement exploitable par les industriels et très peu d'études s'y rapportent.

Dans le cadre de la valorisation et de l'exploitation de cette ressource marine, nous avons mené une étude dont le but de caractériser et d'apprécier les effets bénéfiques de cette denrée alimentaire non encore découverte par le consommateur Algérien.

A cet effet, cette étude s'est intéressée à deux espèces d'algues marines vertes *Ulva lactuca* et *Enteromorpha sp.* Colletées à Alger.

A la lumière des résultats obtenus, les mesures permettant la caractérisation biochimique des algues étudiées et l'effet des fibres alimentaires sur le transit digestif chez les rats *Wistar*, nous permettent de tirer quelques conclusions :

Sur le plan biochimique :

- Les deux algues sont riches en matière minérale avec une valeur plus élevée chez *Ulva lactuca*,
- Les fibres alimentaires insolubles se présentent en grande teneur, elles sont dominées par la cellulose suivie de l'hémicellulose et de la lignine dans les deux algues mais avec une teneur plus élevée chez *Ulva lactuca*.
- L'espèce *Ulva lactuca* est plus riche en matière azotée que l'espèce *Enteromorpha sp.*, par ailleurs la teneur en sucres la plus élevée est obtenue chez *Enteromorpha sp.*
- La matière grasse présente la faible valeur par rapport aux autres composés dans les deux algues.
- La composition nutritionnelle des algues varie et elle est influencée par l'espèce, la zone géographique, la saison de l'année et la température.

- Une capacité de rétention d'eau plus élevée chez *Ulva lactuca* alors qu'une capacité d'absorption des lipides presque similaire.
- Les propriétés fonctionnelles des algues vertes sont en relation directe avec les teneurs en fibres alimentaires et en protéines.

Cette étude nous a permis d'estimer les valeurs approximatives des teneurs de différents composés biochimiques des deux algues *Ulva lactuca* et *Enteromorpha sp* déterminant le potentiel nutritionnel.

Sur le plan biologique :

Les mesures suite à l'expérimentation animale menée sur 24 rats *Wistar*, indiquent que :

- Le temps de vidange gastrique ou le temps de transit digestif total observé chez chacun des lots des rats *Wistar* alimentés par les différents régimes préparés (RS, RU et RE) diffère d'un lot à l'autre, cette variation est en relation avec les fibres alimentaires de la ration, elles sont en effet considérées comme un facteur déterminant de la durée du transit digestif.
- le temps de vidange gastrique le plus accéléré est celui de lot des rats qui ont été alimentés par (RU), ensuite le lot des rats avec un régime (RE), puis de lot témoin où les rats ont été alimentés par (RS) contenant l'agar comme source de fibres alimentaires.
- Les fibres insolubles (hémicellulose, cellulose, la lignine) accélèrent le transit intestinal tandis que les fibres solubles (agar) ralentissent la vidange gastrique par augmentation de la viscosité du milieu,

Ce modeste travail illustre la richesse nutritionnelle des deux algues vertes parmi plusieurs espèces d'algues du littoral Algérien, *Ulva lactuca* et *Enteromorpha sp*. Ces dernières peuvent trouver leur place autant dans une alimentation courante que dans des régimes particuliers comme source de complémentation ou d'apport spécifique. Il est temps que les algues trouvent leurs places en nutrition.

Il serait intéressant de développer ce type de recherche afin de contribuer à une meilleure connaissance des macroalgues (vertes, rouges et brunes) à intérêt nutritionnel, Il est recommandé en perspectives d'approfondir les recherches dans le sens de réaliser :

Des analyses complémentaires détaillées permettant d'identifier les sels minéraux, les acides aminés, les acides gras, les vitamines ainsi que les fibres solubles et insolubles. Etudier et déterminer la fraction fibre alimentaire qu'elles contiennent et évaluer leur effet nutritionnel et l'absorption du glucose.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Marfaing, H., et Lerat Y., "Les algues ont-elles une place en nutrition", *Phytothérapie*, France, (2007), 2-1.
2. Benchabane, O., "Les algues brunes: sources d'additifs alimentaires", *Ann. Inst.Nat.Agro, El-Harrach, Alger*, V. 12, N°1, (1988), P633.
3. Lahaye, M., and Kaeffer, B., "Seaweed dietary fibres : structure, physico-chemical and biological properties relevant to intestinal physiology", *Lavoisier, France*, V. 17, n°6, (1997), 563-584.
4. Fleury, N., "Obtention, composition chimique et propriétés physico-chimiques de fibres alimentaires issues de co-produits de l'extraction des alginates", *Thèse de doctorat en Sciences biologiques et fondamentales appliquées*, Nantes, (1993).
5. Lahaye, M., "Marine algae as source of fibres: determination of soluble and insoluble dietary fibre content in some sea-vegetables", *Journal Sciences Food Agricol*, V.54, (1991), 587-94.
6. Lahaye, M., Fleury, N., et Michel, C., "Fibres alimentaires : nature et propriétés nutritionnelles", France, (1991).
7. Bobin-Dubigeon, C., Barry, J.L., et Lahaye, M., "Fermentation in vitro par la flore fécale humaine des fibres d'une algue verte alimentaire : la laitue de mer", In: *Symposium International CIIA : Aliments non conventionnels à destination humaine*, Paris, (1993).
8. Bouglé, D., "Nouvelles valorisations industrielles des Algues", *Acta bot. Gallica*, 142 (2), London, (1995) ,101-107.
9. Lahaye, M., Robic, A., "Structure and functional properties of ulvan, a polysaccharide from green seaweeds", *Biomacromolecules*, V. 8, (2007), 1765-1774.

10. Teubner, G., "Les algues un monde à découvrir", Edition Quebecor, Canada, (2004), 33 –61.
11. Pérez, R., "Ces algues qui nous entourent, conception actuelle, rôle dans la biosphère, utilisation, culture", Edition Quae, France (1997).
12. Delecroix, J.M., "Les algues alimentaires : Riches légumes de la mer", Edition Médicis, Paris, (2006), 25-70.
13. Alayse, J.P., et leNozéh, Y., "Les algues", Edition Jean-Paul Gisserot, France (2005).
14. Burrows, I., "La nature comestible, fruits, graines, fleurs, légumes, herbes, racines, algues champignons", Edition Delachaux et Nestlé, France, (2005), 78-81.
15. Das, M.K., "Algal biotechnology", Daya publishing house, India, (2010), P 3.
16. Bourrelly, P., "Les algues d'eau douce", Tome 1 : Algues vertes. Edition N. Boubée, Paris, (1990), 16-29.
17. Quero, J-C., et Vayne, J-J., "Les fruits de la mer et plantes marines des pêches françaises, Algues, plantes, éponges, coraux, coquillages, crustacés, oursins", Edition Delachaux et Nestlé, Paris, (1998), P10.
18. Leclerc, V., et Floc'h, J-Y., " Les secrets des algues", Edition Quae, Amason, France, (2010), 15- P27.
19. Lecointe, G., et le Guyader, H., "Classification phylogéniques du vivant ", Edition Belin, Paris, (2001), P 543.
20. Bardoulat, M., "Les bienfaits de la mer : des algues à la thalassothérapie", (2007), 29-32.
21. Gayral, P., " les algues, Morphologie, Cytologie, Reproduction, Ecologie", Edition Doin, Paris, (1975).
22. Provasoli, L., and Carlucci, A.F., "Vitamins and growth regulators", in: Algal Biochemistry and Physiology, W.D.P. Stewart, Edition Blackwell Scientific Publication, (1974), 206-235.

23. Ventura, M.R., and Castanon, J.I.R., "The nutritive value of seaweed (*Ulva lactuca*) for goats", *Small Rumin, Res.*, V.29, (1998), 325-327.
24. Fleurence, J., "Seaweed proteins biochemical, nutritional aspects and potentiel uses", *Journal of Trends in Food Science et Technology*, (1999), 25-28.
25. Chermiti, A., Mahouachi, M., Ksouri, J., Mensi, F., and El Abed, A., "Nutritional characteristics of marine plants and possibilities of their utilization", in animal nutrition, The 3rd Tunisia-Japon symposium on science and technology, INSAT, Tunisie, (2003), 22-24.
26. Beress, A., Wassermann, O., Bruhn, T., Beress, L., Kraiselburd, E.N., Gonzalez, L.V., De Motta, G.F., Chavez, P.I., "A new procedure for the isolation of anti-HIV compounds (polysaccharides and polyphénols) from the marine alga *Fucus vesiculosus*", *J. Nat. Prod.*, V.56, (1993), 487-488.
27. Mayer, A.M.S., Paul, V.J., Fenical, W., Norris, J.N., De Carvalho, M.S., Jacobs, R.S., "Phospholipase A2 inhibitors from marine algae, *Hydrobiologia*", (1993), 521-529.
28. Rosel, K.G., Srivastana, L.M., "Fatty acids as antimicrobial substances in brown algae, *Hydrobiologia*", (1987), 471-475.
29. Blunden, G., and Gordon, S.M., "Medicinal and pharmaceutical uses of algae", *Pharm. Int.*, V.7, (1986), 287-290.
30. Kornprobst, J-M., "Substances naturelles d'origine marine : chimiodiversité, pharmacodiversité, biotechnologie", Edition Tech et Doc, Paris, (2005), 281-313.
31. Sontag, M., "Les algues au quotidien : L'équilibre dans notre assiette", Edition Cabédita, France, (2011).
32. Michel, F., Priol, J., Galaup, P., Demainmay, M., "Effet de deux techniques de séchage sur les composés volatils de deux algues alimentaires *Ulva* sp et *Palmaria palmata*. *Sciences des aliments*", Ecole nationale d'ingénieurs des techniques des industries agricoles et alimentaires, V. 17, France, (1997), 601-617.

33. Mission Interministérielle de la Mer (MISMER), "Consultation Nationale sur la Filière Algue", (1995), P207.
34. Kaas, R., "The seaweed resources of France", in : Seaweed Ressources of the World, A.T. Critchley, M.Ohno, Edition Japan international cooperation Agency (JICA), (1998), 233-244.
35. FAO Food and Agriculture Organization, "La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture", France, (2004).
36. Barclay, W.R., and Lewin, R-A., "Microbial polysaccharides production for the conditioning of soils", *Pl. Sol*, V.88., (1985), 159-169.
37. Sano Y., "Antiviral activity of alginate against infection by tobacco mosaic virus", *Carbohydr. Polym.*, V.38, (2000), 183-186.
38. Koolman, J., et Rohm., K., "Biochimie. Médecine- Sciences, Flammarion", 3^{ème} édition, Allemagne, (2006), P40.
39. Benarous , A., "Etat des connaissances et possibilité d'exploitation des macroalgues en Algérie ", Mémoire de master en science de la mer, ENSSMAL, Alger, (2012), P120.
40. Kalaydjian, R., "Les données économiques maritimes françaises", Quae, France, (2005), P 19.
41. Perret-Boudouresque, M., et Siridi, H., " Inventaire des algues marines benthiques d'Algérie", G.I.S. Posidonie Publi, Marseille, (1989), 1-117.
42. Siridi, H., " Etude des algues marines benthiques de la région d'Algérie", Thèse de Magister en Sciences de la nature, USDB, Alger, (1990), P 235.
43. Siridi, H., "Etude de la flore algale de l'Algérie. Etude phytosociologique des peuplements algaux photophiles de l'infralittoral superficiel de substrat dur ", Thèse de Doctorat., Sciences de la nature, USDB, Alger, (2007), P175.
44. Ould Ahmed, N., "Étude des espèces phytobenthiques, au voisinage de la centrale thermique de Mersa El Hadjadj (Golf d'Arzew) Ouest Algérien, Mention

particulière sur une espèce remarquable chlorophyte, Caulerpal : *Caulerpa prolifera*”, Thèse de Magister, ENSSMAL, Alger,(1994), P178.

45. Kadari-Meziane, Y., “Contribution à l’étude de l’impact de la pollution sur la distribution spatio-temporelle des peuplements phytobenthiques dans la baie de Bou-Ismaïl”, Mémoire de Magister, ENSSMAL, Alger, (1994), P167.

46. El Hattab-Bouzidi, D., “Détermination des stérols de l’algues rouge ‘*Asparagopsis armata*’ par spectrométrie infrarouge à transformée de fourier en employant l’extraction en phase solide : Etude comparative avec la chromatographie liquide à haute performance”, Mémoire de magistère, Département de chimie industrielle, Univ. Saad Dahleb, Blida (2003), P 87.

47. Bouzidi, D., “Contribution à l’étude chimique d’Algues marines méditerranéennes”, Doctorat d’Etat, USD Blida, (2009) ,P180.

48. El hattab, M., “ Contribution à l’étude chimique des extraits lipidiques et huiles essentielles d’algues méditerranéennes”, Thèse de Doctorat, USD Blida, (2005), P180.

49. Britt, B.F., “Dietary fiber and Energy regulation”, The journal of Nutrition, V.130,N° 2, (2000), 272-275.

50. Johnson, I.T., “Physiological effects, Institute of Food Research, Norwich, UK, (2003), P1833.

51. Johnson, I.T., “Dietary Fiber physiological effects and effect on absorption”, Institute of Food Research, Norwich, UK, (2005), P 572.

52. Trowell, H., “Dietary Fiber Definitions”, Am. J. Clin. Nutr., V.48, (1988), P1079.

53. Gayral, P., et Cosson, J., “ Connaitre et reconnaitre les algues marines”, Edition Ouest, France, (1986).

54. Godin, B., Agneessens, R., Gofflot, S., Lamaudière S.,Sinnaeve G., Gerin, P.A.,Delcarte, J., “Revue bibliographique sur les méthodes d’analyses des polysaccharides structuraux des biomasses lignocellulosiques”, Biotechnol. Agron. Soc. Environ., Belgique,(2011) , 165-182.

55. AFSSA., "Les fibres alimentaires : définitions, méthodes de dosage, allégations nutritionnelles, rapport du comité d'experts spécialisé, Nutrition humaine", <http://www.afssa.fr/ftp/basedoc/RapportGTFibre.pdf>.
56. Schweizer, T. F., and Würsh, P., "The physiological and nutritional importance of dietary fibre ", *Experientia*, (1991), P47.
57. Roberfroid, M., Coxam, V., Delzenne, N., " Aliments fonctionnels ", 2^{ème} édition Tech et Doc, France, (2008), 505-513.
58. Barnoud, F., " "La cellulose", Les Polymères Végétaux, Polymères Pariétaux et Alimentaires Non Azotés" , Ed. Monties B., Bordas, Paris,(1980), 66-86.
59. Schneeman, B.O., and Tietyen, J., "Dietary fiber" In : *Modern Nutrition in health and disease*, 8th édition, (1994) , 89-100.
60. Saettel, L., " Que sont les fibres, leurs intérêts", Copyright, (2000),1-3.
61. Confortini, J., " Comment le pain peut- il répondre aux besoins nutritionnels spécifiques du sportif ", *Banette* ,(2001), 1-3.
62. Rey, D.K and Labuza, T-P., "Caractérisation of the effect of soluts on the water binding and gel stretch properties of carrageenan", *J.Food. Sci.* N°46, (1981), 786-789.
63. Alison, M.S., "Whole grains impact of consuming. Whole grains on physiological effects of dietary fiber and fiber starch", *Critical reviews*, In *Food science and nutrition*, V.34, (1994), 499-511.
64. Stephen, A-M., "Whole grain impact of consuming whole grain on physiological ", *Effects of dietary fiber and starch*, *Critical reviews in food science and nutrition*, V.34, (1994), 499-511.
65. Cara, L., "Effets des produits céréaliers riches en fibres alimentaires sur la digestion des lipids et le metabolism des lipoproteins plasmatiques chez rat et chez l'homme". Thèse de doctorat, Marseille, (1991), P 232.

66. Zorzetto, J.E., "Des fibres pour les enfants", Porcupine. Health Unit, (12 Octobre, 1999), P3.
67. Lahaye, M., and Robic, A., "Structure and Functional Properties of Ulvan, a Polysacchride from Green Seaweeds", the American Chemical Society, V.8, N°6, France, (2007).
68. Reviere, B., " Biologie et phylogénie des algues ", Tome 1, Edition Belin, Paris. (2002), P116.
69. Ramulu, R., and Usayasekhara, R., "Plant Foods for Human Nutrition", India V.50, (1997), 249-257.
70. FNPSDRM, Fondation Nationale pour la Promotion de la Santé et le Développement de la Recherche Médicale, " Fibres alimentaires", Office des publications universitaires, Alger, (1995), 23-25.
71. Tan, T.W., Mitrovic S., Yeo, H.T., "*Enteromorpha* species", SingaporePham, A Checklist of the Algae of Singapore, (2011).
72. Benguedda, R.W., "Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et différents maillons de la chaîne trophique du littoral extrême ouest algérien", Thèse de doctorat, Université de Telemcen, (2012), p 149.
73. Ang, P-O., "Asian Pacific Phycology in the 21st Century: Prospects and Challenges", France, (2004), P143.
74. Linnaeus, C., "Les espèces des plantes", Salvi, Stockholm, Vol. 1, (1753), 561.
76. Dubois M.K.A., Gilli Y.K., Hamilton P.A., "Colometric method for determination of sugar and related substances", Anal et chem. Jour, Vol. 28, (1956), 350-356.
77. Kjeldhal J., "Meue method lurk besyimmung des stichs offs in organischem korpon", Anal. Chem, Vol. 22 (1883), 366-382.

78. Van soest P.J., "Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. A rapid method for the determination of fibre and lignin", J. AOAC Int.,V.46, (1963), 829-835.
79. Bitam, A., "Effets nutritionnels des huiles thermooxydées sur certains paramètres structuraux et fonctionnels chez le rats en croissance", Thèse de doctorat en sciences alimentaires, Institut national agronomique, (2005), P104.
80. Aidou, A., "Effets de l'ingestion de l'huile d'Argania Spinosa sur quelques paramètres fonctionnels et structuraux chez le rat ",Mémoire de Magister en sciences alimentaires Institut National Agronomique Ina El-harrach, (2007), P73.
81. Académie vétérinaire de France, " Recueil de médecine vétérinaire",Vigot Éditions, Paris, V.166, (1990), 492.
82. Diez, M., Istasse, L., " Fibres alimentaires chez le chien : II. Effets sur la vidange gastrique et le transit gastro-intestinal",Ann. Méd. Vét., V.141, (1997), 25-35.
83. Adam, I.Z.K., et Clincke, A-S.,"Algues vertes Description des phénomènes et procédés et enjeux de maîtrise des risques",INERIS (2010), P71.
84. D.Braul,X., Briand,P.,Golven, "Bases biologiques de l'aquaculture",IFREMER,Actes de Colloques n.1, Montpelliers,(1983), 33-44.
85. Alaeldein, M., Okab, B., Aljumaah, R.S., Samara,E.M., Abdoun,K.A., Al-Haidary, A.A., "Nutritional value of green seaweed (*Ulva lactuca*) for broiler chickens", Italian Journal of Animal Science,V.2, n°28, (2013), 177-181.
86. Wong, K.H., and Peter, C.K.C., "Nutritional evaluation of some subtropical red and green seaweeds proximate composition, amino acid ", Food chemistry, Hong Kong, (2000), 475-482.
87. Yaich H., Haikel Garna, H., Souhail Besbes, H., Paquot, M., Blecker, C., Attia, H., "Chemical composition and functional properties of *Ulva lactuca* seaweed collected in Tunisia", Food Chemistry V.128, (2011), 895–901.

88. Ortiz, J., Romero, N., Robert, P., Araya, J., Lopez-Hernandez, J., Bozzo, C., Navarrete, E., Osorio, A., Rios, A., “Dietary fiber, amino acid, fatty acid and to-copherol contents of the edible seaweeds *Ulva lactuca* and *Durvillaea Antarctica*”, Chile Food Chemistry V.99, (2006), 98–104.
89. Carvalho, AFU., Portela, MCC., Sousa, MB., Martins, FS., Rocha, FC., Farias, DF., and Feitosa, JPA., “Physiological and physico-chemical characterization of dietary fibre from the green seaweed *Ulva fasciata* Delile”, Braz. J. Biol.,Brazil, V.69, (3), (2009), 969-977.
90. McDermid, K.J.,and Stuercke, B.,“Nutritional composition of edible Hawaiian seaweeds”, Journal of Applied Phycology, V.15, (2003),513–524.
91. Zitouni, H., Arhab, R., Bousseboua,H., Boudry,C., Beckers, Y., “Valeur alimen-taire d’une Algue verte marine du littoral Algérien chez les ruminants”, Renc. Rech. Ruminants, Algérie, (2013), P122
92. Rupe´rez,, P., “ Mineral content of edible marine seaweeds”, FoodChemistry, V.78, (2002), 23–26.
93. Kaehler, S., and Kennish, R., “Summer and winter comparisons inthe nutritional value of marine macroalgae from Hong Kong”, Botanica Marina, V.39, (1996), 11–17.
94. Al-Amoudi, O.A., Mutawie, H.H., Asmita, V., Patel, A.V., Blunden, G., “Chemi-cal composition and antioxidant activities of Jeddah cornice algae, Saudi Arabia”, Saudi Journal of Biological Sciences ,Saudi Arabia, V.16, (2009), 23–29.
95. El-Said GH.F., and El-Sikaily, A., “Chemical composition of some seaweed from Mediterranean Sea coast, Egypt”, Environ Monit Assess V.185, (2013),6089–6099.

96. Peña-Rodríguez, A., Mawhinney, T.P., Ricque-Marie, D., Cruz-Suárez, L.E., “Chemical composition of cultivated seaweed *Ulva clathrata* (Roth)” *Food Chemistry* V.129, Mexico, (2011), 491–498.
97. Bimalendu, R., “Polysaccharides from *Enteromorpha compressa*: Isolation, purification and structural features”, *Carbohydrate Polymers* 66, India, (2006), 408–416.
98. Ganesana, K., Suresh Kumar K., Subba Rao, P.V., Tsukuib, Y., N. Bhaskar, N., Hosokawa M., Miyashita K., “Studies on chemical composition of three species of *Enteromorpha*” *Biomedicine & Preventive Nutrition*, India,(2014), 365–369.
99. CEVA (Centre d'Etude et de Valorisation des Algues), “Fiche nutritionnelle, Teneurs pour 100 g d'algue déshydratée (produit brut)”, France, (2011), www.ceva.fr
100. Ganesana, K., Suresh Kumar, K., Subba Rao, P.V., Tsukui, Y., Bhaskar, N., Hosokawa, N., Miyashita, K., “Studies on chemical composition of three species of *Enteromorpha*”, *Biomedicine & Preventive Nutrition*, India,(2014), 365–369.
101. Herbreteau, F., Coiffard, L. J. M., Derrien, A., and De Roeck-Holtzhauer, Y., “The fatty acid composition of five species of macroalgae”, *Botanica Marina*, V.40, (1997), 25–27.
102. Renaud, S.M., Luong-Van, J.T, “Seasonal variation in the chemical composition of tropical Australian marine macroalgae”, *Journal of Applied Phycology* V.18 (2006),381–387.
103. Khairy, H., El-Shafay, SH., “Seasonal variations in the biochemical composition of some common seaweed species from the coast of Abu Qir Bay, Alexandria, Egypt”, *Oceanologia, Egypte*,V.55 (2), (2013), 435–452.
104. Sanchez-Machado, D. I., López-Cervantes, J., López-Hernandez, J., Paseiro-Losada, P., “ Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds”, *Food Chem.*, V.85, n°(3), (2004), 439–444,.

105. Darcy-Vrillon, B., “Nutritional aspects of the developing use of marine macroalgae for the human food industry”, *International Journal of Food Science and Nutrition*, V.44, (1993), 23–35.
106. Nelson, M. M., Phleger, C. F., and Nichols, P. D., “Seasonal lipid composition in macroalgae of the northeastern Pacific ocean”, *Botanica Marina*, V.45, (2002), 58–65.
107. Fleurence, J., “Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses”, *Food Science & Technology* V.10, France, (1999).
108. Ratana-arporn, P., Chirapart, A., “Nutritional evaluation of tropical green seaweeds *Caulerpa lentillifera* and *Ulva reticulata*”, *Nat. Sci.*, V.40, (2006), 75–83.
109. Shuluka, D., Bolton J.J., Anderson R.J., “Protein content, amino acid composition and nitrogen-to-protein conversion factors of *Ulva rigida* and *Ulva capensis* from natural populations and *Ulva lactuca* from an aquaculture system, in South Africa”, *J Appl Phycol* V.25 (2013), 677–685.
110. Rodríguez-González, H., Orduña-Rojas, J., Villalobos-Medina, J.P., García-Ulloa, M., Polanco-Torres, A., López-Álvarez E.S., Montoya-Mejía, M., Hernández-Llamas, A., “Partial inclusion of *Ulva lactuca* and *Gracilaria parvispora* meal in balanced diets for white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*)”, *J Appl Phycol*, V. 26, (2014), 2453–2459.
111. Aguilera-Morale, M., Casas-Valdez, M., Carrillo-Dominguez, M., B. Gonzalez-Acosta, B., Pierez-Gil, F.B., “Chemical composition and microbiological assays of marine algae *Enteromorpha* spp. as a potential food source”, *Journal of Food Composition and Analysis* V.18, Mexico, (2005), 79–88.
112. Akkoz, C., Arslan, D., Unver, A., Ozcan, MM., Yilmaz, B., “Chemical composition, total phenolic and mineral contents of *enteromorpha intestinalis* Kutz. And *cladophora glomerata* Kutz. Seaweeds”, *Journal of food biochemistry*, V.35, n°2, (2011), 513-523.

113. Dawczynski, C., Schubert, R., Jahreis, G., "Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products", *Food Chemistry* V.103, Germany, (2007) ,891–899.
114. Mishra, V. K., Temelli, F., Ooraikul Shacklock, P. F., and Craigie, J. S., "Lipids of the red alga *Palmaria palmate*", *Botanica Marina*, V.36, N°2, (1993), 169–174.
115. Fleurence, J., "Seaweed proteins: biochemical nutritional aspects and potential uses", *Food Science & Technology*, V.10, N°1, (1999), 25–28.
116. Aguilera-Morales, M., Casas-Valdez, M., Carrillo-Domínguez S., González-Acosta, B., Pérez-Gil, F., "Chemical composition and microbiological assays of marine algae *Enteromorpha* spp. as a potential food source", *Journal of Food Composition and Analysis* V.18, Mexico, (2005), 79–88.
117. Briand, X. et Morand P., "Anaerobic digestion of *Ulva* sp. 1. Relationship between *Ulva* composition and methanisation ", *Journal of Applied Phycology*, France, V.9, (1997), 511- 524.
118. Demoulin, G., Leymergi, C., "Les algues, le trésor de la mer".
119. Castro-González, M., Romo, FPG., Pérez-Estrella, S., Carrillo-Domínguez, S., "Chemical composition of the green alga *Ulva lactuca*", *Cienc Mar* , V.22, (1996), 205–213.
120. Alves A., Rui A., Sousa R.A., and Reis R.L., "practical perspective on ulvan extracted from green algae", *Appl Phycol*, V.25 (2013), 407–424.
121. Dawes, C. J., Kovach, C., and Friedlander, M., "Exposure of *Gracilaria* to various environmental conditions II. The effect on fatty acid composition", *Botanica Marina*, (1993), 289–296.

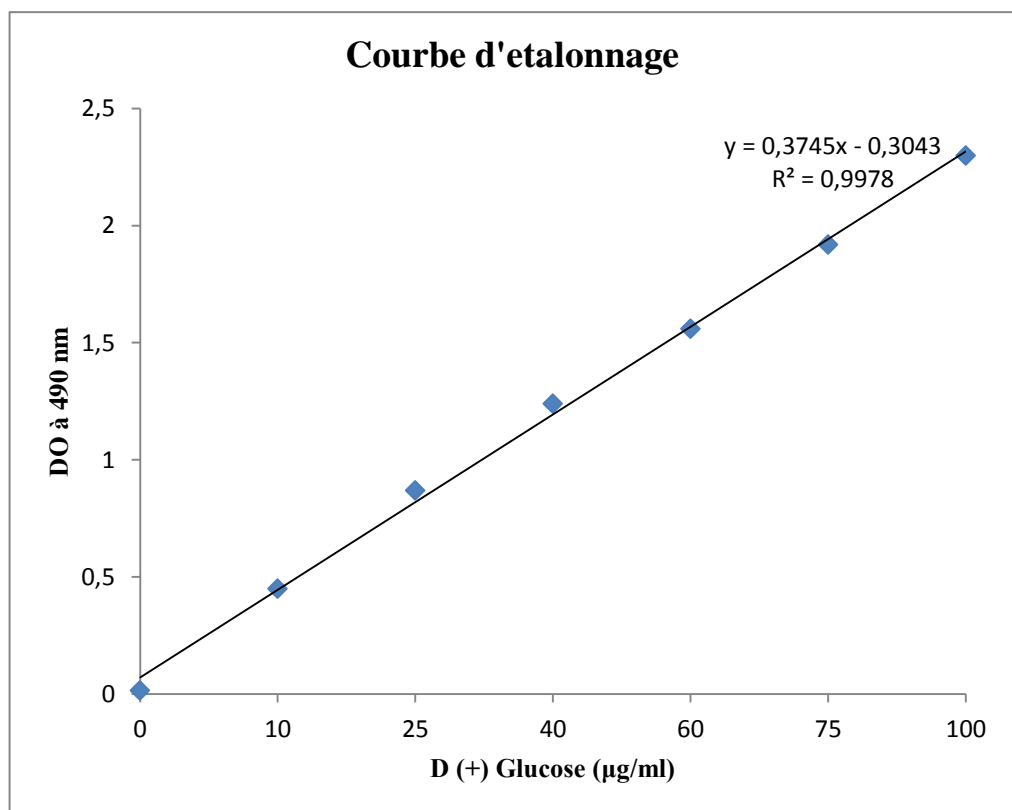
122. Donggiun, K., “Analysis of Biochemical Compositions and Nutritive Values of Six Species of Seaweeds”, *Journal of Life Science*, V. 23, n°8, (2013),1004-1009.
123. Lahaye, M., and Jegou, D., “Chemical and physico-chemical characteristics of dietary from *Ulva lactuca* (L.) Thuret and *Enteromorpha compressa* ”, *Journal of Applied Phycology*,(1993), 195-200.
124. Mamatha, B.S., Namitha, KK., Senthil, A., Smitha J., Ravishankar, G.A., “Studies on use of *Enteromorpha* in snack food”, *Food Chemistry*, V.101, India, (2007), 1707–1713.
125. Hugh J. Freeman, B., “Dietary fiber and colonic neoplasia”, *CMA Journal* (August 4, 1979), 121- 291.
126. Fleury, N., and Lahaye, M., “Chemical and physico-chemical characterization of bers from *Laminaria digitata* (Kombu Breton): a physiological approach”, *Journal of Science and Food Agriculture*, V.55, (1991), 389-400.
127. Chau, C. F., and Cheung, P. C. K., “ Functional properties of ours prepared from three Chinese indigenous legumes seeds”, *Food Chemistry*, (1998), 429-433.
128. Ducrotte, P., “Physiologie de la vidange gastrique”, Département d’Hépatogastroentérologie et de Nutrition (CHU Rouen), Xème journée normande d’anesthésie-réanimation Rouen, (2005).
129. Ruckebusch, Y., Bueno, L., Fioramonti , J., “ Constituants alimentaires et motricite digestive”, V.21, (1981), 749-771.
130. Reinke, C., “Naturellement en bonne santé Les propriétés des fibres alimentaires”, Biotan SA, Blegistrasse, Suisse, V.13, (2014), 6340.

131. Rossi, F., "Rubrique de l'alfediam Paramédical Alimentation en insulino-Résistance chez le diabetique non insulino-dependant", *Diabetes & Metabolism*, Paris , V.24, (1998), 89-93.

APPENDICES

APPENDICE A

COURBE D'ETALONNAGE DE SUCRES



APPENDICE B

PREPARATION DES REACTIFS UTILISES

- INDICATEUR DE TASHIRO

10ml de méthyle rouge à 0.03% dans l'éthanol 70% et 1.5ml de bleu de méthylène à 0.1% aqueux.

- CATALYSEUR

Mélanger 20g de K_2SO_4 et 1g de HgO .

- DETERMINATION DU FACTEUR DE NaOH (0.1N)

Prendre une solution composée de 20ml de NaOH (0.1N) et 3 gouttes de phénolphtaléine, faites la titrer avec la solution d'acide oxalique (0.1N) jusqu'à la disparition de la couleur rose.

Le facteur de NaOH est déterminé par la formule suivante :

$$F = N_{exp} / N_{0.1}$$

Dont :

F : facteur de correction.

N_{exp} : normalité de NaOH expérimentale.

$N_{0.1}$: normalité de NaOH (0.1N).

APPENDICE C

COMPOSITION CHIMIQUE DE COMPLEMENT VITAMINIQUE ET COMPLEMENT MINERAL UTILISES DANS LES REGIMES ALIMENTAIRES DES RATS

- Complément vitaminique (1 litre):

Vitamine A : 5.000.000 U.I, Vitamine D3 : 200.000U.I, Vitamine E : , Vitamine E : 6.000mg, Vitamine B1: 1.000 mg, Vitamine B6 : 1.800 mg, Vitamine B12: 12 mg, Vitamine PP: 15.000 mg, Acide D-Pantothenique 6.000 mg, Vitamine B2: 3.000 mg, Biotine : 30 mg, Inosole : 2.000 mg, Vitamine K : 1.000 mg, Excipient liquide q.s.à 1.000ml.

- Complément minéral (100g) :

Chlorure d'ammonium : 44.5g, Sulfate de magnésium : 25.0g, Sulfate de sodium : 25.0 g, Sorbitol : 5.0g, Silice colloïdale : 0.5g.