

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Université Abdelhamid
Ibn
Badis-Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد ابن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AQUACULTURE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

**MOKHTAR ZAHRA
OULD MOUSSA KARIMA**

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN HYDROBIOLOGIE MARINE ET CONTINENTALE

Spécialité: Bioressources Marines

THÈME

**UTILISATION D'UNE ALGUE ROUGE POUR LE TRAITEMENT
DES EFFLUENTS**

Soutenue publiquement le 02 /07/2021

DEVANT LE JURY

Président : Mme BORSALI .S Maître de conférence "A", U. Mostaganem

Examineur : Mme Ait Mohamed Amer Lilia Maître de conférence "B", U. Mostaganem

Encadreur : Mme BELHAKEM .F Maître de conférence "A", U. Mostaganem

C.o.Encadreure : Medjdoub Aicha doctorante

Thème réalisé au laboratoire de l'Université Abdelhamid Ibn Badis (INES)

Année universitaire 2020/2021

Remerciements

*Tout d'abord, nous tenons à remercier « **ALLAH** » de nous avoir donné la possibilité, la volonté et surtout le courage de satisfaire nos souhait et de mener ce travail à terme.*

*Nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères, les plus chaleureux et les plus vifs à notre encadreur Madame «**Belhakem Fadila** » pour ses conseils, sa disponibilité et ses orientations qui nous ont aidés à la réalisation de ce travail.*

*Nous adressons nos remerciements également à notre Co-encadreur Mme «**Medjdoub Aicha**» pour tous ses efforts fournis, sa gentillesse, sa compétence. Que ce travail soit un témoignage de notre gratitude et notre profond respect.*

Nos remerciements vont aussi à l'ensemble des enseignants de la faculté SNV de l'université de Mostaganem et de manière exceptionnelle ceux du département biologie marine.

Nous n'oublions pas nos amis les étudiants de la faculté et tous ceux qui de loin ou de près ont contribué pour que ce jour soit.

Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leurs soutiens et leurs prières tout au long de mes études,

A ma cher sœur Bouchra pour leur encouragement permanent, et leur soutien moral,

A mes chers frères Djelloul et Fatah pour leur appui et leur encouragement,

*A la mémoire de mon grand-père et ma grande mère
Aucun signe ne pourra décrire ma gratitude pour leur soutien et son amour,*

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes Côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études supérieures,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Zahra

Dédicace

A ma très chère mère EL MASCRI Malika

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que sa fille suivre le bon chemin dans sa vie et ses études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

Je dédie ce travail aussi spécifiquement a mes grands parents maternel BAGHARNOUT Farida que dieux la bénisse et El MASCRI Benali paix a son âme, ainsi que toute ma famille.

Karima

Sommaire:

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures, des tableaux, des schémas

Liste des abréviations

Introduction.....

Premier chapitre: Pollution

1. Définition de la pollution.....	01
1.1. Définition de la pollution marine.....	01
2. Nature et origine de la pollution	02
3. Type de polluant	03
3.1. Les macropolluant	04
3.2. Les micropolluant	04
4. Les types de pollution	04
4.1. La pollution biologique.....	04
4.2. La pollution physique	05
4.3. La pollution chimique	05
5. L'origine de la pollution	06
5.1. Pollution d'origine domestique	06
5.2. Pollution d'origine urbaine	06
5.3. Pollution d'origine agricole	06
5.3.1. Les pesticides	06
5.3.2. Engrais chimiques	07
5.4. Pollution d'origine industrielle	07
6. Pollution par les métaux lourds.....	08
7. Les sources de pollution	09
8. Conséquence de la pollution	10
8.1. Conséquence sanitaires.....	10
8.2. Conséquence écologiques	10
8.3. Conséquences esthétiques	10
8.4. Conséquences agricoles	11
8.5. Conséquences industrielles.....	11
9. Définition des effluents	11
10. L'origine des effluents	11
11. Les différents types d'effluents	11
12. Principaux paramètres physico-chimiques caractérisant les effluents	12
12.1. Paramètres physiques	12
12.1.1. La température.....	12
12.1.2. L'odeur	13
12.1.3. La couleur.....	13
12.1.4. Turbidité.....	13

12.1.5. Débit	13
12.1.6. Matières en suspension.....	13
12.2. Paramètres chimiques	14
12.2.1. pH	14
12.2.2. Conductivité.....	14
12.2.3. Oxygène dissout	14
12.2.4. Demande chimique en oxygène (DCO).....	14
12.2.5. Demande biochimique ou biologique en oxygène(DBO).....	15
12.3. Autres éléments	15
12.3.1. Azote	15
12.3.2. Phosphore	15
12.3.3. Zinc	15
12.3.4. Nickel	15
12.3.4.1. Origine.....	15
12.3.4.2. Pathologie/toxicologie.....	16
12.3.4.3. Comportements dans l'environnement.....	16
12.3.4.4. Normes admissibles.....	17
12.3.5. Chrome	17
13. Dépollution d'effluents.....	17
13.1. Techniques de dépollution.....	18

Deuxième Chapitre Les algues

Partie I : Généralité sur les algues

1. Généralité	19
2. Morphologie des algues	20
3. Caractères généraux des algues	20
3.1. Appareil végétatif des algues	20
3.2. Caractères cytologiques biochimiques des algues	21
3.3. Les pigments des plastes chez les algues	22
3.3.1. Les chlorophylles.....	22
3.3.2. Les pigments caroténoïdes.....	23
3.3.3. Les bilichromoprotéides.....	23
4. Les grands groupes marins	24
4.1. Les algues vertes (chlorophytes).....	25
4.2. Les algues brunes (chromophytes).....	25
4.3. Les algues rouges (Rhodophytes).....	26
4.4. Les algues bleues (cyanobactérie)	27
5. Ecologie des algues	27
6. Utilisation des algues	28
6.1. Utilisation des algues dans l'alimentation humaine.....	28
6.2. Utilisation des algues dans l'élevage et l'agriculture.....	29

6.3. Utilisation des algues en médecine et le cosmétique	29
6.4. Utilisation indirecte des algues.....	30
6.5. Epuration des eaux par les algues	30
7. Reproduction des algues.....	30
7.1. Reproduction sexuée	30
7.2. Reproduction asexuée.....	31
8. Compositions des algues marines.....	32
8.1. Les protéines	32
8.2. Les lipides	32
8.3. Les glucides	32
8.4. Minéraux et Oligo-éléments en abondance	32
8.5. Vitamines.....	32
8.6. Polysaccharides.....	32
9. Les facteurs influençant la répartition des algues	33
9.1. La lumière	33
9.2. La température	33
9.3. Substrat	33
9.4. Salinité	33

Partie II: Identification de l'algue rouge collectée (*Corallina elongata*)

10. Identification de l'algue rouge collectée (<i>Corallina elongata</i>)	34
10.1. Origine des Rhodophycées (Algues rouges)	34
10.2. Ecologie	34
10.2.1. Répartition et habitat	34
10.2.2. Répartition géographique en méditerranée.....	34
10.3. Classification	35
10.4. Aspect morphologique	35
10.5. Les caractéristiques.....	36
10.6. Cycle de reproduction.....	36
10.7. Caractéristiques biochimiques des macroalgues rouges.....	37
10.8. Valorisation des Rhodophytes	38
11.1. <i>Corallina elongata</i>	38
11.1. Caractéristique écologique des Corallinacées	38
11.2. Présentation de l'espèce étudiée	39
11.2.1. Description	39
11.2.2. Position systématique	40
11.3. Ecologie	41
11.4. Distribution	41
11.5. Intérêts	41

Troisième chapitre Adsorption

1. Définition.....	43
2. Principe	43
3. Type d'adsorption.....	43
3.1. Adsorption physique.....	43
3.2. Adsorption chimique.....	44
4. La cinétique d'adsorption.....	45
5. Phénomène d'interface solide/liquide.....	45
6. Facteurs influençant l'adsorption	45
6.1. Concentration.....	45
6.2. Vitesse d'adsorption	46
6.3. Nature de l'adsorbant.....	46
6.4. Nature de l'adsorbat	46
6.4. Effet du pH	46
7. Les isothermes d'adsorption	46
7.1. Modèle de Freundlich	47
7.2. Modèle de Langmuir	48
8. Utilisation de l'adsorption	50
9. Importance de l'adsorption.....	50

Quatrième Chapitre Matériels et Méthodes

Partie I Matériels et Méthodes

1. Choix du site d'observation	52
1.1. Le littoral de Mostaganem	52
1.2. Plage d'ouilis	52
2. Collecte des échantillons et conservation	53
3. Préparation de l'adsorbant	54
3.1. Rinçage	54
3.2. Séchage	54
3.3. Broyage et tamisage	55
3.4. Filtration et rinçage de la matière végétale broyé	56
4. Caractérisation des adsorbants.....	57
4.1. Indice d'iode.....	57
4.1.1. Définition	57
4.1.2. Méthode iodométrique.....	57
4.1.3. Préparation des solutions	57
4.1.4. Détermination de l'indice d'iode	58
4.2. Indice de bleu de méthylène	59
4.2.1. Définition	59
4.3. Analyse FTIR	60

4.3.1. La spectrométrie infrarouge.....	60
4.3.2. Principe de l'analyse infrarouge	60
4.3.3. Origine de l'absorption lumineuse dans l'infrarouge	61
4.5. pH de Point de Charge Zéro (pH _{pcz}).....	61
4.3. Dosage par spectrophotométrie	62

Partie II Expérimentation Résultats discussion

1. La courbe d'étalonnage de bleu du méthylène	64
2. Etude par infra rouge.....	65
3. Dosage par spectrophotométrie	65
4. Détermination du pH au point de charge nulle	67
5. Application	67
2.1. Substance inorganique étudiée	67
2.2. Préparation des solutions	67
2.4. Etalonnage des solutions	68
2.4.1. Courbe d'étalonnage du Nickel.....	68
2.5. Adsorption du Nickel par le matériau à base d'Algue rouge coralina elongate.....	69
2.5.1. Etude de l'effet de la dose de l'adsorbant sur l'adsorption du Nickel.....	69
2.5.2. Détermination du temps d'équilibre du Nickel.....	71
2.5.3. Etude de l'effet de pH sur l'adsorption du Nickel.....	73
2.5.4. Etude de l'influence de la température sur le processus d'adsorption du Nickel.....	75
2.5. Isotherme	79
Conclusion	
Références bibliographiques	

Listes des figures

Figure 01: Morphologie comparée entre une algue et une plante.....	20
Figure 02: <i>Ulva lactuca</i> ou Laitue de mer (algue verte)	25
Figure 03: <i>Cystoseira</i> (algue brune).....	26
Figure 04: <i>Asparagopsis armata</i> (Algue rouge).....	26
Figure 05: <i>Peyssonnelia capensis</i> (Algue bleu).....	27
Figure 06: Diversité des organes de reproductions.....	31
Figure 07: Algue rouge.....	35
Figure 08: Le chloroplaste d'une algue rouge (Rhodophycees).....	36
Figure 09: Cycle de reproduction des rhodophycées (classe des Floridophyceae).....	37
Figure 10: <i>Coralina elongata</i>	40
Figure 11: Représentation graphique de l'équation de Freundlich.....	48
Figure 12: Représentation graphique de l'équation de Langmuir.....	49
Figure 13: Situation géographique de la Wilaya de Mostaganem dans la Mer Méditerranée montrant le Site Etudié.....	52
Figure 14: Situation géographique de la plage de Ouilis dans la Mer Méditerranée	53
Figure 15: Algue rouge corallina elongatae.....	53
Figure 16: Lavage de la matière végétale.....	54
Figure 17: Séchage a l'air libre.....	54
Figure 18: Après le séchage dans l'étuve.....	54
Figure 19: Broyage de la matière végétale.....	55
Figure 20: Tamisage de la matière végétale.....	55
Figure 21: Filtration et rinçage de la matière broyé.....	56
Figure 22: Broyage de la matière végétale.....	56
Figure 23: Détermination de l'indice d'iode.....	59

Figure 24: Solution de bleu de méthylène.....	61
Figure 25: représentation graphique de bleu de méthylène qui caractérisent le matériau étudié.....	64
Figure 26: Spectre à infra rouge du biosorbant issu des tests Du <i>coralina elongata</i> analysé.....	64
Figure 27: Schéma d'un spectrophotomètre simplifié.....	65
Figure 28: spectrophotomètre.....	66
Figure 29: PHpcz.....	66
Figure 30: Représentation graphique de pHpcz.....	67
Figure 31 : Courbe d'étalonnage du Nickel.....	69
Figure 32: effet de la dose du matériau sur l'adsorption du Nickel par le matériau à base d'algue rouge (C0=14mg/L et C0=16mg/l).....	70
Figure 33 : Taux d'élimination du Nickel en fonction du temps par le matériau à base d'algue Rouge	70
Figure 34: PH-mètre.....	73
Figure 35: Représentation graphique de l'effet de pH de l'adsorption du Nickel par le matériau à base d'algue rouge (C0=14mg/L et C0=16mg/l).....	75
Figure 36: Bain marie contient un thermostat	75
Figure 37: Représentation graphique de l'effet de la température sur l'adsorption du Ni ²⁺ par le biosorbant à base d'algue rouge à différentes températures.....	78
Figure 38: représentation graphique de l'isotherme d'adsorption du Nickel par le matériau à base d'algue rouge.....	80
Figure 39: représentation graphique de modèle langumir	80
Figure 40: Représentation graphique de modèle de frendlish.....	81

Liste des tableaux

Tableau 01: Type de pigments.....	24
Tableau 02: Caractéristique d'adsorption physique et chimique.....	44
Tableau 03: Tableau résumé les caractéristique physicochimique de bleu de méthylène	60
Tableau 04: Valeurs des différents indices d'iode et de bleu de méthylène pour l'adsorbant issu d'algue rouge	64
Tableau 05: Valeurs obtenues pouré l'établissement de la courbe d'étalonnage du Nickel.....	68
Tableau 06: Effet de la dose sur l'adsorption du Nickel par le matériau (C0=14 mg/L).....	69
Tableau 07: Effet de la dose sur l'adsorption du Nickel par le matériau (C0=16 mg/L).....	70
Tableau 08: Etude du temps d'équilibre de l'adsorption du Nickel par le biosorbant (Co =14mg/L).....	71
Tableau 09: Etude du temps d'équilibre de l'adsorption du Nickel par le biosorbant (Co =16mg/L).....	72
Tableau 10: Effet du pH sur l'adsorption du Nickel par le biosorbant (Co=14mg/L).....	74
Tableau 11: Effet du pH sur l'adsorption du Nickel par le biosorbant (Co=16mg/L).....	75
Tableau 12: Résultat de l'effet de la température sur l'adsorption du Nickel par le biosorbant étudié avec (C0=14mg/L).....	77
Tableau 13: Résultat de l'effet de la température sur l'adsorption du Nickel par le biosorbant étudié avec (C0=16mg/L).....	77
Tableau 14: Isotherme d'adsorption du Nickel par le biosorbant à base d'algue rouge.....	79

Liste des abréviations

ppm : partie par million

Z : numéro atomique

DCO : demande chimique en oxygène

DBO : Demande biochimique ou biologique en oxygène

Kcal : Kilo calories

C° : degré Celsius

Ceq : concertation d'équilibre

Q_e : Quantité de substance adsorbée par une unité de masse d'adsorbant

IF : infrarouge

Abs : Adsorption

µm : Micromètre

FTIR : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

PHpcz : pH de Point de Charge Zéro

Uv : ultra violet

C₀ : concentration initiale

Résumé

L'objectif de cette étude, est l'élimination d'un polluant inorganique le Nickel $2+$ par une biomasse marine à base d'algues rouge *Coralina elongata*. on a étudié et défini la capacité d'adsorption du Nickel avec deux concentrations 14mg/l , 16mg/l par le biosorbant à l'état naturel en fonction du temps , de la dose , de pH et de la température .

Les conditions optimales pour un maximum d'élimination du Nickel : pH 5.2, une dose d'adsorbant de 0.6g et un temps de contact de 30min respectivement. Le modèle de Langmuir appliqué aux résultats des expériences réalisées a permis d'obtenir une capacité maximale d'adsorption par la biomasse marine de 12.34mg/g .

D'après nos résultats obtenus la biomasse marine choisie, s'avère très prometteuse dans le traitement des eaux contaminées par des polluants inorganiques. La valorisation de ressources naturelles locales peut être mise à profit dans le cadre du développement durable en diminuant la pression sur l'environnement et en conférant une valeur ajoutée appréciable aux substances naturelles sous-utilisées.

Mots clés : Algue rouge *coralina elongatae* , Adsorption, Nickel .

Summary

The objective of this study is the elimination of inorganic pollutants by marine biomass made from the red algae *Coralina elongata*. We studied the capacity of NICKEL in two concentrations 14mg / l, 16mg / l by the biosorbent as a function of time, dose, pH and temperature.

The optimal conditions for maximum nickel removal: pH 5.2, an adsorbent dose of 0.6g and a contact time of 30min respectively. The Langmuir model applied to the results of the experiments carried out and allows obtaining a maximum absorption capacity by the marine biomass of 12.34.

Based on our results, the selected marine biomass shows great promise in the treatment of water contaminated with inorganic pollutants. The enhancement of local natural resources can be harnessed in the context of sustainable development by reducing pressure on the environment and giving appreciable added value to underused natural substances.

Key words: Red algae *Coralina elongata*, Adsorption, Nickel.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو القضاء على الملوثات غير العضوية عن طريق الكتلة الحيوية البحرية المصنوعة من الطحالب الحمراء *Coralina elongatae*. درسنا قدرة NICKEL بتركيزين 14 مجم / لتر ، 16 مجم / لتر بواسطة الامتصاص الحيوي كدالة للوقت والجرعة ودرجة الحموضة ودرجة الحرارة الظروف المثلى لإزالة النيكل إلى أقصى حد: درجة الحموضة 5.2 ، جرعة الممتزات 0.6 جم ووقت التلامس 30 دقيقة على التوالي. تم تطبيق نموذج Langumir على نتائج التجارب التي تم إجراؤها ويسمح بالحصول على قدرة امتصاص قصوى بواسطة الكتلة الحيوية البحرية تبلغ 12.34 بناءً على نتائجنا ، تُظهر الكتلة الحيوية البحرية المختارة واعدة كبيرة في معالجة المياه الملوثة بالملوثات غير العضوية. يمكن تسخير تعزيز الموارد الطبيعية المحلية في سياق التنمية المستدامة من خلال تقليل الضغط على البيئة وإعطاء قيمة مضافة ملموسة للمواد الطبيعية غير المستغلة بشكل كاف.

كلمات الأساسية: الطحالب الحمراء *Coralina Elongatae* ، الامتزاز ، النيكل.

Introduction

L'eau joue un rôle primordial pour les êtres vivants. Bien qu'une surface importante de notre planète soit recouverte d'eau, seulement 3% des réserves correspond à de l'eau douce, et est donc propre à la consommation ou directement utilisable pour les besoins domestiques, agricoles ou industriels. Sachant que 70 % de l'eau douce est piégée dans les glaces ou située dans les nappes souterraines profondes, moins de 1 % de l'eau sur la planète est donc accessible pour les besoins humains et peut être consommée, ce qui la rend si précieuse. L'eau propre potable devient un bien de plus en plus rare et il devient donc urgent de la préserver.

La pollution de l'eau peut être définie comme une altération de ses qualités naturelles qui peut être de nature physique, chimique ou biologique et qui rend sa consommation dangereuse et/ou perturbe la vie aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et les eaux souterraines. L'eau contaminée est devenue une réelle problématique mondiale et menace à la fois la qualité de vie et la santé publique.

Dans la liste des polluants les plus dangereux, figurent les métaux lourds. Ces derniers présents dans les eaux usées polluées sont produits par une variété d'activités industrielles liées à l'exploitation minière, à la transformation des métaux, et à l'utilisation de substances contenant des métaux. La pollution de l'environnement par les effluents contenant des métaux lourds est une grande préoccupation ; ils ne sont pas biodégradables et ont tendance à s'accumuler dans les organismes vivants.

Plusieurs publications actuelles montrent, l'intérêt que les algues peuvent présenter pour l'élimination de plusieurs polluants des eaux en métaux lourds. Bien que, l'augmentation du nombre de différentes méthodes et le nombreuses des types de polluants conduit à la difficulté de la sélection de la méthode adéquate pour chaque polluant.

Il existe plusieurs méthodes physique, chimique et biologique pour traiter des effluents pollués tel que la coagulation et la floculation, la biodégradation, la filtration membranaire, l'oxydation chimique, l'ozonation, échange d'ions, les méthodes électrochimiques et l'adsorption.

La technique de l'adsorption est la méthode la plus favorable pour traité les effluents riches en métaux lourds, elle est efficace et simple dans son utilisation .Le principe du traitement par adsorption est de piéger les métaux par un matériau solide appelé adsorbant.

Dans le cadre de notre travail, nous allons évaluer l'efficacité de traitement des effluents industriels Nous nous intéresserons exclusivement aux effluents industriels liquides, ces derniers constituent la menace la plus lourde pour l'environnement en raison de leur caractère toxique et dangereux. le Nickel à été choisi comme adsorbat car il représente un type des matières qui peuvent être rejetés dans les effluents industriels et donc l'étude de son élimination par la méthode d'adsorption constitue une source de connaissances non négligeables pouvant être généralisées à d'autres colorants et métaux lourds. Le biosorbant préparé au niveau de notre laboratoire est à base d'algue rouge marine.

Le but de ce travail est l'utilisation d'une 'algue rouge *Corallina elongata* existant sur la cote Mostaganemoise comme adsorbants en vue de leur utilisation dans la décontamination des eaux résiduaires des polluants organiques et inorganiques.

Le présent travail est scindé en deux parties, la partie bibliographique englobe trois chapitres :

Le premier chapitre comporte la pollution.

Le deuxième chapitre comprenant des généralités sur les algues et plus distinctivement l'algue rouge *Coralina elongata*.

Le troisième chapitre notions théorique sur phénomène d'adsorption.

La partie pratique est devisée en deux chapitres :

La première partie décrit les matériels utilisés et les méthodes suivis pour préparer notre adsorbant.

La deuxième partie est consacrée à l'interprétation des résultats des analyses effectuées. Enfin nous terminons par une conclusion générale résumant les résultats et quelques recommandations.

Première chapitre

Pollution

I.1. Définition de la pollution :

La définition la plus générale du terme de pollution a été donnée par le premier rapport du conseil sur la qualité de l'environnement de la maison blanche (1965) « la pollution » dit ce rapport « est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers des effets directes ou indirects altérant les critères de répartition des flux de l'énergie des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et en produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède ou les possibilités récréatives du milieu » Par conséquent, une définition plus restrictive de ce terme a été donnée : « constitue une pollution toute modification du flux de l'énergie, de l'intensité des rayonnements, de la concentration des constituants chimiques naturels ou encore l'introduction dans la biosphère de substances chimiques artificielles produites par l'homme » [1]

I.1.1. Selon le dictionnaire encyclopédique des pollutions ; « fort utilisé de nos jours le terme de pollution recouvre bien des acceptions et qualifie une multitude d'actions qui dégradent l'environnement, ce vocable désigne sans aucune ambiguïté les effets de l'ensemble des composés toxiques libérés par l'homme dans la biosphère. A l'opposé, son emploi paraît moins évident au profane lorsqu'il concerne des substances inoffensives pour les êtres vivants parfois même favorables à ces derniers mais qui peuvent exercer une action perturbatrice dans les écosystèmes pollués du fait de leur trop grande concentration, tel est par exemple le cas du gaz carbonique (CO₂) rejeté dans l'atmosphère par suite des combustions ou encore des phosphates contenus dans les détergents qui sont déversés avec les effluents urbains dans les eaux continentales ».

1.2. Pollution marine :

La pollution marine a tendance à s'accroître au cours des dernières années. Il s'agit principalement de la pollution côtière, en raison du développement des agglomérations urbaines le long des côtes et cette pollution est particulièrement intense dans les estuaires et les mers semi fermées (baltique, méditerranée) où sont piégés les agents polluants. Ces agents

Sont constitués de sédiments provenant de l'érosion hydrique et de polluants chimiques provenant des égouts et des évacuations industrielles [2]

I.2. Nature et origine de la pollution marine

I.2.1. Origine de la pollution :

L'origine de la pollution peut être humaine ou d'origine environnementale:

I.2.1.1. La pollution d'origine humaine :

Les pollutions d'origine humaine, dites aussi anthropiques, ont de nombreuses formes qui peuvent être locales, culturelles, ponctuelles, accidentelles, diffuses, chroniques, génétiques, volontaires, involontaires, etc. Cette pollution est une diffusion directe ou indirecte dans l'environnement de polluants. Ce sont souvent des sous-produits involontaires d'une activité humaine, comme les émissions des pots d'échappement. Les déchets de produits de consommation courants (emballages, batteries usagées) jetés sans précautions dans l'environnement biophysique et dans l'environnement humain, constituent également une source de pollution très fréquente. Il peut aussi s'agir de phénomènes physiques (comme la chaleur, la lumière, la radioactivité, l'électromagnétisme, etc.), dont le caractère impur ou malsain est généralement relatif car dépendant de la dose, de la durée d'exposition, d'éventuelles synergies, etc. Il est relatif:

- a. soit leur nature de « poison » pour l'homme ou l'environnement (exemple : mercure de la baie de Minamata ; smog londonien généré par la combinaison d'un phénomène climatique naturel et d'émissions causées par le chauffage urbain); par extension, le simple caractère désagréable, même sans danger, peut suffire à invoquer le qualificatif de pollution là où le mot "nuisance" est souvent préféré.
- b. soit à leur nature tératogène (provoquant des malformations chez le nouveau né), même non associée à un caractère toxique.
- c. soit à leur nature de perturbateur endocrinien .
- d. soit en dépit de leur caractère non directement toxique pour l'homme et les êtres vivants, à leur capacité éventuelle à changer ou perturber le fonctionnement d'un écosystème ou de la biosphère, soit en détruisant la vie (exemple: insecticides) ou ses conditions (exemple : chlorofluorocarbones détruisant la couche d'ozone), soit au contraire en sur favorisant

certaines expressions (exemple: nitrates ou phosphates agricoles, favorisant une flore nitrophile au détriment des autres espèces, voire l'eutrophisation ou la dystrophisation des zones humides, baies marines, évoluant vers des zones mortes dans les cas les plus graves). Il peut aussi s'agir d'introduction d'espèces ou de pollution génétique pouvant perturber le fonctionnement des écosystèmes, c'est-à-dire l'introduction d'espèces ou de gènes dans un biotope d'où ils étaient absents ou de pollution par des gaz à effet de serre tels que le gaz carbonique ou le méthane.

I.2.1.2. La pollution d'origine environnementale :

La pollution d'origine environnementale peut être soit:

- a. la conséquence directe ou indirecte de catastrophes naturelles, tels que le volcanisme;
- b. liée à des phénomènes naturels, tels que les éruptions solaires;
- c. la conséquence d'un captage d'eau potable par un animal qui ferait ses besoins à proximité, ou qui serait mort et en décomposition dans l'eau.

I.3. Les types de polluants :

Le polluant, tout agent physique, chimique ou biologique dans un hydrosystème, qui y Provoque, par sa concentration dans l'eau, des perturbations préjudiciables au bon équilibre de l'écosystème et en réduit les possibilités d'usages de l'eau. Le comportement dans l'environnement d'une substance est difficile à appréhender car il dépend de ses propriétés et de la nature du milieu dans lequel elle se trouve. Par exemple, sa capacité à se retrouver dans l'atmosphère dépend à la fois de son degré de volatilité et de sa solubilité dans l'eau. Selon [3] on distingue :

I.3.1. Les micropolluants :

Un micropolluant est défini par Nathalie Chèvre en 2011 comme une « substance présente en faible concentration dans l'environnement, résultant en partie au moins, de l'activité humaine, et qui, malgré cette faible quantité, peut entraîner des effets nocifs sur les organismes vivants ». Notre environnement contient un nombre gigantesque de micropolluants. On estime à 150.000 le nombre de substances présentes dans notre environnement, dont 400 pesticides, 2000 médicaments et 6000 cosmétiques. Ces substances vont se dégrader en de nouvelles molécules et donner lieu à une dizaine ou une vingtaine de

substances chacune. On ajoute à celui les substances persistantes et on arrive rapidement à plusieurs millions de molécules disséminées dans l'environnement.

I.3.2. Les macropolluantes :

Les macropolluants sont des molécules de grande taille (par rapport aux micropolluants), qui sont soit naturellement présents dans l'eau, soit apportés par l'activité humaine mais qui ne présentent pas d'inconvénient pour la vie aquatique, l'écosystème aquatique ou l'aptitude d'une eau à la fabrication d'eau potable, tant qu'elles restent à des niveaux ou des concentrations limitées. Ils doivent être contenus dans certaines limites de concentration, évaluées en milligrammes par litre (mg/l), par opposition aux micropolluants.

I.4. Les types de pollution marine :

La plupart du temps, un rejet n'est jamais une source unique et les différents types de pollution sont mélangés et agissent les uns sur les autres (effets de synergie). Ainsi, un égout rejette des déchets organiques, des détergents dont certains s'accompagnent de métaux lourds (pollution chimique), des micro-organismes (pollution biologique), le tout dans de l'eau douce (pollution physique) [4].

I.4.1. Pollution biologique :

Il s'agit de la pollution par les micro-organismes, les germes (bactéries, virus, champignons) provenant des égouts et qui peuvent proliférer à leurs arrivées dans le milieu marin, même s'il est vrai qu'il s'agit d'un milieu qui ne favorise pas la vie de la plupart des agents pathogènes [5].

Cette forme est provoquée par les eaux usées d'origines domestiques et industrielles.

I.4.2. Pollution physique :

On parle de ce type, quand le milieu marin est modifié dans sa structure physique par divers facteurs tels que la turbidité, la radio activité, les paramètres physico-chimiques que le pH, la conductivité électrique et la dureté qui sont également importants à considérer [6].

Elle résulte de différents éléments solides entraînés par les rejets domestiques et industriels.

On distingue :

• **Pollution solide** : elle provient des particules solides apportées par les eaux industrielles ainsi que les eaux de ruissellement et issue des décharges de déchets à ciel ouvert.

• **Pollution thermique** : La pollution thermique correspond à l'augmentation ou la diminution de la température de l'eau par rapport à la température normale suite à l'action de l'homme et qui affectera la vie aquatique .Il s'agit d'une pollution diffuse, non visible et elle n'est donc pas toujours considérée comme une vraie pollution. Ce type de pollution est causé par les rejets d'eaux chaudes provenant des systèmes de refroidissement, des centrales électriques classiques, ou nucléaires [7].

• **Pollution radioactive** : Il s'agit de l'introduction, directe ou indirecte, par l'activité humaine, de substances radioactives dans l'environnement, susceptibles de contribuer ou de causer un danger pour la santé de l'homme, des détériorations aux ressources biologiques, aux écosystèmes ou aux biens matériels, une entrave à un usage légitime de l'environnement [7].

I.2.3. Pollution chimique :

La pollution chimique n'est donc qu'une des modalités possibles de la perturbation anthropique des milieux marins qui comprend aussi la pollution bactériologique, la pollution thermique, les effets liés à des apports de macro déchets, de matières sédimentaires ou l'introduction d'espèces étrangères. Concernant les substances chimiques, le mot pollution est associé à celui d'effets néfastes sur la faune et la flore marine. En leur absence, il convient de parler de contamination chimique des milieux aquatiques, désignant la simple présence de substances dans le milieu. [8].

I.5. Origines de pollution :

Selon l'origine de la pollution, on distingue quatre catégories : Pollution domestique, urbaine, agricole et pollution industrielle.

I.5.1. Pollution domestique :

C'est une pollution due principalement aux rejets domestiques (eaux domestiques, eaux collectives de lavage, médicaments périmés fécalesetc.).Elle est liée aux grandes concentrations urbaines .les eaux usées des habitations et des commerces entraînent la pollution urbaine de l'eau .les polluants urbains sont représentés par les déchets domestiques, les eaux d'égouts , les restes d'aliments ,les déversements d'abattoirs ,les déversements hospitaliers, les lessives, les détergents, les insecticides ,les hydrocarbures, les déchets de la petite industrie et divers produits toxiques dont se débarrassent les habitants d'une

agglomération .le flot déversé est très variable en fonction de l'importance de l'agglomération et de son activité . [9]

I.5.2. Pollution d'origine urbaine :

Ce sont les eaux des habitations et des commerces qui entraînent la pollution urbaine de l'eau. Les polluants urbains sont représentés par les rejets domestiques, les eaux de lavage collectif et de tous les produits dont se débarrassent les habitants d'une agglomération notamment des rejets industriels rejetés par les entreprises en quantités variables selon l'importance de l'agglomération et son activité.

Le « tout –à- l'égout » est une expression significative ; elle exprime cette diversité. On trouve les excréments, les restes d'aliments, les déversements d'abattoirs, les déversements hospitaliers, les lessives, les détergents, les insecticides, les hydrocarbures, les déchets de la petite industrie et divers produits toxiques.

I.5.3. La pollution agricole :

Cette pollution est causée principalement par l'utilisation irrationnelle des engrais chimiques et les pesticides [10].

I.5.3.1. Pesticides :

Un pesticide est une substance répandue sur une culture pour lutter contre des organismes considérés comme nuisibles. C'est un terme générique qui rassemble les insecticides, les fongicides, les herbicides et les parasitocides. Ils s'attaquent respectivement aux insectes ravageurs, aux champignons, aux mauvaises herbes et aux vers parasites.

Les pesticides, leurs produits de dégradation et leurs métabolites peuvent contaminer tous les compartiments de l'environnement (eau-sol-air). [11].

I.5.3.2. Engrais chimique :

Les engrais sont des substances, le plus souvent des mélanges d'éléments minéraux, destinées à apporter aux plantes des compléments d'éléments nutritifs, de façon à améliorer leur croissance, et à augmenter le rendement et la qualité des cultures.

Le risque environnemental le plus cité est celui de la pollution de l'eau potable ou de l'eutrophisation des eaux, lorsque les engrais, organiques ou minéraux, répandus en trop grande quantité par rapport aux besoins des plantes et à la capacité de rétention des sols, qui dépend notamment de sa texture, sont entraînés vers la nappe phréatique par infiltration, ou vers les cours d'eau par ruissellement [12]

I.5.4. Pollution industrielle :

Les besoins industriels en eaux sont considérables, cela constitue tout de même un volume d'eau résiduaire important. Leur composition est extrêmement variable puisqu'elles sont susceptibles de receler les pertes de tout ce qu'il est possible de fabriquer. On peut succinctement considérer trois grands groupes : [12]

- Eau à caractère minéral dominant : ces rejets sont chargés en matière solide en suspensions et sel dissous, elles sont fréquemment chaudes lorsqu'elles sont mélangées avec les eaux de refroidissement ce qui contribue à l'appauvrissement en oxygène du milieu récepteur, on classe dans les groupes :
 - les eaux d'exhaure de mine ;
 - les eaux des usines chimiques minérales (pigments ; etc.)
 - Les eaux lavage de gravières carrières et toute activité d'extraction de minéraux, etc.
- Eau à caractère organique dominant : c'est surtout le cas de résidus d'industries agroalimentaires : abattoirs, élevage industriels conserveries, etc. Leur composition très variable associe le plus souvent : des débris ; des minéraux ; des graisses ; protéides ; des sels divers, etc.
- Eau à caractéristiques mixtes : ce sont des eaux qui contiennent un ou plusieurs constituants plus ou moins facilement biodégradable mais qui contiennent des milieux carencés ou inhibés par d'autres constituants. Parmi elles citent les effluents des : industries textiles ; papeteries et industrie Dubois ; raffinerie et usines pétrochimiques ; laverie industrielle, industrie mécanique etc. Les composés rencontrés sont : les hydrocarbures dissous, émulsionner ou en films superficiels ; des émulsions d'huiles, des colorants, des phénols, des solides en suspension.

I.6. Pollution par les métaux lourds :

Ce sont des substances minérales toxiques dont leur rejet dans les eaux d'égout perturbe l'activité bactérienne en station de traitement, mais dont les concentrations résiduelles pouvant intervenir indirectement sur notre organisme, à travers la chaîne alimentaire.

Une vingtaine de ces éléments ont été décelées dans le corps humain à des concentrations correspondantes de 0.003 ppm pour le nickel et le strontium à 50 ppm pour le fer aussi. La contamination des écosystèmes aquatiques par les métaux demeure un sérieux problème D'environnements de plus en plus inquiétants [13].

Ils sont présents dans tous les compartiments de l'écosystème aquatique (eau, sédiment, faune et flore) [14].

Les sédiments sont donc souvent des réservoirs ou puits de nombreux polluants chimiques [15].

Ils sont des pièges à micropolluants, ils donnent une indication de la pollution historique du cours d'eau. La distribution de nombreux métaux lourds dans les milieux aquatiques dépend largement du mécanisme d'absorption [16].

I.6.1. Définition des métaux lourds :

Les définitions des métaux lourds sont multiples et dépendent du contexte dans lequel on se situe ainsi que de l'objectif de l'étude à réaliser. D'un point de vue purement scientifique et technique, les métaux lourds peuvent être également définis comme :

Tout métal ayant une densité supérieure à 5.

Tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du sodium ($Z=11$).

Tout métal pouvant être toxique pour le système biologique. [17]

Les métaux lourds associés aux notions de pollution et de toxicité sont généralement : l'arsenic(As),le cadmium(Cd) ,le cuivre(Cu),le mercure (Hg),le manganèse (Mn),le nickel(Ni),le plomb (Pb), l'étain (Sn),le zinc (Zn).les métaux lourds peuvent aussi exister sous forme organique, c'est-à-dire combinés à un atome de carbone (exemple :le plomb-tétraéthyle des essences)mais aussi sous forme de complexes (exemple :le salicylate de plomb, provenant de la complexations du plomb avec une substance humique des sédiments).[18].

I.6.2. Origine des métaux lourds :

L'origine des métaux présents dans le milieu marin est double. Naturellement présents dans la biosphère, ils proviennent, d'une part, de l'érosion mécanique et chimique des roches et du lessivage des sols. [19]

D'autre part ,la contribution d'origine anthropique issue des rejets industriels et domestiques ,l'activité minière et les eaux d'écoulement contaminées par les engrais et les pesticides utilisés en agriculture sont autant de sources ayant contribué à l'augmentation des concentrations de métaux lourds dans le milieu marin et surtout en zone côtière. [19]

Les métaux lourds présents dans l'eau et dans les sédiments sont absorbés par les plantes et les animaux marins, le dépassement d'une quantité donnée dans ces espèces provoque leur accumulation dans les organismes et tout au long de la chaîne alimentaire. Ils peuvent atteindre des concentrations menaçant la survie de certaines populations naturelles et présentent des dangers pour le consommateur de produits marins du fait de leur possibilité de concentration dans les espèces marines, de leur élimination difficile et de leur large répartition dans le milieu aquatique. [20]

I.7. Les sources de pollution :

La majeure partie des polluants rejetés dans l'environnement parvient au milieu marin, soit indirectement par les rivières, le ruissellement ou l'atmosphère, soit directement par les rejets à la mer d'origine urbaine, agricole, ou industrielle [21].

Or, la capacité naturelle des zones côtières à disperser et assimiler les polluants est limitée [22].

Cependant, l'émotion légitime suscitée par les conséquences d'une pollution accidentelle en milieu marin ne doit pas masquer la situation de fond constituée par les apports de pollution chronique d'origine multiple. [22]

Les sources de pollution de l'environnement marin sont donc multiples. Elles englobent aussi

- a) les sédiments sur lesquels divers polluant peuvent s'adsorber
- b) l'eutrophisation qui peut entraîner d'importants changements dans la composition des communautés marines, et les blooms algaux qui peuvent être toxiques vis-à-vis des organismes...etc. [23].

I.8. Conséquences de la pollution:

Les conséquences d'une pollution peuvent être classées en trois catégories principales: sanitaires, écologiques, esthétiques, et deux autres conséquences liées à l'utilisation de l'eau comme produit : agricoles, industrielles.

I. 8.1. Conséquences sanitaires:

Les conséquences sanitaires sont celles à prendre en compte en priorité. Elles peuvent être liées à l'ingestion d'eau, de poissons intoxiques...etc., mais aussi, au simple contact avec

le milieu aquatique (cas de nombreux parasites). On peut noter qu'il ne s'agit pas toujours de problèmes de toxicité immédiate, les conséquences sanitaires pouvant intervenir au travers de phénomènes complexes. La conséquence sanitaire d'une pollution est variable dans le temps en fonction de l'usage de l'eau : par exemple, la pollution d'une nappe non exploitée n'a aucune conséquence sanitaire immédiate, mais peut en avoir longtemps après, si on utilise cette eau pour l'alimentation en eau potable (A. E. P.) [24].

I.8.2. Conséquences écologiques:

Les conséquences écologiques se mesurent en comparant l'état du milieu pollué par rapport à ce qu'il aurait été sans pollution. Ceci n'a rien d'évident, la pollution se traduisant parfois uniquement par l'accentuation d'un phénomène naturel. D'une manière générale, les conséquences écologiques sont à considérer au travers de la réduction des potentialités d'exploitation du milieu (pêche, aquaculture, tourisme, ...) [24].

I.8.3. Conséquences esthétiques:

Il s'agit de pollutions n'ayant pas de conséquences sanitaires ou écologiques importantes, mais perturbant l'image d'un milieu (par exemple, par des bouteilles plastiques). Les conséquences esthétiques sont, par définition, les plus perceptibles, et c'est donc celles dont les riverains et le grand public auront, en premier, conscience [24].

I.8.4. Conséquences agricoles :

L'eau est, dans certaines régions, largement utilisée pour l'arrosage ou l'irrigation sous forme brute (non traitée). La texture du sol (complexe argilo humique), sa flore bactérienne, les cultures et le bétail, sont sensibles à la qualité de l'eau. De même, les boues issues du traitement des eaux usées pourront, si elles contiennent des toxiques (métaux lourds) être à l'origine de la pollution des sols [24].

I.8.5. Conséquences industrielles :

L'industrie est un gros consommateur d'eau : il faut par exemple 1m³ d'eau pour produire 1kg d'aluminium. La qualité requise pour les utilisations industrielles est souvent très élevée, tant sur le plan chimique (pour limiter la minéralisation, corrosion, entartrage), que biologique (problème de biofouling, c'est-à-dire d'encrassement des canalisations par des organismes). Le développement industriel peut donc être stoppé ou retardé par la pollution [24].

I.9. Définition des effluents :

Les effluents industriels sont des rejets liquides issus des procédés d'extraction ou de transformation des matières premières en vue de fabriquer des produits industriels ou des

biens de consommation. Ces eaux sont extrêmement hétérogènes. Leur quantité et leur qualité varient en fonction du procédé mis en œuvre et du domaine industriel.

Elles présentent souvent un large spectre de polluants chimiques composés à l'état solide ou dissous de matières organiques et minérales, métaux, hydrocarbures, solvants, polymères, huiles, graisses et sels, à divers niveaux de toxicité [25]

I.10. Origine des effluents :

Plusieurs industries tels que : les industries pharmaceutique, métallurgique pétrochimique et des traitements et de décapage...etc. Génèrent une quantité importante des effluents liquides.

On distingue différent type de rejet résiduaire industriel [26]

I.11. Les différents types d'effluents :

Quatre grandes catégories de rejet peuvent être distinguées dans l'industrie :

- **Les effluents de fabrication**

La plupart des procédés industriels engendrent des rejets polluants qui proviennent du contact de l'eau avec des gaz, liquides ou solides. Ces rejets sont soit continus, soit discontinus. La présence de bassins d'homogénéisation est donc indispensable.

- **Les effluents particuliers**

Certains effluents sont susceptibles d'être ségrégués afin de subir un traitement spécifique. La récupération de matières premières et/ou d'eau en fabrication est alors possible. Dans un second cas, ces effluents sont dirigés vers un bassin de stockage pour être réinjectés à débit pondéré dans le circuit de traitement, après avoir subi au besoin un prétraitement. C'est le cas des bains de décapage et galvanoplastie ; soudes usées ; eaux ammoniacales de cokerie ; condensats de papeterie, « eaux mères » des industries agroalimentaires et chimiques ; rejets toxiques et rejets concentrés.

- **Les effluents des machines**

Ce sont les fluides qui découlent des cuves et tuyauteries comme les eaux de vannes, les eaux de chaufferie comme les purges de chaudière ou de réfrigération, ou encore les boues du traitement des eaux d'appoint.

- **Les rejets occasionnels**

Il s'agit de tout fluide qui survient suite à une fuite accidentelle de produits lors de la manutention ou du stockage des eaux de lavage de sols ou d'outils de production par exemple mais aussi des eaux polluées.

I.12. Principaux paramètres physico-chimiques caractérisant les effluents :

I.12.1 .Paramètres physiques :

I.12.1.1. La température :

C'est un paramètre important surtout pour les eaux usées industrielles (Principalement les industries agro-alimentaires, les centrales nucléaires...) qui produisent des eaux chaudes. L'émission d'une eau propre mais chaude dans un milieu naturel peut créer une pollution [27].

I.12.1.2. L'odeur :

L'odeur peut être définie comme l'ensemble des sensations par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles ; la qualité de cette sensation particulière est provoquée par chacune de ses substances.

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore, en effet, toutes odeurs est un signe de pollution ou de présence de matière organique en décomposition .ces substances sont en générale en quantité si minimales qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyses ordinaires [28].

I.12.1.3. La couleur :

La coloration est un paramètre essentiel de la « pollution esthétique » son origine peut être :

Naturel : certaines eaux très minéralisées contiennent de substances humiques fortement colorées eutrophisation : la pullulation d'algues ou de bactéries colore l'eau en vert ou en rouge
Chimique : colorants, phénols et dérivés, pigments chlorophylliens (industrie agroalimentaire) [28].

I.12.1.4. Turbidité :

La turbidité constitue l'un des paramètres physiques descriptifs de l'eau c'est l'obstruction à la pénétration de la lumière dans l'eau, due à la présence de particules solides en suspension.

Elle est liée à la masse de ces particules en suspension (MES), tels que ; les argiles, limons, grains de silice et matière organique.

I.12.1.5. Débit :

Le débit Est le volume d'eau passant à travers une section d'un cours d'eau pendant une unité de temps. Le débit total est la valeur annuelle moyenne du débit d'un cours d'eau y inclus les crues même exceptionnelles [29].

I.12.1.6. Matières en suspension :

Ce sont des particules solides très fines et généralement visibles à l'œil nu, théoriquement, elles ne sont ni solubilisées, ni à l'état colloïdale. Elles déterminent la turbidité de l'eau. Elles limitent la pénétration de la lumière dans l'eau, diminuent la teneur en oxygène dissous et nuisent au développement de la vie aquatique. Ces matières sont en relation avec la turbidité, leur mesure donne une première indication sur la teneur en matière colloïdale d'origine minérale ou organique [30].

La concentration en matières en suspension dans les eaux sont très variables et sont de l'ordre de 100 à 300 mg/l. Les matières en suspension dans les eaux résiduaires constituent un paramètre important, qui marque généralement bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel [30].

I.12.2. Paramètres chimiques :

I.12.2.1. pH :

Les eaux peuvent être, soit acidulées, soit neutres, soit alcalines, ses caractères sont représentés par le pH du milieu. Des pH compris entre 5 et 9 constituent la limite dans lesquelles un développement quasi-normal de la flore et de la faune aquatique semble être permis. Par ailleurs, il est souvent difficile d'établir de critères précis en ce qui concerne la vie et la reproduction des poissons [31].

I.12.2.2. Conductivité :

La conductivité est la capacité d'une solution, d'un métal ou d'un gaz autrement dit de tous les matériaux à faire passer un courant électrique. Dans une solution, ce sont les anions et les cations qui transportent le courant alors que dans un métal ce sont les électrons. Un certain nombre de facteurs entre en jeu pour qu'une solution conduise l'électricité :

La concentration, la mobilité des ions, la valence des ions, la température.

Chaque substance possède un certain degré de conductivité. Pour les solutions aqueuses, le niveau de la force ionique s'étend des très faibles conductivités pour les eaux ultra pures jusqu'aux très fortes conductivités pour des échantillons chimiques concentrés [32].

I.12.2.3. Oxygène dissout :

Sur la terre comme dans l'eau, l'oxygène est indispensable à la très grande majorité des organismes vivants. Dans l'eau, la solubilité de l'oxygène varie en fonction de la

température de l'eau et de la pression atmosphérique. Ainsi, l'eau froide peut contenir une concentration plus élevée d'oxygène dissous que l'eau chaude, tout comme les lacs situés à basse altitude par rapport aux lacs alpins [33].

I.12.2.4. Demande chimique en oxygène (DCO) :

La DCO correspond à la quantité d'oxygène qui a été consommée par voie chimique pour oxyder l'ensemble des matières oxydables présentes dans l'eau. La DCO est particulièrement indiquée pour mesurer la pollution d'un effluent industriel [30].

I.12.2.5. Demande biochimique ou biologique en oxygène (DBO) :

Il s'agit de la quantité d'oxygène (donnée en mg/l, g/l, ou autres) que les bactéries utilisent pour décomposer partiellement ou pour oxyder totalement en CO₂ des substances organiques dans l'eau, en un temps donné, à l'aide de leur système enzymatique.

La DBO mesure la teneur en substances biochimiquement dégradables, plus la quantité en composés biochimiquement oxydables est importante, plus la valeur de la DBO est élevée.

I.12.3. Autres éléments :

I.12.3.1. Azote :

L'azote se trouve dans l'eau lacustre sous forme organique et sous forme minérale (nitrique, nitreuse en ammoniacale), ses sources d'enrichissement naturel sont l'atmosphère par les précipitations ; il est également fixé par certaines bactéries et certaines algues bleues, l'azote organique se trouve minéralisé puis oxydé (nitrification) mais en même temps une partie de cet azote disparaît par le phénomène inverse de dénitrification [34].

I.12.3.2. Phosphore :

Le phosphore est un minéral essentiel à la vie des organismes (humains, animaux, végétaux, algues et bactéries). Chez les humains et les animaux, il sert principalement à la fabrication de l'ADN alors que chez les plantes et les algues, le phosphore est indispensable au développement. Il favorise la croissance et la reproduction. On retrouve principalement cet élément dans les roches et la partie superficielle des sols, sous forme de phosphates. Toutefois, la majeure partie de tout le phosphore des sols n'est pas naturellement disponible pour les organismes [35].

I.12.3.3. Zinc :

Le zinc est un métal ductile, de couleur bleu-gris il réagit avec les bases et les acides et ternit au contact de l'air. Le zinc est classé comme le 24^{ème} élément le plus abondant dans la croûte terrestre avec une concentration de 70mg/l.

I.12.3.4. Nickel :

Le nickel est un oligo-élément rencontré en quantités assez importantes dans la nature. Les minerais de nickel existant à l'état naturel ne présentent pas de dangers significatifs. En revanche, les produits de synthèse présentent un potentiel de risque considérable. Ainsi, une accumulation de nickel dans l'environnement se produit par suite d'épandage de boues d'épuration et de compost (36).

Les procédés utilisés pour l'extraction du nickel métallique, dont certains donnent naissance à des produits intermédiaires et résiduels de très forte toxicité représentent un potentiel de risques important. Les principaux composés du nickel sont les suivants :

- Le nickel tétracarbonyle ($\text{Ni}(\text{CO})_4$): liquide incolore hautement toxique dont les mélanges avec l'air sont explosifs et qui sert de matériau de base pour la fabrication de Nickel pur.
- Le monoxyde de nickel (NiO): poudre gris vert insoluble dans l'eau, utilisée pour la coloration des verres.
- Dichlorure de nickel (NiCl_2): utilisé pour la coloration des céramiques, pour la fabrication de catalyseurs au nickel et pour le nickelage galvanique.

I.12.3.4.1. Origines:

Le nickel figure en 28^{ème} position des éléments les plus répandus. La teneur de la croûte terrestre en nickel est d'environ 0,008 % en poids. Le noyau de la terre contient sans doute de grandes quantités de nickel. Le nickel n'existe pas à l'état élémentaire sauf dans les météorites [37]. Le nickel est un allergène alimentaire important puisqu'une alimentation normale en amène 0,3 à 0,6 µg par jour dont seulement 5 à 10 % seront résorbés. Les aliments riches en nickel sont les suivants: le cacao, les harengs, les huîtres, divers légumes (épinards, haricots verts, oignons, petits pois, tomates), les margarines, les mayonnaises industrielles, les poires, le thé, ainsi que certains aliments enrichis en nickel par la cuisson dans des casseroles dites en "acier inoxydable" (surtout le café, les légumes, le poivre, les pommes, la rhubarbe, le vinaigre). Le nickel est surtout utilisé pour la fabrication des alliages durs, malléables et résistants à la corrosion (81 %), d'enduits (11 %), de pièces de monnaie, de catalyseurs, d'appareils et instruments pour laboratoires de chimie, de thermophiles et de matériaux magnétiques.

I.12.3.4.2. Pathologie / Toxicologie :

Le métal et ses composés inorganiques sont considérés comme étant assez peu toxiques. Ils peuvent cependant entraîner des troubles cutanés chez les personnes qui les manipulent régulièrement. En revanche, certains composés organiques sont extrêmement toxiques (p. ex. nickel tétracarbonyle) et possède un fort potentiel allergène. Les vapeurs et poussières de nickel sont sans doute cancérigènes au même titre que certains autres composés du nickel. L'absorption de quantités trop importantes de nickel peut avoir plus de risque de développer un cancer des poumons, du larynx et de la prostate, Nausées, vomissements et vertige après une exposition au gaz. Il peu aussi avoir un échec respiratoire, échec de naissance, asthme et bronchite chronique, et des problèmes cardiaques.

I.12.3.4.3. Comportement dans l'environnement :

Dans les systèmes aquatiques, le nickel existe généralement sous forme de Ni^{2+} . La forme sous laquelle on le trouve dans l'eau dépend entre autres du pH. Les composés de nickel rencontrés dans le milieu aquatique sont généralement recensés et indiqués comme nickel global, ceci bien que la gamme des composés parvenant dans le milieu aquatique par suite de rejets anthropogènes englobe aussi bien des sels solubles que des oxydes insolubles ou encore des poussières de nickel métallique. En l'état des connaissances actuelles, il n'existe pas de composés de nickel qui soient présents exclusivement dans le milieu aquatique.

Le nickel est surtout présent dans l'atmosphère sous forme d'aérosols. La forme métallique est stable. La détermination des composés de nickel spécifique au milieu atmosphère est extrêmement difficile, car leur concentration y est assez faible, et par ailleurs, les diverses méthodes d'analyses ont pour effet de modifier les substances. D'après les chiffres d'émission, les principaux composés de nickel rencontrés dans l'atmosphère sont les sulfates de nickel, les oxydes complexes de nickel, le monoxyde de nickel et, dans de moindres proportions, des poussières de nickel métallique.

Dans les sols, le nickel peut se présenter sous des formes diverses, par exemple sous la forme de minéral cristallin inorganique (ou précipité), de chélates complexes ou d'ion libre. Le comportement des composés de nickel dans les sols dépend des propriétés des différents composés, mais aussi du type de sol. C'est pourquoi, il n'est pas possible de généraliser. La désorption en nickel dans la solution du sol tend à croître à mesure que le pH diminue.

De nombreuses plantes accumulent le Ni contenu dans le sol, généralement par la voie de leur système racinaire (jusqu'à 700 fois pour les pins). Dans des conditions naturelles, les

teneurs dans les plantes sont inférieures à 1 mg/kg mais dans des sols serpentinières, des concentrations de 100 mg/kg ont été décelées, voire même de 1150 mg/kg sur des végétaux cultivés sur sols traités par des boues d'épuration.

I.12.3.4.4. Normes admissibles :

Il est indispensable de mettre en œuvre toutes les techniques, les doses limites admissibles, et surtout pour éviter l'exposition au nickel carbonylé.

Nickel métallique : 1 mg/m³

Composés solubles en nickel : 0,1 mg/m³

Sulfure de nickel grille, fumé et poussières en nickel : 1 mg/m³

Nickel carbonylé : 0,35 à 0,05 mg/m³

L'absorption quotidienne mesurée par l'excrétion fécale se situe aux environs de 258 à 289 µg/jour, suivant KENT et SCHRODER. L'alimentation apporte environ 0,3 à 0,5 µg de nickel /jour, surtout par l'intermédiaire des légumes verts. Il est possible de détecter la présence de nickel dans un objet: une solution alcoolique de diméthylglyoxime et quelques gouttes d'une solution à 10 % d'hydroxyde d'ammonium qui provoque en cas de présence de celui-ci une coloration rouge.

I.12.3.5. Chrome :

Le chrome est un élément chimique de la famille des métaux de transition. C'est un métal dur de couleur bleu blanc. Il est soluble dans HCl et H₂SO₄ mais pas dans HNO₃, HPO₄ ou HClO₄ grâce à la formation de couches protectrices. Il résiste à l'oxydation de l'air, il est fréquemment utilisé dans les alliages, le plaquage de chrome, et dans les céramiques. Le chrome est présent en petite quantité dans la nature et se concentre préférentiellement dans les roches basiques, à la différence des roches siliceuses, sa solubilité est faible vis-à-vis des phénomènes de lessivage du sol. [38].

I.13. Dépollution d'effluents :

La production et l'utilisation d'un grand nombre de substances chimiques entraînent leur accumulation dans les effluents en sortie des lieux de production et dans l'environnement. L'impact sur les organismes vivants peut se révéler important en raison de la toxicité directe ou chronique de ces substances ou des produits de leur dégradation. Des efforts importants sont faits pour un contrôle de l'utilisation et de la dissémination des substances. Les milieux aquatiques sont parmi les plus exposés, l'eau servant de solvant naturel pour de nombreux types de substances polluantes ou étant capable d'entraîner les molécules non miscibles telles

que les hydrocarbures, les huiles et leurs dérivés. La concentration de polluants dans ces milieux affecte directement les écosystèmes correspondants [39].

I.13.1. Techniques de dépollution :

Les techniques utilisées en vue de la dépollution d'effluents varient selon les substances ciblées (cations métalliques, molécules organiques, particules de taille nanométrique ou micrométrique), en traitement continu ou en discontinu (batch) des effluents et la nature finale des déchets (boue solide, solution très concentrée, particules saturées en polluant...). Les différentes techniques d'épuration actuellement en place peuvent être classées en trois grandes familles [40] :

a) à former une phase concentrée Les techniques visant en polluant :

Parmi les techniques reposant sur ce principe, on trouve par exemple l'évaporation, la Pervaporation (élimination sélective d'un solvant au travers d'une membrane présentant une affinité, hydrophile ou hydrophobe, pour ce solvant), l'osmose inverse, ou la filtration.

b) Les techniques reposant sur l'extraction du polluant de la phase liquide :

Électrodéposition, électrolyse, adsorption, extraction liquide-liquide, échange ionique sur résines ou précipitation.

c)- Les techniques entraînant la minéralisation des composés organiques par :

Incinération, pyrolyse, biodégradation ou dégradation catalytique, Le plus souvent, plusieurs techniques sont utilisées en cascade de façon à traiter plusieurs types de polluants par une seule chaîne ou à rendre l'effluent compatible avec la méthode de traitement choisi, par exemple en réduisant la force ionique ou en éliminant une substance limitant ou empêchant le fonctionnement du dispositif.

Mises à part les techniques entraînant la destruction complète de polluants organiques par minéralisation, la dépollution des effluents entraîne la formation de déchets secondaires sous la forme de boues ou de solutions très concentrées en polluants, qu'il s'agit de rassembler puis de détruire ou de revaloriser. L'élimination des déchets secondaires, effectuée le plus souvent par incinération, est moins coûteuse que l'incinération directe des effluents non traités, en raison des plus faibles volumes mis en jeu. Parmi les différentes techniques de dépollution des effluents, la dégradation catalytique et l'adsorption, sélective ou non-sélective, font l'objet de recherches et de développements importants. Ainsi, différents types de catalyseurs permettant la dégradation des molécules, variant suivant leur nature chimique, leur forme ou leur support, sont adoptés [41] en vue de leur optimisation et de la diminution des coûts des matériaux préparés. Dans le domaine de l'adsorption, les efforts de recherche

portent sur l'utilisation de nouveaux adsorbants dérivés de biomatériaux (chitosane, alginate, amidon...) ou produits à partir des déchets agricoles, ainsi que sur le développement de adsorbants sélectifs

L'étude de la fixation de polluants dits récalcitrants, c'est-à-dire stables face à des réactions d'oxydation ou de biodégradation, par exemple des composés organiques polycycliques azotés et chlorés, est particulièrement développée [42].

Dans ce contexte de dépollution, notre étude s'est basée sur l'utilisation d'un matériau d'origine naturelle qui est l'algue rouge *Corallina elongata* en traitant chimiquement et thermiquement dans le but de synthétiser une hydroxapatite et un charbon actif comme traitement d'effluents des eaux usées par le phénomène de l'adsorption.

Deuxième chapitre

Généralité sur les algues

II. Généralités sur les algues marines :

D'origine très ancienne, les algues marines existent depuis des millions d'années. Très diversifiées (*Cyanophycées*, *Rhodophycées*, *Chromophycées* et *Chlorophycées*), les algues comptent plus de 130.000 espèces dans le monde (Perez, 1997). Les algues d'origine marine occupent une place importante en industrie, pharmacologie et médecine dans ce domaine, plusieurs algues marines possèdent des activités inhibitrices de plusieurs enzymes et des actions vermifuge (*Alsidium helminthocorton*, *Digenea simplex*), hypoglycémiant (*Corallina*, *Cystoseira*, *Pterocladia*, etc...), Hypotensive (*Chondrus*, *Laminaria*, etc...), anticoagulante (*Chondrus*, *Corallina*, *Delessaria*, *Laminaria*, etc...), cardiotonique (*Undria pinnatifida*), anti-inflammatoire, antibactérienne, antifongique et antivirale (*Chondrus*, *Cladophora*, *Ulva*, *Fucus*) [43]

II.1. Définition des algues marines :

Les algues regroupent un ensemble de végétaux photosynthétiques très divers et dont l'appareil végétatif relativement simple est appelé «thalle». Celui-ci contient une structure à sa base (rhizoïdes, crampons, disques...) permettant l'ancrage de l'algue sur un support: une roche (algues épilithes), ou une plante (algues épiphytes), ou un animal (algues épibiontes) ou parfois même le sable. Le thalle présente une grande diversité de formes allant de lames simples à des structures plus complexes semblables à des tubes, des tiges et des feuilles ou encore des boules remplies d'eau. La texture est également très variée: certaines algues sont gélatineuses, voir de texture cartilagineuse ou spongieuse. Le nombre et le type de ramifications (insertion, organisation et hiérarchisation de ces ramifications par rapport à l'axe principal) sont des critères importants pour identifier les algues. Enfin, certaines algues présentent un thalle très rigide, suite à l'accumulation de carbonate de calcium ou aragonite, dans les parois de leurs cellules. Certaines algues rouges sont même presque entièrement calcifiées et forment des croûtes aussi dures que les rochers leur servant de support. Les cellules des algues possèdent les mêmes éléments de structure que celles des plantes supérieures. Elles ont une paroi cellulaire partiellement cellulosique, des petits noyaux et des plastes pigmentés ou chromatophores (comportant de la chlorophylle souvent masquée par des pigments surnuméraires qui donnent aux thalles des couleurs [44]

Elles ont des formes et des dimensions très variables. Certaines sont microscopiques et d'autres mesurent plusieurs mètres de longueur, mais elles ont toutes des caractères

communs. Elles sont essentiellement aquatiques dans les eaux douces ou marines, et certaines vivent sur la neige ou la glace des régions polaires et des hautes montagnes. D'autres au contraire supportent dans les eaux des sources thermales des températures élevées (algues thermophiles). Elles comprennent 20 000 à 30 000 espèces dans le monde, soit 18% du règne végétal. [44]

II.2. Morphologie des algues :

Dans plusieurs embranchements presque toutes les espèces sont unicellulaires, elles sont sphériques, ou en forme de bâtonnet, de massue ou de fuseau. Elles peuvent être mobiles ou non, peuvent former des colonies multicellulaires, ou sous forme d'agrégat de cellules isolées, identiques qui restent liées après la division. D'autres sont composées de différentes cellules qui sont spécialisées pour remplir des fonctions particulières. Les autres algues sont multicellulaires possédant une morphologie plutôt complexe.

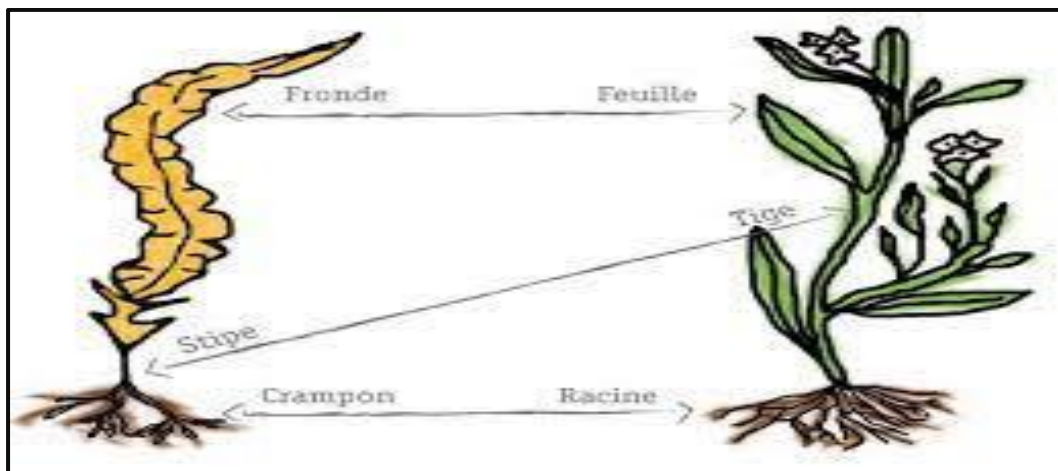


Figure 01 : Morphologie comparée entre une algue et une plante [43]

II.3. Caractères généraux des algues :

II.3.1. Appareil végétatif:

Il est très variable; les deux tiers des algues sont unicellulaires à cellules parfois groupées en colonies. Une partie est formée de thalles filamenteux qui peuvent être constituées soit de cellules, soit d'articles plurinucléées, ou de siphons contenant une vacuole et un cytoplasme pariétal où se trouvent les chloroplastes et les noyaux.

II.3.2. Caractères cytologique et biochimique :

Les algues ont un noyau limité par une membrane, elles renferment aussi des inclusions, comme des grains d'amidon, des vacuoles et de gouttelettes lipidiques, elles peuvent contenir plus d'un chloroplaste par cellule. Les chloroplastes peuvent être rubanées ou en forme de disques séparés. Les algues mobiles possèdent des flagelles en paires ou en amas. Certaines algues possèdent d'autres structures, comme des épines ou des boutons, ainsi que des tiges grasses auxquelles se fixe le substrat.

Les parois de certaines algues sont de natures différentes; cependant la majorité des espèces a une enveloppe cellulaire de type composite fibreux mais aussi avec une structure et une composition inconstantes d'une espèce à l'autre on observe deux sortes de variations :

a)-Variation microfibrillaire :

La cellulose est présente le plus souvent en faible quantité. Parfois, au contraire, elle est dominante et même sous une des formes connues la plus hautement cristalline (cas de l'algue verte *Valonia*). Dans certains groupes d'algues (algues vertes à structure coenocytique), il n'y a pas de cellulose mais un squelette microfibrillaire moins stable, fait de mannanes (*Codium*, *Acetabularia*) ou du xylanes (*Caulerpa*, *Bryopsis*). Quelques algues rouges ont aussi des mannanes et des xylanes au lieu de cellulose (*Porphyra*).

b)-Variation dans la matrice:

La diversité de composition matricielle est fonction de l'écologie et de l'habitat. Une situation remarquable est celle des algues situées sur le littoral marin et en particulier dans la zone de balancement des marées, qui supportent des conditions biologiquement difficiles (alternance immersion émergence, changement brusque de salinité).

Les parois de ces organismes contiennent des gels de polysaccharides acides, soit avec fonction carboxyliques (comme dans les pectines), soit avec fonction sulfates. Les polysaccharides des sulfatés, sont abondants dans les algues brunes du littoral et particulièrement dans les fucanes (avec fucose-sulfate: *Fucus*) et les algues rouges (agar et carraghénanes renfermant du galactose-sulfate: *Chondrus*, *Gigartinia*). Ces mucilages très acides représentent jusqu'à 70% de la masse sèche du thalle. Ils ont des propriétés d'échange sélectif de cations, de sorte qu'ils peuvent participer au mécanisme adaptatif de

résistance à l'émersion de plusieurs façons: protection contre la dessiccation à marée basse et contre les aggrégations électrochimiques du milieu (forte salinité, eaux saumâtres).

Les algues nageuses (plancton) sont confrontées aux problèmes d'allègement et de flottaison. On y trouve des parois réduites à l'état de thèques minces, souvent ajourées ou fragmentées en plaque ou écailles

En général, la membrane externe de la cellule est fondamentalement pectoglucidique, mais la cellulose est souvent remplacée par d'autres glucides (xylanes, mannanes) ou par des dérivés glucidiques (l'acide alginique). Les membranes sont minéralisées dans plusieurs groupes:

- Silicifiées chez les diatomées et les silicoflagellées
- Incrustées de calcaires chez les chlorophycées

Les algues vertes contiennent les chlorophylles a et b qui assurent la photosynthèse semblable à celle des plantes supérieures.

Les algues brunes et rouges contiennent seulement de la chlorophylle à qui est associée à des pigments surnuméraires. Mais, les algues brunes élaborent une grande quantité de caroténoïdes (carotène, xanthophylle) qui dissimulent la couleur verte. Par contre, Les algues rouges élaborent deux protéines colorées ou phycobilines: la phycoérythrine (rouge) et la phycocyanine bleue. La nature chimique des réserves est différente suivant les classes d'algues.

II.3.3.Pigments des plastes :

On peut distinguer trois groupes : les chlorophylles, les pigments caroténoïdes et les bilichromoprotéides

II.3.3.1.Les chlorophylles :

La chlorophylle (*a*) ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) seul pigment responsable de la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique, existe dans toutes les algues, à l'exception des rares formes hétérotrophes (saprophytes ou parasites).

La chlorophylle (*b*) se rencontre chez les Chlorophycophytes et aussi en petite quantité chez les Euglénophycées mais elle est absente dans tous les autres groupes d'algues.

Chez les Phéophycées on rencontre la chlorophylle (*c*) (chlorofucine) tandis que les Rhodophytes renferment de la chlorophylle (*d*), mais dans toutes ces algues, c'est la chlorophylle (*a*) qui est de beaucoup la plus abondante.

II.3.3.2. Les pigments caroténoïdes :

Toujours associés aux chlorophylles dans les plastes, les pigments caroténoïdes comprennent d'une part des hydrocarbures dérivés de l'isoprène: les carotènes ($C_{44}H_{56}$) et des substances oxygénées provenant du carotène et possédant des fonctions alcool ou cétone: les xanthophylles.

- *Carotènes* : Le carotène β existe chez toutes les algues, ce dernier est associé au carotène α qui chez les algues ne se rencontre que chez les Chlorophycophytes.

- *Xanthophylles*: Il existe un très grand nombre de xanthophylles tel que la lutéine, la zéaxanthine et la vilaxanthine, se rencontrent également chez les chlorophycophytes et les rodophytes qui renferment des quantités appréciables de lutéine.

Les Chromophytes sont caractérisées par l'abondance de la fucoxanthine et la néofucoxanthine donnant leur couleur brune aux plastes des Phéophycées.

Chez les Pyrephycophytes, c'est la péricidine, associée à la dinoxanthine et à la diadinoxanthine, qui domine chez les Dinophycées.

II.3.3.3. Les bilichromoprotéïdes:

Sont solubles dans l'eau, et peuvent être facilement extraites des algues. Ces pigments hydrosolubles sont propres aux rhodophytes.

Les bilichromoprotéïdes sont formées de globulines unies à des groupements prosthétiques chromophores qui sont les phycobilines, ces derniers sont des composés tétrapyrroliques. Quelques rhodophycées, dont les plastes, colorés en rouge, sont dépourvus de phycoérythrine, mais renferment un autre pigment rouge: la floridorubine qui est un composé quinonique bromé.

La phycoérythrine joue un rôle important dans la photosynthèse des algues rouges.

Tableau 01 : Type de Pigments

COULEUR	PIGEMENTS	ALGUES
BLEU	Chlorophylle Phycocyanine	Algues Bleues (Cyanobactéries)
VERTE	Chlorophylle Xanthophylle Carotène	ALGUE VERTE
ROUGE	Chlorophylle Fucoerythrine Phycoxanthin	ALGUE ROUGE
BRUNE	Chlorophylle Phycoxanthine B-Carotène	ALGUE BRUNE

II.4. Les grands groupes marins :

Les algues peuvent être classées en une dizaine d'embranchements selon des critères basés sur leur composition pigmentaire, leurs polysaccharides de réserve ou leurs caractéristiques structurales [44]. Un des critères de classification des algues est leur pigmentation, qui permet de définir plusieurs grands groupes :

II.4.1. Les algues vertes (chlorophytes) :

Elles sont de formes très variées, uni-ou pluricellulaires. Leurs plastes sont colorés en vert par les chlorophylles a et b, auxquelles sont associés des carotènes et des xanthophylles. La photosynthèse permet la formation d'amidon, comme pour les plantes supérieures, la plupart des algues vertes vivent en eau douce ou en milieux marins, mais certaines espèces peuvent également se développer sur terre. Elles jouent un rôle important dans l'oxygénation des eaux, favorisant ainsi la vie animale. [45]



Figure 02 : *Ulva lactuca* ou Laitue de mer (algue verte)

II.4.2. Les algues brunes (chromophytes) :

La couleur brune de ces algues est dû aux pigments xanthophylle, la fucoxanthine, qui masque les autres pigments (chlorophylle a et c, ainsi que le bêta-carotène). Toutes possèdent une structure pluricellulaire, mais leurs dimensions varient depuis les éléments microscopiques jusqu'aux très grands spécimens. La grande majorité des algues brunes sont marines [46]



Figure 03 : Cystoseira (algue brune)

II.4.3. Les algues rouges (Rhodophytes) :

Les rhodophytes ou algues rouges forment un groupe très diversifié. Ces algues doivent leur couleur à la présence de plastides roses dans lesquels un pigment rouge, la phycoérythrine, est associé à plusieurs autres pigments dont les chlorophylles. La plupart de ces algues rouges sont pluricellulaires et marines, mais il existe quelques formes unicellulaires et quelques-unes vivent également en eau douce. Les algues rouges sont divisées en deux groupes: celui des Bangiophycées (qualifiées de primitives) et celui des Floridéophycées (plus complexes). [47]

Elles se distinguent généralement par leur cycle de reproduction particulièrement complexe.



Figure 04 : Asparagopsis armata (Algue rouge)

II.4.4. Les algues bleues (cyanobactérie) :

Les cyanobactéries ou les algues bleues sont constituées des colonies de taille, de forme et de couleur très variables. Comme les algues rouges, elles possèdent des pigments surnuméraires bleus (Phycocyanines) et rouges (Phycoérythrine) qui masquent la chlorophylle a. En dépit de leur nom ancien d'algues bleues, elles sont rarement bleues mais plus souvent rouges, vertes avec des reflets bleutés, violets, bruns, jaunes ou orangés. La plupart d'entre elles ont une consistance gélatineuse voire gluante en raison des mucilages qu'elles sécrètent. [48]



Figure 05 : Peyssonnelia capensis (Algue bleu)

II.5. Ecologie des algues :

Les algues sont susceptibles de peupler les milieux les plus divers de la biosphère, tant marins que continentaux à cause de leur diversité et leurs exigences écologiques. Le rôle des algues est fondamental dans les milieux aquatiques où elles sont les principales responsables de la production primaire de toutes les chaînes alimentaires. Elles peuvent vivre dans des conditions peu compatibles avec la vie, certaines algues vivent sur des glaciers. Cependant, c'est le milieu aquatique qui abrite le plus grand nombre d'espèces. Douce ou salée, froide ou chaude, chaque collection d'eau possède sa flore algale. Dans le milieu marin, on distingue couramment deux grands domaines écologiques: le domaine pélagique et le domaine benthique.

Une espèce est pélagique quand elle vit en pleine eau. Ce domaine renferme des espèces qui se déplacent activement et des espèces entraînées plus ou moins passivement par les eaux. Elle est dite benthique si elle vit dans le fond.

II.6.Utilisation des algues :

Les algues que la mer prodigue à l'homme, parfois en grande abondance ne pouvaient manquer d'attirer son attention comme source de revenus exploitable, particulièrement dans les zones déshéritées ou dans celles qui par apport à leur population, sont insuffisamment pourvues en ressources naturelles. Aussi, depuis longtemps, ces végétaux jouent-ils un rôle important dans l'économie de certains pays, en particulier en Extrême-Orient. Mais depuis ces dernières années, ou, par suite de l'accroissement régulier de la population, l'humanité toute entière cherche à accroître ses ressources, les pays occidentaux eux-mêmes s'intéressent à cette production à laquelle la puissance de la chimie confère des possibilités chaque jour accrues et des applications souvent inattendues et innombrables.

A côté d'une utilisation des algues sous forme brute ou après une certaine préparation pour l'alimentation, ou après simple séchage pour servir d'engrais, une utilisation indirecte par extraction puis transformation de produits particuliers aux algues, alimentent actuellement des industries d'une réelle importance dans différents pays largement ouverts sur la mer.

Nous proposons de donner un aperçu de la diversité des applications auxquelles donnent lieu, dans le monde, la récolte et le traitement des algues. [49]

II.6.1.Utilisation des algues dans l'alimentation humaine :

Toutes les algues sont en principe comestibles, car elles ne renferment aucune substance vénéneuse; elles constituent la base de l'alimentation dans des pays comme la Chine, le Japon, les Philippines etc. Mais plus important, est sans nul doute, la part prise dans l'alimentation par des produits extraits des algues tels que les rhodophycées et les phéophycées qui fournissent des farines surtout des gelées de faible valeur nutritive mais utilisées dans de nombreux produits alimentaires.

Parmi les algues rouges, le *Gelidium* et les chondrus sont les principales sources d'agar (gélose) employé dans les entremets. Toute fois, sauf quelques exceptions d'algues relativement riches en protéines (28% du poids chez *Porphyra* par exemple), le pouvoir nutritif des algues consommées par l'homme tient surtout à la proportion élevée de glucides qu'elles

renferment (en général 40% à 60% du poids sec). Cependant, le véritable intérêt des algues dans ce domaine de la nutrition semblerait résider dans leur apport à l'organisme de sels minéraux et d'oligoéléments, comme le bore, le manganèse, le baryum, etc. Dans cet ordre d'idées, la quantité notable d'iode qu'elles contiennent est peut être la raison pour laquelle le goitre est une maladie extrêmement rare au Japon. A cette richesse vient s'ajouter des taux non négligeable de vitamines: exemple la vitamine A, B, D, E, G. [50]

II.6.2.Utilisation des algues dans l'élevage et l'agriculture :

L'élevage moderne introduit actuellement les algues dans le régime alimentaire des animaux, surtout sous forme de farines. Celles-ci, obtenues après simple séchage ou fermentation, proviennent surtout des algues brunes: Fucus, Laminaria, Sargassum, Alaria, Ascophyllum. Des expériences ont montré que la ration alimentaire des animaux de ferme pouvait comprendre jusqu'à 10% de farine d'algues, sans aucun risque. En effet, l'enrichissement en sels minéraux est bénéfique et peut conduire, selon certains auteurs, à une augmentation de la teneur en matière grasse du lait.

Les algues sont utilisées en agriculture comme fertilisant des champs sablonneux, accélérateur de croissance et comme protecteur de culture. L'utilisation de la poudre algale dans l'agriculture, par simple arrosage, a un effet positif sur le rendement des cultures. Ces engrais sont produits à partir d'algues brunes: Fucus, Laminaria, et surtout d'Ascophyllum. [51]

II.6.3.Utilisation des algues en médecine et le cosmétique :

Diverses algues sont utilisées dans l'industrie pharmaceutique sinon en cure de thalassothérapie. En effet des bains d'algues, fraîches ou lyophilisées sont prescrits dans le cas de rhumatismes ou de problèmes locomoteurs. En dehors de ces usages, les algues par l'intermédiaire des produits qui en sont extraits, rendent des services non négligeables dans la médecine moderne et dans le domaine pharmaceutique comme par exemple la confection des pilules et des pastilles à partir de l'algine et l'agar.

En raison de l'iode que renferment les Fucus et les Laminaires, ces algues entrent dans les remèdes contre le goitre. En dentisterie, l'agar et l'algine servent à faire des pâtes pour prendre l'empreinte des mâchoires lors de la confection d'appareils de prothèse. L'algine est aussi utilisée pour la préparation de crèmes et de pommade et pour des savons et de pâtes

dentifrices. [52]

II.6.4.Utilisation indirecte des algues :

Cette utilisation est l'extraction industrielle des différentes substances à partir des algues. De ce point de vue industriel, ce sont les Laminaires qui représentent la matière la plus importante, elles ont été utilisées pour l'extraction des substances dont les plus importantes sont des colloïdes comme l'acide alginique qui est le constituant majeur de la paroi cellulaire de certaines espèces algales et les alginates alcalins qui forment dans l'eau des solutions colloïdes. Ces substances sont recherchées pour leurs propriétés physiques et elles sont surtout utilisées comme agent gélifiant, épaississant et stabilisateur dans divers applications. Par exemple, le couchage de papier, les vernis, les colles, les dentifrices dans les glaces et enfin les produits cosmétiques... [53]

II.6.5.Epuration des eaux par les algues :

Les algues peuvent être utilisées dans la dépollution des eaux en particulier celles polluées par des métaux lourds selon certains ouvrages. [54]

III.7. Reproduction des algues :

Les algues constituent un groupe polyphylétique et occupent des milieux extrêmement divers. Elles présentent des cycles de vie très divers. L'étude des cycles de vie permet par exemple: De mieux comprendre leurs distributions et la dynamique de leurs populations D'élaborer des hypothèses sur l'évolution des cycles de vie, des stratégies de reproduction. De mieux maîtriser leur développement en culture [55]

III.7.1. Reproduction sexuée :

Dans de très nombreux cas, la reproduction des algues s'effectue par multiplication végétative. Il s'agit d'une multiplication sexuée qui consiste en la division d'une cellule isolée (cas des algues bleues), soit en une fragmentation de thalle aboutissant à la formation de plusieurs organismes identiques. Elle est souvent réalisée par la formation de cellules spécialisées: les spores. Les algues eucaryotes réalisent en plus une reproduction sexuée au cours de laquelle l'union de deux cellules reproductrices, ou gamètes, produit un œuf, ou zygote.

La reproduction des algues se déroule ainsi selon une alternance de phases de reproduction asexuée assurée par les thalles (sporophytes) et de phases de reproduction sexuée, assurée par des thalles producteurs de gamètes (gamétophytes) [56]

III.7.2. Reproduction asexuée :

Il est le plus fréquent chez l'algue. L'algue se reproduit sans l'intervention d'organes sexuels, ce qui fait que l'individu obtenu a des caractéristiques génétiques identiques à l'individu souche.

La reproduction asexuée se fait de trois Façons : par bouturage (par le bris d'une partie d'un thalle), par bourgeonnement, ou par apparition d'un massif de cellules sur le thalle, qui, après séparation de l'individu mère, donnera un nouvel Individu.

a) Fragmentation :

Le thalle se sépare en deux parties qui redonneront chacune un nouveau thalle Structures spécialisées.

b) Sporulation :

Des spores peuvent être formées dans les cellules végétatives ordinaires ou dans des appelées sporanges.

c) Scission binaire :

Division du noyau puis du cytoplasme La forme caractéristique du coénobe de Scène des musquadricauda provient de deux divisions successives par scission binaire. Les divisions suivantes provoquent la fragmentation de cette forme coloniale. Chez les cyanobactéries (Oscillatoire), des zones plus sensibles aux cassures sont présentes et favorisent ce mode de reproduction asexuée [57]

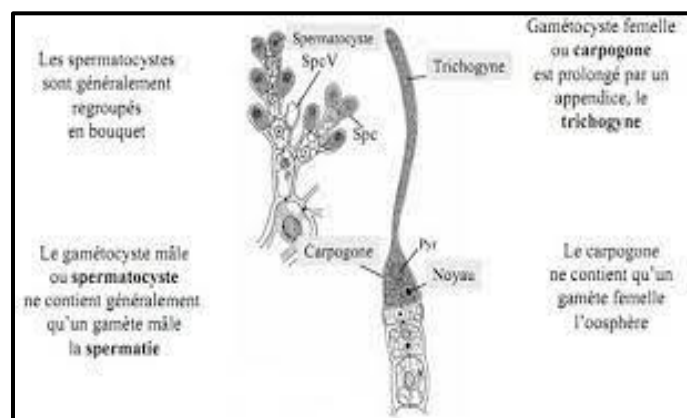


Figure 06 : Diversité des organes de reproductions chez les algues

III.8. Compositions des algues marines :

Les algues marines ont des propriétés pour adsorber des micropolluants dus à leur concentration en polysaccharides présentes dans leurs parois.

Les algues constituent des sources importantes de fibres (de 33 à 61 %) ayant des structures variées et originales, différentes des fibres des végétaux terrestres [57]

Les algues, d'une manière générale, se composent de 80% d'eau. Séchées elles n'en contiennent plus que 10 à 20% et se composent de 80 à 90% d'hydrate de carbone, protéine, minéraux, vitamine et très peu de graisse, soit environ 1 à 2%.

II.8.1. Les protéines :

Le contenu en protéines est variable (de 4 à 44% environ) selon les espèces, la saison et d'autres facteurs. On parle de variétés riches en protéines telles que certaines *Porphyra*, *Enteromorpha*, *Ulva* et *Spirulina* [58]

II.8.2. Les lipides :

La teneur en graisse des algues est très faible. Les acides gras insaturés sont les plus nombreux. Le principal acide gras est l'acide oléique [58]

II.8.3. Les glucides :

Les principaux sucres dans les algues sont le mannitol dans les *Fucophcées* et le sorbitol dans les *Rhodobiontes*. On trouve le mannitol sous forme de poudre blanche à la surface des espèces exemple chez *Laminaria*. C'est un stimulant hépatique, légèrement laxatif. Le sorbitol, sucre très doux, est utilisé dans les régimes et spécialement pour les diabétiques [58]

II.8.4. Minéraux et Oligo-éléments en abondance :

Argon, aluminium, chlore, iode, phosphore, plomb,...etc.

II.8.5. Vitamines :

On retrouve les vitamines : B1, B2, B3, B6, C, E, F, K, ainsi la vitamine B12 (dont les algues sont les seules végétaux à le contenir puisque c'est une vitamine d'origine animale)

II.8.6. Polysaccharides :

Ce sont des glucides du type amidon, cellulose [58]

II.9. Les facteurs influençant la répartition des algues :

Les algues, comme tout l'ensemble des organismes marins sont soumises à un ensemble de conditions propre au milieu marin et qui constituent leur environnement. [59]

II.9.1. La lumière :

Les algues étant des végétaux photosynthétiques, la lumière est indispensable à leur vie. Ce facteur complexe intervient de différentes manières : par sa quantité (intensité lumineuse), par sa qualité (nature des radiations présentes) et par la photopériode (durée relative des périodes d'éclairement et d'obscurité). [60]

II.9.2. La température :

La température moyenne de l'eau et peut-être encore, ses températures minimales et maximales, jouent un rôle certain dans la localisation géographique des algues. [61]

Elle exerce une action complexe sur les algues ; s'ajoutant à celle de la lumière, celle-ci influe sur tous les processus métaboliques et reproducteurs. C'est ainsi que les écarts annuels de température et la photopériode sont les facteurs primordiaux du développement de certaines espèces et de leur présence en un lieu donné. [60]

II.9.3. Substrat :

La majorité des algues pluricellulaires exigent en effet d'être fixées sur un support pour acquérir un développement normal et accomplir leur cycle de vie. [60]. N'ayant pas de système racinaire, elles ne tirent pas leurs éléments nutritifs de leur substrat mais directement du milieu liquide qui les baigne. [61]

II.9.4. Salinité :

Les modifications de la salinité peuvent s'effectuer soit dans le sens d'une dilution, soit dans le sens d'une surconcentration en sels. Tout comme la température, la variabilité de la salinité intervient sur tous les processus métaboliques et cette action se manifeste généralement dans le sens d'une perturbation menant à terme à une élimination des espèces. [60]

II.10. Identification de l'algue rouge collectée (*Corallina elongata*) :**II.10.1. Origine des Rhodophycées (Algues rouges) :**

L'origine de ce groupe a été une source de controverse. Il existe des arguments en faveur d'une origine très ancienne parmi les eucaryotes et d'un ancêtre commun avec les algues vertes. Les comparaisons moléculaires des chloroplastes des algues rouges et vertes confirment une origine symbiotique commune.

La comparaison de l'ADN nucléaire codant la grande sous unité de l'ARN polymérase II de deux algues rouges, d'une algue verte et d'un autre protiste confirme que les rhodophytes sont apparues avant la lignée évolutive conduisant aux plantes, aux animaux et aux champignons [61]

II.10.2. Ecologie :**II.10.2.1. Répartition et habitat :**

Comme toutes les algues (sauf les Cyanophycées), les algues rouges connues sous le nom de Rhodophycées ou Rhodobiontes sont des thallophytes eucaryotes, et forment un groupe très diversifié.

On connaît de 4000 à 6000 espèces réparties dans environ 680 genres avec plus de 564 espèces qui se trouvent sur les bords de mer à travers le monde.

Les Rhodophycées sont des algues calcifiées qui poussent dans les zones basses et moyennes littorales, sur les côtes rocheuses.

80% des algues rouges sont des algues marines macroscopiques avec une structure complexe, sauf pour les 3 genres de Porphyridiales unicellulaires (*Porphyridium*, *Rhodella*, *Rhodosorus*) qui sont planctoniques

Les rhodophycées sont extrêmement abondantes dans les eaux tropicales et chaudes). Dans les eaux tropicales, elles sont toujours de petites tailles, spécialement les algues qui sont épiphytées, par contre dans les eaux tempérées, elles se trouvent plus abondantes [62]

II.10.2.2. Répartition géographique en méditerranée :

Les Rhodophycées sont des espèces originaires de l'Atlantique boréal. Elles sont observées le long des côtes atlantiques européennes, depuis la Grande Bretagne, la France, l'Espagne, le Portugal, le détroit de Gibraltar jusqu'au Maroc ainsi qu'aux Açores,

aux îles Canaries et aux îles de Cap-Vert. Quant à la mer méditerranéenne, elles sont signalées au Maroc, en Corse, en Italie et en Algérie [63].

II.10.3. Classification :

Isolées des autres groupes d'algues car ne possédant pas de cellules flagellées, les Rhodophycées ou algues rouges forment un embranchement bien défini par un ensemble de caractères communs. En effet, les phycologues, sur des bases de phylogénie moléculaire, entre autres critères, s'accordent à considérer les algues rouges comme monophylétiques. Ainsi, les Rhodophycées se répartissent en deux classes, celle des floridophycideae comprenant 10 ordres et 23 familles, et celle des bangiophycideae subdivisée en 3 ordres et 6 familles. [63]

II.10.4. Aspect morphologique :

Les algues rouges possèdent diverses morphologies y compris leurs couleurs, peu d'espèces dépassent 15 cm. Il existe des groupes qui incluent des formes unicellulaires et d'autres sont filamenteuses. [63]

On trouve des axes épais ou fins, ronds ou aplatis, dichotomiques ou plumeux, mous, souples ou rigides, et même parfois articulés, des tubes creux, des croûtes épaisses ou fines, des frondes irrégulières plus ou moins découpées et parfois mucilagineuses, ou encore, des thalles à allure de «feuille avec limbe, nervures et pétiole» .

L'unité de base des algues rouges est un filament (axe) plus ou moins dressé et plus ou moins ramifié. C'est une structure uni axiale. Celle-ci se complique, lorsque plusieurs filaments se placent en parallèle, en une structure pluri axiale ou l'on peut voir des fibres de soutien (rhizines chez *Gelidium*) [64]

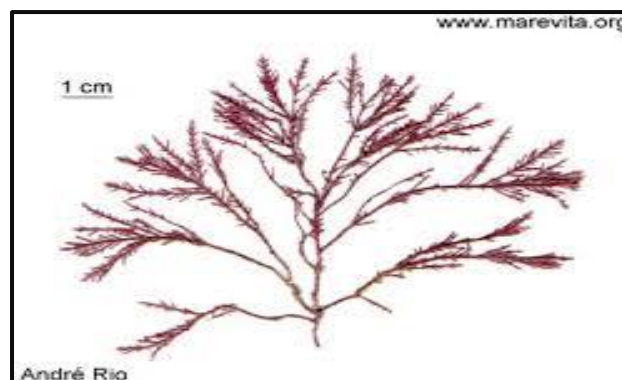


Figure 07 : Algue rouge

II.10.5. Les caractéristiques :

Le plaste des algues rouges est délimité par deux membranes et contient de la chlorophylle à, la phycocyanine et la phycoérythrine. Ces pigments photosynthétiques sont organisés dans le phycobilisome qui se situe sur la surface de la membrane des thylakoïdes non empilés .

Comme un produit de stockage, les algues rouges ne produisent pas de l'amidon proprement dit, mais un glucide de plus faible poids moléculaire, analogue au glycogène, appelé « amidon floridéen »

Cette lignée est dépourvue de flagelles, de centrioles, et de la chlorophylle b et c. [65]

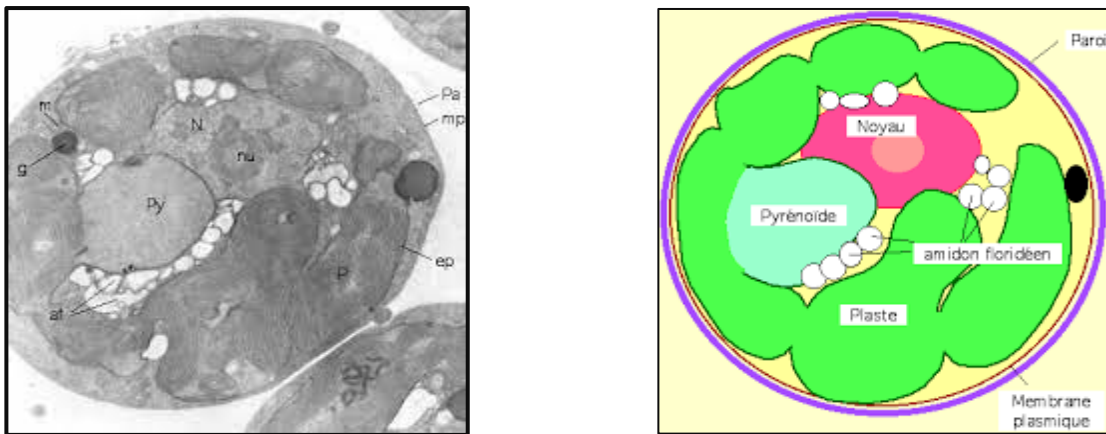


Figure 08 : Le chloroplaste d'une algue rouge (Rhodophycees)

II.10.6. Cycle de reproduction :

Les rhodophycées sont considérées comme les plus compliquées concernant leur cycle de vie et de reproduction. Un cas particulier chez ces algues elles possèdent des cellules de reproduction (spores) non flagellées.

Le cycle trigénique impliquant les trois générations multicellulaires est propre aux algues rouges et qui est résumé en trois phases :

1) Phase sexuelle : qui se compose par des mâles et femelles gamétophytes.

2) Phase asexuelle : les carposporophytes qui s'attachent aux femelles pour produire des carpospores.

3) Une autre phase asexuelle : les tétrasporophytes produisent des tétraspores le carposporophyte des algues rouges est considéré comme un moyen supplémentaire permettant de multiplier les combinaisons génétiques produites par la reproduction sexuée lorsque les taux de fécondation sont faibles. La capacité de produire de nombreux carposporophytes, le grand nombre de carpospores qui en proviennent et le nombre potentiellement énorme de tétraspores issues toutes d'un même zygote, ont permis aux algues rouges de surmonter le handicap imposé par l'absence de flagelles. Chez la plupart des algues rouges, le gamétophyte et le tétrasporophyte se ressemblent : on dit qu'ils sont isomorphes, comme chez les *Polysiphonia*, mais il existe également des structures hétéromorphes [66]

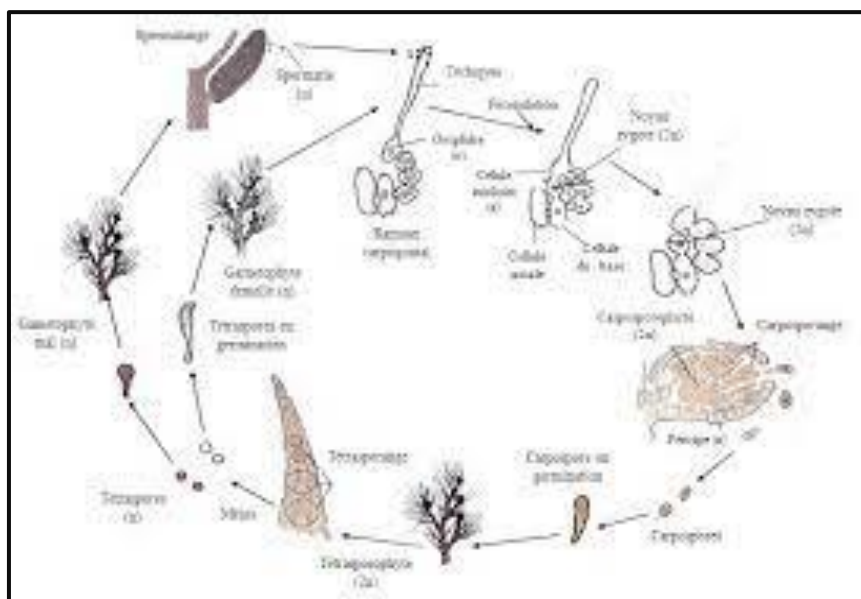


Figure 09 : Cycle de reproduction des rhodophycées (classe des Floridophyceae)

II.10.7. Caractéristiques biochimiques des macroalgues rouges :

La teneur en eau des algues rouges est très importante, jusqu'à 90 % (comme les fruits et les légumes). Leur composition moyenne révèle des teneurs en protéines variables, allant jusqu'à 47 % de leur poids sec selon les espèces considérées et la période de récolte

Leur teneur en glucides (digestibles ou non) est importante, jusqu'à 70 % du poids sec dans le cas de *Kappaphycus*

Leur teneur en lipides est faible (généralement de 1 à 3 % du poids sec) avec une haute concentration de certains acides gras polyinsaturés à longue chaîne comme les acides gras

oméga-3 et oméga-6, ce qui en fait des aliments peu caloriques et essentiels dans l'alimentation humaine

Les Rhodophytes contiennent également des vitamines B1, B2, B12 et E et peuvent donc être une source importante de vitamines et de minéraux comme le potassium, le calcium, le magnésium, le zinc ... (de 7,7 à 32,3 % de leur poids sec).

II.10.8. Valorisation des Rhodophytes :

Les algues marines constituent une ressource biologique importante et exploitée. Selon les statistiques de la FAO, plus de 20 millions de tonnes d'algues fraîches ont été produites par l'aquaculture dans le monde en 2010 (soit 96 % de la production totale) avec 75 % de cette biomasse à visée alimentaire

Vingt pourcent de l'exploitation générée annuellement proviennent des produits alimentaires destinés à la consommation humaine.

La partie restante est extraite, pour une large part, pour obtenir des substances comme les hydrocolloïdes (agars, carraghénanes) issus des macroalgues rouges, le reste provenant d'utilisations diverses et plus limitées : engrais, farines servant d'additifs dans l'alimentation animale, cosmétiques, agents antiviraux, colorants. [67]

II.11.1. Corallina elongata :

II.11.1. Caractéristique écologique des Corallinacées :

Parmi les Rhodophycées, les Corallinacées sont un groupe d'algues rouges calcaires représentant la majorité des espèces algales calcifiantes actuelles. Apparues au début du Crétacé, elles se sont ensuite progressivement développées jusqu'à atteindre un pic de diversité au cours du miocène. Elles sont considérées comme un élément clé des cycles du carbone et des carbonates depuis le Cénozoïque. [68]

Les Corallinacées présentent une hétérogénéité morpho-fonctionnelle sans valeur taxonomique caractérisée par deux groupes: les Corallinacées géciculées et non-géciculées. Les algues géciculées sont des algues articulées, branchues, dont les thalles sont composés de segments flexibles non calcifiés alternant avec des articles calcifiés complètement rigides. Les algues non géciculées sont des algues non articulées au thalle complètement rigide. Elles peuvent se développer sur des substrats durs comme algues calcaires encroûtées (ACE) ou exister sous forme libre sans substrat d'attache, ce sont les rhodolithes. Alors que les géciculées se disloquent en particules fines après leur mort et sont quasiment indétectables dans les archives géologiques, les corallines non géciculées.

S'intègrent presque dans leur intégralité sous forme de fossiles dans les couches géologiques. La très large répartition des Corallinacées ainsi que leur fonctionnement très homogène suggèrent un mode de vie très stable à travers les ères géologiques c'est-à-dire de faibles variations dans le type de milieu colonisé et le fonctionnement physiologique.

Les Corallinacées sont très abondantes et diversifiées dans tous les océans. Aucun autre groupe de macroalgues n'occupe une gamme d'habitats aussi variée .

Présentes des pôles jusqu'aux zones tropicales, elles se développent à toutes les profondeurs de la couche photique. Ce sont d'ailleurs souvent les dernières algues pluricellulaires rencontrées en profondeur.

Elles atteignent jusqu'à une centaine de mètres de profondeur dans les eaux très claires des milieux tropicaux avec un maximum relevé à 268 mètres [69]

Les Corallinacées ont des rôles biologiques et écologiques majeurs dans les milieux qu'elles colonisent (Nelson, 2009). Elles sont considérées comme espèces ingénieuses de certains écosystèmes (coralligène, bancs de maërl) et comme des producteurs majeurs de CaCO₃, en particulier dans les zones polaires et tempérées.

II.11.2. Présentation de l'espèce étudiée :

II.11.2.1. Description :

Corallina elongata (« corail » et « allongé ») est une petite algue rouge, dont le thalle est le plus souvent gris-violacé et blanchi par la lumière, dressé sur un disque basal comprimé de (4 à 5cm de haut) qui est fortement incrusté de calcaire, ramifié avec des formes et des couleurs variables. C'est une espèce pérennante, infralittorale, peuplant les rochers, les cuvettes d'eau éclairées, relativement photophile et plus nettement abondante dans les milieux calmes, semiagités dans l'étage infralittoral. Elle peut supporter un assèchement et forme à basse mer un revêtement continu sur le bord des cuvettes littorales. C'est une espèce vivace, fertile en été et qui vit plusieurs années. *Corallina elongata* est une algue très tolérante vis-à-vis de la pollution. [70]



Figure 10 : *Coralina elongata*

Cette algue rouge a un cycle trigénétique ou se succèdent trois générations. En effet, sa phase diploïde se déroule en deux périodes distinctes. Aucune différence morphologique ne semble exister entre le sporophyte et le gamétophyte. Les organes reproducteurs se développent dans des cavités closes appelées conceptacles, de formes piriformes ou arrondis, mais toujours terminaux.

II.11.2.2. Position systématique :

Embranchement: Rhodophytes

Classe: Rhodophycées

Sous-classe: Floridéophycées

Ordre: Corallinales

Famille: Corallinacées

Genre: Corallina

Espèce: elongata

II.11.3. Ecologie :

C'est une algue peuplant les rochers éclairés (espèce photophile), en eau calme ou semi agitée (mode calme) dans l'étage infralittoral supérieur en Méditerranée et en Atlantique. Elle est très tolérante vis à vis de la pollution, en effet on la rencontre souvent dans les milieux portuaires pollués: c'est une espèce opportuniste [71]

II.11.4. Distribution :

En Atlantique du nord-est, des îles britanniques à la Mauritanie, ainsi qu'en Méditerranée et en Mer Noire.

II.11.5. Intérêts :

Les corallines présentent une activité anti-inflammatoire. La coralline est une des algues récoltées traditionnellement sous le nom de « mousse de Corse » pour ses propriétés vermifuges. L'activité vermifuge a été décrite chez *Corallina officinalis* (fraction active acide kanaïque). Cette même espèce est utilisée comme biomatériau pour la chirurgie osseuse (hydroxy-apatite). Elle est également utilisée pour ses propriétés anticoagulantes, hypocholestérolémiantes et hypoglycémiantes [72]

Troisième chapitre

Adsorption

III.1. Définition :

L'adsorption est un phénomène physico-chimique se traduisant par une modification de concentration à l'interface entre un fluide et un solide. L'adsorption par un solide peut être définie comme étant le phénomène de concentration des molécules des solutés d'une phase liquide sur une surface solide (surface externe + surface interne des pores). Le solide est appelé adsorbant et le composé liquide qui subit l'adsorption est appelé adsorbat. [73]

II.2. Principe :

C'est un phénomène de fixation de molécules sur la surface d'un solide. Cette fixation provient de l'établissement de liaisons dite liaisons de van der Waals entre le solide et les molécules de la solution. L'efficacité se mesure en pourcentage de la masse de produit adsorbé par rapport à la masse de l'adsorbant, qui est en général en dessous des 30%. Il existe une certaine affinité de l'adsorbant vis-à-vis de l'adsorbat cette dernière est due à deux types de liaisons : physique ou chimique ; on parle alors de l'adsorption physique pour la différencier de l'adsorption chimique qui met en jeu des forces de plus grandes intensités (liaisons de type covalente), et qui modifie la structure moléculaire du soluté (contrairement à l'adsorption physique) ; ce qui rend en générale processus irréversible. [74]

II.3. Type d'adsorption :

Suivant la nature des liaisons entre le substrat et les particules adsorbées, les forces responsables du phénomène d'adsorption peuvent être de nature physique ou chimique, conduisant ainsi à deux types d'adsorption : l'adsorption physique "physisorption" et l'adsorption chimique "chimisorption".

III.3.1. Adsorption physique « La physisorption » :

Ce phénomène d'adsorption par les solides est dû à des forces d'interaction physiques entre les atomes constituant la couche superficielle du solide et les molécules de la phase liquide se trouvant au contact du solide.

Ces forces d'interaction font intervenir des forces de Van der Waals ainsi que des liaisons hydrogène. Elles existent quelle que soit la nature du solide et des molécules d'adsorbat. Il existe également des forces électrostatiques (coulombiennes) si le solide ou le l'adsorbat sont polaires par nature (attraction entre deux dipôles de deux molécules). Des forces dispersives,

de type London, peuvent intervenir en raison de la fluctuation rapide de la densité électronique dans chaque molécule. Dans ce cas, les énergies mises en jeu sont faibles et inférieures à 20kcal/mol ; l'adsorption est alors réversible. Les sites d'adsorption ne conduisent pas à une adsorption spécifique [75]

III.3.2. Adsorption chimique « la chimisorption » :

Dans ce cas, l'adsorption met en évidence des interactions de nature chimique entre les atomes superficiels du solide et les molécules d'adsorbat. Il s'agit d'un transfert de charges et d'une distribution de celles-ci entre l'espèce adsorbée et l'adsorbant. Ceci aboutit à la formation de liaisons fortes à caractère covalent ou ionique.

Dans ce cas, l'énergie est plus grande et la distance entre la surface et les molécules adsorbées est plus courte que dans le cas de la physisorption. L'adsorption chimique a lieu sur certains groupes fonctionnels ou sites particuliers à la surface du substrat. Les énergies mises en jeu sont généralement comprises entre 40 et 100 kcal/mol et l'adsorption est irréversible. Les majeures caractéristiques des deux types d'adsorption sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 02 : Caractéristiques d'adsorptions physique et chimique

caractéristiques Adsorption	Adsorption physique	Adsorption chimique
prise de saturation	Phénomène multicouche	Phénomène monocouches
Énergie d'activation	Aucune énergie d'activation	Peut-être impliquée
Température	Le rendement est plus appréciable pour une température plus basse que celle du point d'ébullition de l'adsorbant	L'adsorption a lieu même à une plus haute température.
Nature du support	Le rendement dépend de l'adsorbant plus que l'adsorbat	Dépend du support et de l'adsorbat (affinité spécifique).
Chaleur d'adsorption	De l'ordre de 40 Kcal/mole.	50-100 kcal/mole

III.4.La cinétique d'adsorption :

La cinétique de l'adsorption décrit la diminution de la concentration de l'adsorbat dans la solution en fonction du temps de contact. [76]

La connaissance de la cinétique de l'adsorption présente un intérêt pratique considérable dans la mise en œuvre optimale d'un adsorbant et dans la connaissance des facteurs à optimiser pour fabriquer ou améliorer un adsorbant conduisant à la cinétique la plus rapide possible. [78]

La vitesse d'adsorption d'un soluté à partir d'une solution dépend de nombreux facteurs, notamment la nature de l'adsorbant, l'adsorbat, ainsi que de la vitesse d'agitation du milieu. [79]

La littérature fournit plusieurs modèles qui permettent d'examiner le ou les mécanismes qui contrôlent le processus d'adsorption. Parmi ces modèles, on distingue le modèle de pseudo-premier ordre, le modèle de pseudo-second ordre et le modèle de diffusion intraparticulaire. [80]

III.5.Phénomène d'interface solide/liquide :

La seule manifestation mesurable lors de la formation d'une interface solide-liquide en dehors des phénomènes de mouillage et de non mouillage reste un phénomène thermique, appelé chaleur de mouillage, ou plus exactement, chaleur d'immersion. Cette chaleur provient de la disparition de la surface libre du solide, qui est exprimé en joule par gramme. [81]

III.6.Facteurs influençant l'adsorption :

La théorie de l'adsorption des liquides par les solides est nettement moins complète que celle de l'adsorption des gaz ou des vapeurs par les solides. Ce qui est dû sans doute à de nombreux facteurs qui rendent l'étude de tels phénomènes difficile à interpréter. Ces facteurs sont :

III.6.1.Concentration :

Pour les faibles concentrations dissoutes, on observe en général que le taux d'adsorption en fonction de la concentration de substances dissoutes suit la loi de Freundlich.

III.6.2.Vitesse d'adsorption :

L'adsorption physique en phase liquide est beaucoup moins rapide. La viscosité de la solution doit être un facteur agissant sur la vitesse d'adsorption et il est vraisemblable qu'en diminuant la viscosité par chauffage, on croit la vitesse. C'est une des raisons pour lesquelles on effectue à température élevée la décoloration de solution par les adsorbants solides.

III.6.3.Nature de l'adsorbant :

Etant donné que les substances à adsorber doivent se mouvoir dans un solvant plus ou moins visqueux, l'adsorbant travaillant en phase liquide, a en général des caractéristiques différentes de celles des adsorbants utilisés en phase gazeuse. Les adsorbants travaillant en milieu liquide agissent tout d'abord par leur surface externe. La polarité de la surface correspond à l'affinité avec l'eau ou l'alcool. Les adsorbants polaires sont appelés <hydrophiles>, d'autres part, les adsorbants non polaires sont en général dit < hydrophobes>

III.6.4.Nature de l'adsorbat :

Plus une substance est polaire, plus grande est son adsorption sur une surface polaire, de même, moins une substance est polaire, plus grande est son adsorption sur une surface non polaire. La réduction de la concentration de l'adsorbat sur la surface de l'adsorbant entraîne l'enlèvement d'une plus grande quantité d'adsorbat à partir de la solution. Les isothermes d'adsorption sont établies en fonction de la concentration à l'équilibre entre le liquide et le solide englobant les effets cumulés de l'adsorption à la surface totale du solide (externe et interne)

III.6.4.Effet du pH :

Le pH d'une solution a un effet sur le taux d'adsorption. La capacité d'adsorption augmente pour des valeurs de pH diminuant la solubilité de l'adsorbat. L'adsorption des acides organiques est plus favorable à bas pH alors que les bases le sont à pH élevé. Cependant, le pH optimal d'adsorption doit être déterminé expérimentalement.

III.7.Les isothermes d'adsorption :

L'adsorption dans un système solide – liquide résulte dans l'enlèvement des molécules du soluté à partir dans solutions et leurs concentrations à la surface du solide, jusqu'à ce que la concentration du soluté restant dans la solution soit en équilibre dynamique avec celle se

trouvant sur la surface. A cette position de l'équilibre, il y a une distribution définie du soluté entre les phases liquide et solide. La forme préférée pour dépeindre cette distribution est d'exprimer la quantité du soluté adsorbée par unité de masse d'adsorbant (q_e) comme fonction de la concentration à l'équilibre (C_{eq}) à température constante. Une expression de ce type est appelé : *isotherme d'adsorption*. En général, la quantité de soluté adsorbée par unité de masse d'adsorbant augmente avec l'augmentation de la concentration. La relation la plus commune entre (q_e) et (C_{eq}) pour des systèmes dans lesquels l'adsorption à partir des solutions est celle conduisant à la déposition d'une seule couche apparente de molécules de soluté sur la surface du solide. Occasionnellement, des couches multimoléculaires de soluté peuvent être observées. Donc, pour une description adéquate du phénomène, recours à quelques modèles d'adsorption est nécessaire ^[11]. Les modèles les plus utilisés sont ceux de Freundlich et de Langmuir.

III.7.1. Modèle de Freundlich :

Freundlich (1926) a développé une équation empirique pour décrire le processus d'adsorption. Son raisonnement était basé sur l'hypothèse que l'adsorbant possède une surface hétérogène composée de classes de sites d'adsorption différents, chaque classe de site d'adsorption suivant l'isotherme de Langmuir. Ce modèle est très utilisé dans le traitement des eaux de rejet. C'est un modèle à deux paramètres qui relie la concentration de la phase sorbée (q_e) à une concentration à l'équilibre de l'adsorbât (C_{eq}).

$$Q_e = K_f C_{eq}^{1/n}$$

L'équation de Freundlich est basiquement empirique mais souvent utile pour la description des données. La forme logarithmique est :

$$\text{Log } q_e = \text{Log } K_f + 1/n \text{ Log } C_{eq}$$

Le tracé de $\log q_e$ en fonction de $\log C_{eq}$ donne une droite d'ordonnée à l'origine la constante $\log K_f$ qui est un indicateur de la capacité d'adsorption et est égale à la valeur de q_e lorsque la concentration à l'équilibre est égale à 1 ($\log C_{eq} = 0$), et de pente $1/n$ représentant l'intensité de l'adsorption avec $n > 1$.

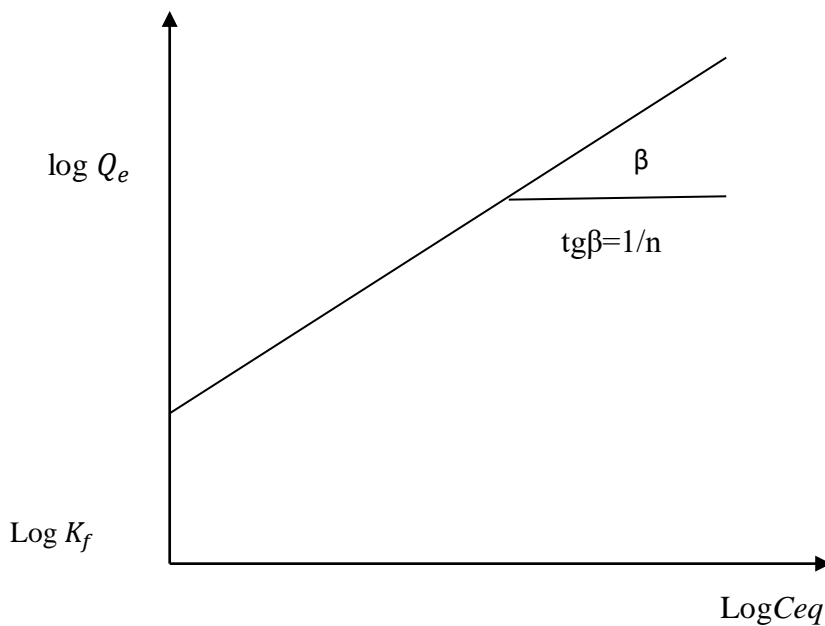


Figure 11 : Représentation graphique de l'équation de Freundlich.

$$Q_e = \frac{x}{m} = k C_{eq}^{1/n}$$

Avec :

x et m : sont les masses des substances adsorbées et adsorbantes.

k : la constante de l'isotherme à une température T .

n : une valeur empirique >1 propre au système à étudier.

Le modèle de Freundlich implique que la distribution d'énergie pour les sites d'adsorption est exponentielle. Les vitesses d'adsorption et de désorption varient avec l'énergie d'adsorption des sites et plusieurs couches sont possibles. Ce modèle ne suppose pas que lorsque la concentration augmente le recouvrement de surface approche une valeur limite correspondant à une monocouche complète. [82]

III.7.2. Modèle de Langmuir :

L'isotherme de Langmuir (1918) est basé sur l'hypothèse suivante : des sites d'adsorption existent sur la surface de l'adsorbant et que chacun de ces sites est capable d'adsorber une molécule ; donc, la couche adsorbée sera mono moléculaire. En outre,

il est supposé que tous les sites d'adsorption ont la même affinité pour les molécules d'adsorbant et la présence de molécules adsorbées sur un site n'affectera pas l'adsorption d'autres molécules sur le site adjacent. Ce modèle repose sur les hypothèses suivantes:

On admet que seule une couche mono moléculaire se forme sur la surface du solide adsorbant. L'adsorption s'effectue sur des sites bien définis uniformément distribués sur la surface du solide. Au point de vue de la thermodynamique tous les sites sont équivalents et il n'y a pas d'interaction entre les particules adsorbées [83]

Cette isotherme peut être exprimée selon Langmuir par l'équation suivante :

$$Q_e = \frac{KB C_{eq}}{1 + KC_{eq}}$$

La linéarisation de cette équation donnera:

$$\frac{C_{eq}}{Q_e} = \frac{1}{Kb} + \frac{C_{eq}}{b}$$

C_{eq} : Concentration à l'équilibre en mg/l.

q_e : Quantité de substance adsorbée par une unité de masse d'adsorbant en mg/g.

K : Constante.

b : Capacité maximale d'adsorption en mg/g.

Le tracé de C_{eq}/q_e en fonction de C_{eq} donne une droite d'ordonnée à l'origine $1/Kb$ et de pente $1/b$

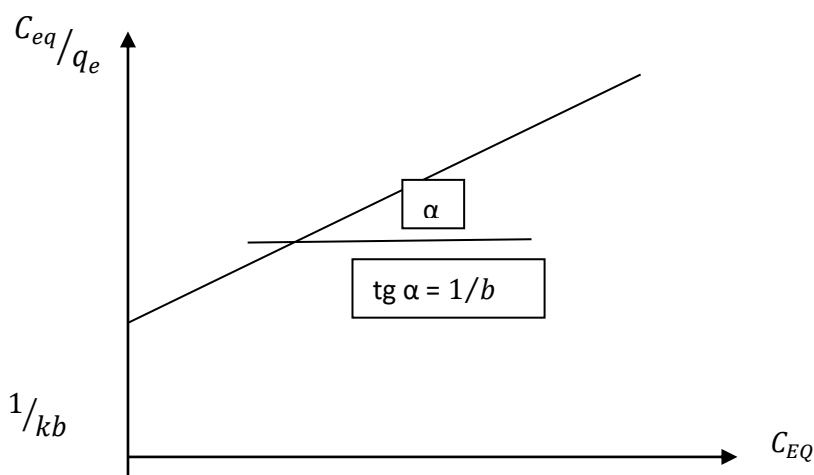


Figure 12: Représentation graphique de l'équation de Langmuir

III.8.Utilisation de l'adsorption :

Les principales utilisations de l'adsorption sont:

- Séparations gazeuses: Cette opération permet la des humidifications de l'air ou d'autres gaz, L'élimination d'odeurs ou d'impuretés sur des gaz, la récupération des solvants et le fractionnement des hydrocarbures volatils.
- Séparations liquides: Cette opération conduit a l'élimination des traces d'humidité dans les essences, le fractionnement des mélanges d'hydrocarbures, la décoloration des produits Pétroliers et des solutions aqueuses de sucre.
- Traitement des eaux issues des différentes industries (agroalimentaires, textiles, ...etc.) [84]

III.9.Importance de l'adsorption :

Ce phénomène a une très grande importance dans l'évolution de nombreuses réactions chimiques. Il est utilisé pour piéger les molécules indésirables existant dans un fluide (gaz ou liquide) ou encore pour récupérer les éléments précieux tel l'or soluble dans un liquide.

Les phénomènes d'adsorption sont présents en catalyse, en électrochimie et en beaucoup d'autres sciences. L'adsorption joue un rôle très important dans les phénomènes d'adhésion entre surfaces solides.

Elle intervient inévitablement dans le mécanisme de la croissance cristalline [85]

Quatrième chapitre

Matériels et Méthodes

IV.1. Choix du site d'observation :

IV.1.1. Le littoral de Mostaganem :

Mostaganem est une ville portuaire de la Méditerranée, située à l'ouest de sa Wilaya, à 363 Km à l'ouest d'Alger, à 89 Km à l'est Oran, à 48 Km d'Arzew et à 81 Km au Nord de Mascara. (ONS ,2008). Mostaganem est située à 104 mètre d'altitude sur le rebord d'un plateau côtier. La ville contemple à l'ouest la large baie d'Arzew que termine le djebel Orousse. Le climat de Mostaganem se caractérise quasi quotidiennement par des brises de mer et de terre.

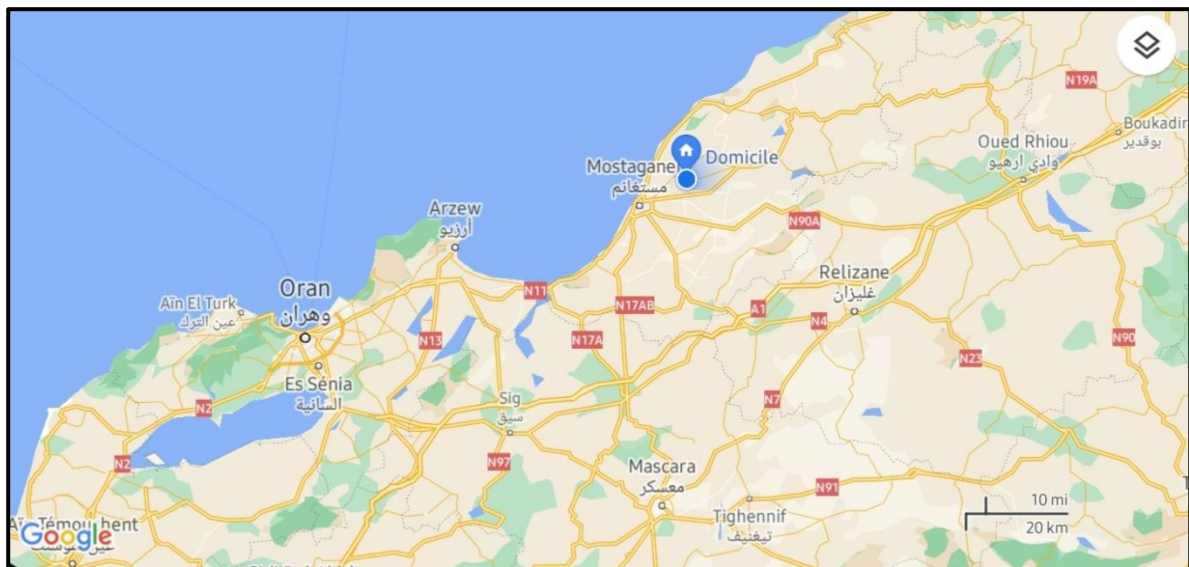


Figure 13 : Situation géographique de la Wilaya de Mostaganem dans la Mer Méditerranée montrant le Site Etudié

IV.1.2.Plage d'ouilis :

Se situe le long du littoral méditerranéen, au Nord Ouest du territoire National, à l'Est de la Ville de Mostaganem. Localisée dans la Wilaya son périmètre se situe sur le territoire de la commune de Ben Abdelmalek Ramdane, dans la Daïra de Sidi lakhedar. Elle se trouve à 37 kilomètres au Nord/ Est du Chef lieu de la Wilaya Mostaganem et à environ 115 Km de l'aéroport d'ORAN. Elle est accessible par la RN 11 qui relie Alger à Oran. Elle a une largeur moyenne de 600 mètres, et se trouve dans la bande côtière. La desserte routière s'effectue par une voie d'accès depuis la RN 11, actuellement, cette voie carrossable, goudronnée sur 5,5 km ne présente aucun bouclage, elle permet de rejoindre le secteur de bungalows à l'ouest de

Kef bou Ghetar, et se poursuit vers l'Est jusqu'à l'Hôtel après la traversée de l'Oued Ouillis.
[86]



Figure 14 : Situation géographique de la plage de Ouilis dans la Mer Méditerranée (**Google Earth**).

IV.2. Collecte des échantillons et conservation :

L'algue rouge *Corallina elongata* a été collectée au niveau de la plage d'Ouilis durant les deux mois (février_ mars 2021). De la profondeur de 5 m de la côte de la région d'Ouilis Wilaya de Mostaganem.

Elle a été d'abord lavée à l'eau de mer, puis transportée directement au laboratoire dans des sacs en plastique.



Figure15 : Algue rouge *Corallina Elongatae*

IV.3.Préparation de l'adsorbant :

IV.3.1.Rinçage :

Une fois notre échantillon été transporté au laboratoire , l'algue rouge a été trié manuellement afin d'éliminer toutes source de contamination (épiphyse , larves , crustacées , sable), puis lavé plusieurs fois avec l'eau de robinet et en suite l'eau distillé a plusieurs reprises afin d'éliminer l'excès de sel , les grains d sable et autres particules .



Figure 16 : Lavage de la matière végétale

IV.3.2.Séchage :

Après le rinçage, l'algue rouge *coralina elongatae* a été séché a l'air libre pendant 48h puis mettre dans l'étuve pendant 24h a une température de 37°C.



Figure 17 : Séchage a l'air libre

Figure 18 : Après le séchage dans l'étuve

IV.3.3. Broyage et tamisage :

Les algues ont été séchées dans une étuve durant 24 heures à 37°C avec une perte de poids environ de 10% et broyées dans un broyeur à boulets de type Croschop Viersen à 90 tours par minute et cela pendant un temps suffisant pour arriver à réduire les dimensions de grains. Les particules dont le diamètre se situe entre l'intervalle de 0,035 et 0,071mm sont sélectionnées par tamisage du fait qu'il présente un taux d'adsorption élevé par rapport à d'autres dimensions supérieures.



Figure 19 : broyage de la matière végétale



Figure20 : tamisage de la matière végétale

IV.3.4.filtration et rinçage de la matière végétale broyé :

On prend la matière broyé et on fait la filtration avec l'eau distillé, ensuite les algues ont été séché dans une étuve durant 48heures puis broyé dans un mortier après ont passé par un tamisage .



Figure 21 : filtration et rinçage de la matière broyé.



Figure 22 : Broyage de la matière végétale.

IV.4.Caractérisation des absorbants :

Une étude du matériau est indispensable pour caractériser le biosorbant issu des tests d'algue rouge, pour cela nous allons estimer différents indices tel que l'iode, l'indice de Bleu de Méthylène. Cette caractérisation sera renforcée par l'étude spectrophotométrique à infra rouge qui dévoile les groupements fonctionnels situés à la surface de notre matériau étudié.

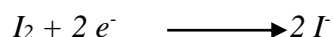
IV.4.1.Indice d'iode :

IV.4.1.1.1.Définition :

L'indice d'iode fournit une indication sur la micro porosité du charbon. C'est le nombre de milligrammes d'iode adsorbé par gramme d'adsorbant à une concentration résiduelle de 0,02N. [87]

IV.4.1.1.2. Méthode iodométrique :

L'iodométrie concerne la réaction avec une solution titrée d'iode. Elle est reliée au titrage de l'iode libéré dans les réactions chimiques :



L'analyse par iodométrie est basée sur les phénomènes d'oxydoréduction, si l'on ajoute de l'iode libre à une solution de thiosulfate de sodium (réducteur), il se produit la réaction suivante :



IV.4.1.1.3. Préparation des solutions :

Pour préparer une solution d'iode de concentration 0,1 N. On pèse 30 g d'iodure de potassium cristallisé et on les dissout dans la quantité d'eau la plus faible possible. Après, on pèse 12,69 g d'iode sublimé et on le rajoute à l'iodure de potassium se trouvant dans la fiole jaugée, ensuite on agite, la fiole étant fermée, jusqu'à ce que l'iode se dissolve, on complète alors avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (1 L). Enfin, on laisse la solution à l'abri de la lumière.

Pour préparer une solution de thiosulfate de sodium $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$, de concentration 0,1 N, on introduit 24,82 g de ce sel dans une fiole jaugée d'un litre. On ajoute un peu d'eau distillée jusqu'à ce que le thiosulfate se dissolve, puis on complète

jusqu'au trait de jauge.

IV.4.1.1.4. Détermination de l'indice d'iode :

Pour déterminer l'indice d'iode de chaque charbon actif, il faut :

1. Une solution d'acide chlorhydrique de concentration 5% (v / v).
2. Une solution d'iode 0,1 N.
3. Une solution de thiosulfate de sodium de concentration 0,1 N.

Peser 1g de l'échantillon qui a été séché auparavant à 150°C dans l'étuve pendant 3 heures, le transposer dans un flacon, ajouter 10 cm³ de HCl et remuer doucement jusqu'à ce que l'échantillon soit complètement mouillé, porter à ébullition pendant 30 secondes, laisser refroidir à température ambiante, transposer 100 cm³ de la solution d'iode dans le flacon, le boucher immédiatement et agiter rigoureusement pendant 30 secondes, filtrer, ensuite écarter les 20 à 30 cm³ du filtrat et récupérer le reste dans un bécher. Pipeter 50 cm³ du filtrat dans un erlenmeyer propre de 250 cm³, titrer avec Na₂S₂O₃ jusqu'à ce que la solution devienne jaune pâle, ajouter 2 cm³ d'amidon ou de thiodène fraîchement préparé et titrer goutte à goutte jusqu'à ce que la solution devienne transparente, noter le volume V' et finalement calculer la molarité du filtrat R à partir de l'équation suivante :

$$R = (0,001 \cdot V')/2$$

Calculer le facteur de correction (D) qui est donné par la relation suivante :

$$D = \left(\frac{0,01}{R} \right)^{0,165}$$

Calculer l'indice d'iode par la relation suivante :

$$\text{indice d'iode (mg / g)} = \frac{[1269,1 - (V' \times 27,92)] \times D}{m}$$



Figure 23 : Détermination de l'indice d'iode

IV.4.2. Indice de bleu de méthylène :

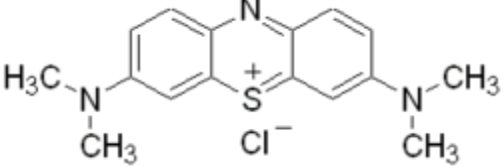
IV.4.2.1. Définition :

L'indice du bleu de méthylène est le nombre de milligrammes du bleu de méthylène adsorbé par un gramme de charbon actif lorsque la concentration à l'équilibre du bleu de méthylène est égale à 1 mg/L (Ecologie Environmental Systems LLC 120). L'indice du bleu de méthylène donne une idée sur la surface disponible pour les adsorbants micro et mésoporeux.

La surface occupée par une molécule du bleu de méthylène est 130.

Les valeurs de l'indice d'iode du Bleu de Méthylène pouvant aller jusqu'à 260mg/g [88]

Le tableau 3 : résume les caractéristiques physico-chimiques de ce colorant.

Nom usuel	Bleu de méthylène ou chlorure de méthylthioninium
Structure	
Formule moléculaire	C ₁₆ H ₁₈ N ₃ ClS
Masse molaire (g/mol)	319.85
Solubilité dans l'eau (g/l) à 20°C	40
Point de fusion (°C)	180
pH	5.9

IV.4.3. Analyse FTIR :

IV.4.3.1. La spectrométrie infrarouge :

La découverte de la région du proche infrarouge peut être attribuée à William Herschel pour son travail présenté en avril 1800 « Experimentes on the Refrangibility of the invisible Rays of the sun »

En plaçant le thermomètre avant et après les limites du spectre visible, il observa une élévation de température dans la zone proche du rouge, il mesura par la suite l'absorption de cette radiation par différentes substances eau de mer, eau distillée et d'autres solutions.

IV.4.3.2. Principe de l'analyse infrarouge :

La spectrométrie infrarouge est une méthode d'analyse destructive, basée sur l'étude de l'absorption par l'échantillon des radiations électromagnétiques de longueurs d'ondes λ comprises entre 1 et 1000 μm , soit un nombre d'ondes $\nu = \frac{1}{\lambda}$ compris entre 1 et 10^3 m^{-1} .

La partie la plus riche en informations et la plus accessible du point de vue expérimental est celle du moyen infrarouge (λ comprise entre 2.5 et 25 μm soit ν compris

entre 0.04 et 0.4 cm^{-1}). Les absorptions dans ce domaine forment une sorte d'empreinte spectrale des composés caractéristiques des liaisons inter atomiques qui le composent.

IV.4.3.3. Origine de l'absorption lumineuse dans l'infrarouge :

Dans le proche et le moyen infra rouge, l'absorption de la lumière a pour origine l'interaction entre les radiations de la source lumineuse et les liaisons chimiques.

L'absorption de rayonnement dans ce domaine provoque les vibrations et les rotations moléculaires. Ces vibrations sont essentiellement localisées dans les groupements fonctionnels mais n'atteignent pas le reste de la molécule ; de tels groupements fonctionnels peuvent ainsi être identifiés par leur bande d'absorption [89]

IV.4.4. pH de Point de Charge Zéro (pH_{pcz}) :

Le pH_{pcz} est défini comme étant le pH pour lequel il y a absence de charge positive ou négative à la surface du charbon actif. L'adsorption de soluté sur une surface solide dépend fortement du pH de la solution ainsi que du pH_{pcz} de la surface de l'adsorbant utilisé.

IV.4.4.1. Protocole expérimentale :

Un volume de 25 mL d'une solution de NiCl (0.01M) est placé dans des béchers, le pH est ajusté de 3.3 à 10.1 en ajoutant HCl ou NaOH concentré ; une masse de 0.1g d'algue rouge (état brute) est ensuite ajoutée aux solutions de nickel de différents pH.

Après 48 heures d'agitation le pH final est mesuré. On trace le pH final en fonction du pH initial. Le pH qui correspond au point d'intersection avec la ligne $\text{pH}(\text{final}) = \text{pH}(\text{initial})$ est le pH_{pcz} d'algue.

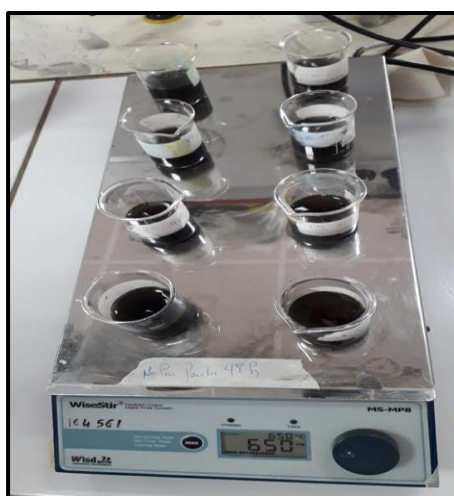


Figure 24 : pH_{pcz}

IV.4.5. Dosage par spectrophotométrie :

La spectrophotométrie UV/Visible est basée sur l'interaction des radiations lumineuses et de la matière dans le domaine du proche ultraviolet (UV) au très proche infrarouge (IR), soit entre 180 et 1100 nm. Cette partie du spectre apporte peu d'informations structurales, mais a beaucoup d'importance en analyse quantitative. Les calculs d'absorbance des composés dans le proche UV et le visible par application de la loi de Beer-Lambert.

L'absorptiomètre a pris une importance plus grande que la volumétrie, c'est aujourd'hui la méthode d'analyse la plus importante. Ses principaux avantages sont les suivants :

- Elle est d'un emploi très général. Si le corps à doser est peu absorbant on lui ajoute un réactif convenable afin qu'il lui donne un composé absorbant.
- C'est le plus souvent la méthode de choix pour le dosage des traces.
- Elle peut être extrêmement rapide par suite de son utilisation pour des mesures directes sans addition de solution titrée et de la facilité de la mesure.

Nous avons utilisé dans notre étude un spectrophotomètre, un spectrophotomètre type *Optizen 2120 UV* permettant de mesurer directement les absorbances en fonction de la longueur d'onde. Le domaine de linéarité pour absorbance varie entre 0 et 1,2. La cuve utilisée est une cuve en quartz de 1 cm de longueur.

Cinquième chapitre
Synthèse Bibliographique
Expérimental

Dans ce chapitre nous allons valoriser l'algue rouge choisie tant qu'adsorbant vis-à-vis d'un adsorbat qui est le Nickel qui fait partie des métaux lourds et qui peut être considéré comme un polluant.

V.1. La courbe d'étalonnage de bleu du méthylène :

La méthode à suivre consiste à préparer la solution mère de concentration 1000mg/l, à partir d'un gramme du bleu de méthylène dans un fiole de 1L. Et à partir de cette solution mère on prépare six solutions de filles de concentrations (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 mg/l).



Figure 25: Solution de bleu de méthylène

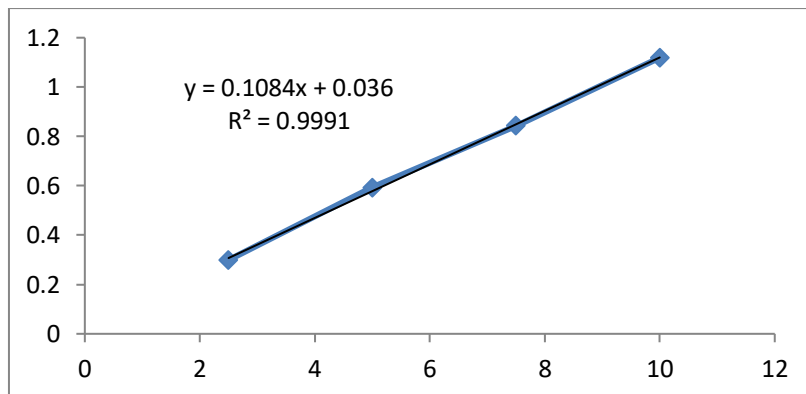


Figure 26 : représentation graphique de bleu de méthylène qui caractérise le matériau étudié.

V. Caractérisation de l'algue rouge (*coralina elongata*) étudiée.

Cette partie traite le domaine de la caractérisation structurale de la surface de l'algue rouge étudiée selon l'étude de certains paramètres tel que l'indice d'Iode et l'Indice de bleu de Méthylène ainsi qu'une étude par Infra Rouge

V.1. Indice d'iode et In dice de Bleu de Méthylène

L'indice d'iode et l'indice de Bleu de Méthylène sont des paramètres très important dans la caractérisation du matériau étudié. Ils décrivent la présence ou non des micropores et des mésopores dans tout matériau étudié.

Tableau 04 : Valeurs des différents indices d'iode et de bleu de méthylène pour l'adsorbant issu de l'algue rouge :

Absorbants	Indice _(Iode) (mg/g)	Indice (Bleu de méthylène) (mg/g)
L'algue rouge à l'Etat naturel	849,08175	157,118056

Discussion :

D'après les résultats si dessus nous constatons que l'algue rouge à l'état naturelle étudiée présente une microporosité et une mésoporosité très intéressante mais plus mesoporeux que microporeux. Nous supposons que cette porosité permet la biosorption du Nickel²⁺.

V.2. Etude par infra rouge :

Cette analyse s'effectue sur des pastilles de obtenues en mélangeant le matériau étudié au KBr. Le spectre infrarouge de l'algue rouge à l'état naturelle est reporté sur la figure suivante :

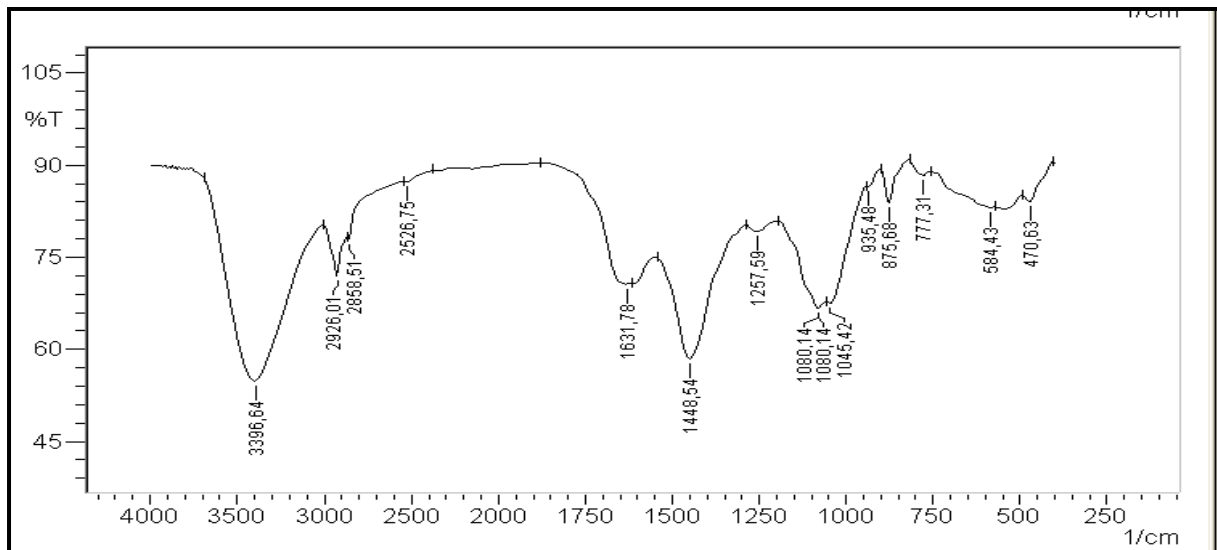


Figure 27: Spectre à infra rouge du biosorbant issu de l'algue rouge *coralina elongata* analysé.

Cette étude par spectrophotomètre à IFR rouge a permis d'analyser la surface de ce matériau qui est riche en groupements fonctionnels et qui s'avèrent très réactionnels vis-à-vis de la substance étudiée, vue la présence de doubles liaisons qui favorise l'adsorption.

Le spectre IRTF de l'algue a l'état naturel comporte les bandes suivantes :

- Une bande large d'intensité moyenne dans la région de 3450 à 3200 cm^{-1} , attribuée aux vibrations élongation de la liaison N-H doublet de l'amine aromatique.
- Deux bandes de faible intensité à 2926 et 2858 cm^{-1} , attribuées aux vibrations d'élongation symétrique et asymétrique du groupe méthyle d'un alcane.
- Deux bandes de faible à moyenne intensité respectivement à 1631 cm^{-1} et 1448 cm^{-1} qui sont attribuée aux vibrations d'élongation de la liaison C=C d'un cycle aromatique.
- Les bandes autour de 1080 cm^{-1} sont associée aux vibrations d'élongation C-C des alcanes d'un squelette carboné, tertio-butyle.

V.3.Détermination du pH au point de charge nulle :

L'adsorption de soluté sur une surface solide dépend fortement du pH de la solution ainsi que du pH_{PCZ} de la surface de l'adsorbant utilisé. L'adsorption varie selon le pH_{PCZ} . Dans les solutions basiques, la plus haute valeur de pH_{PCZ} correspond une vitesse d'adsorption plus élevée, et dans des solutions acides le pH_{PCZ} inférieur correspond aussi une vitesse

d'adsorption plus grande. Les résultats obtenus sont représentés graphiquement sur la figure suivant:

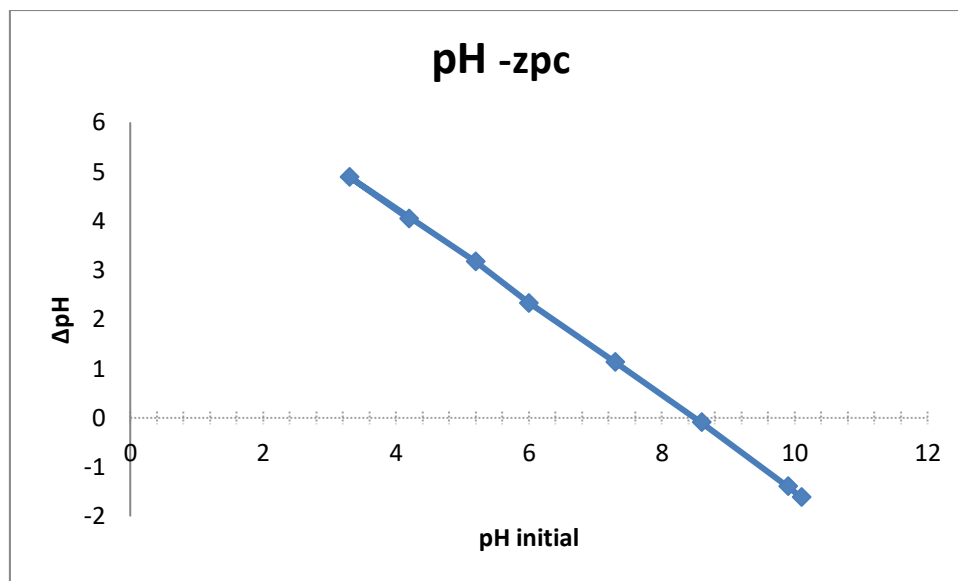


Figure 30 : Représentation graphique de pH_{pcz}

Discussion : Cette valeur indique que des valeurs de pH inférieures à environ 8,2 les groupes de surface de l'adsorbant seront protonés, c'est à dire, chargés positivement. A pH =8,2, la charge nette de la surface de l'adsorbant sera égale à zéro. Enfin, à un pH supérieur à 8,2, les groupes de surface seront déprotonés dans une large mesure et, par conséquent, la surface d'exposition sera de charge négative. Ainsi, à valeurs de pH dans le voisinage de la neutralité des adsorbants aura tendance à absorber de préférence des cations, en raison de l'effet coopératif de la nette charge de surface, il y a une attraction donc une augmentation de la capacité d'adsorption en résulte.

V.5.Application :

V.5.1. Substance inorganique étudiée : Le Nickel

V.5.2. Préparation des solutions :

Les solutions aqueuses du polluant (Ni^{2+}) de concentration connue a été préparée par dissolution des quantités exactes par pesée dans l'eau distillée. Le $NiCl_2 \cdot 6H_2O$, (sel de *Mohr*) ont été utilisés pour préparer les ions métalliques.

V.5.2.1. Courbe d'étalonnage du Nickel:

Pour établir la courbe d'étalonnage du nickel (II), nous avons tout d'abord préparé par dilutions successives une série de solutions étalons de concentration connue à partir d'un sel de nickel, Dans une série de fioles de 25 ml, nous avons introduit les réactifs suivants en agitant après chaque addition : 3 mL d'acide chlorhydrique (0,5 M) ; 2 mL de solution de diméthylglyoxime (2,5 %) ; 1 mL de solution de NaOH (10 M) ; 0,3 mL de solution de persulfate d'ammonium (10 %). Ces volumes connus de solution étalon de nickel (II), sont laissés au repos pendant dix minutes puis ajustés à 25 mL avec de l'eau distillée. Les mesures spectrophotométriques ont été faites à une longueur d'onde $\lambda = 465 \text{ nm}$

Tableau 05 : Valeurs obtenues pour l'établissement de la courbe d'étalonnage du Nickel

Echantillon	1	1	2	3	4	5	6	7
C₀ (mg/L)	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.181	0,227	0,327	0,351	0,407	0,434	0,579	0,49

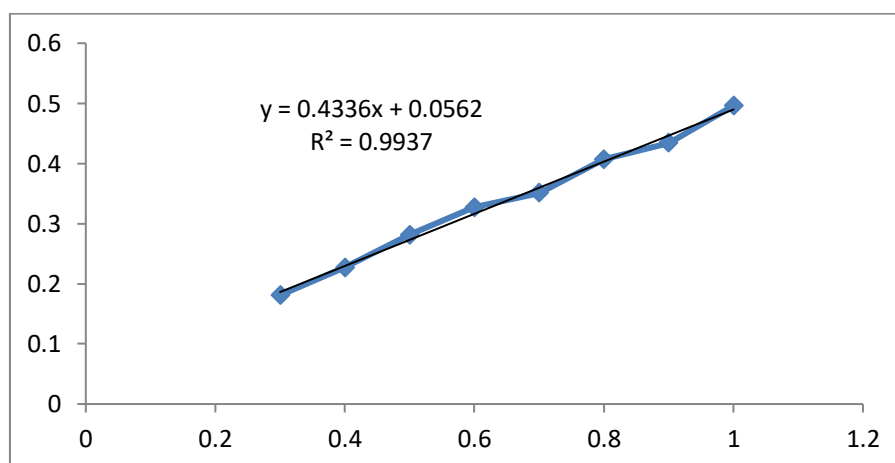


Figure 31 : Courbe d'étalonnage du Nickel

Discussion :

La régression linéaire a donné $A = 0,344 * C$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,993$ ce qui représente un très bon ajustement linéaire. Cette équation est utilisée pour calculer les concentrations inconnues.

V.5.2.2. Adsorption du Nickel par le matériau à base d'Algue rouge *Coralina elongata* :

V.5.2.2.1. Détermination du temps d'équilibre du Nickel :

► Mode opératoire :

Afin d'étudier le temps de contact pour atteindre l'équilibre d'adsorption du Nickel, nous avons préparé deux solutions arbitraires de concentrations 14 mg/L et 16 mg/L et suivi la procédure suivante :

Dans une série de béchers, on a introduit successivement 0.6g de matériau et 25 mL de la solution du Nickel de la concentration préparée.

L'ensemble est agité à des temps d'agitation de 0.5 ; 1 ; 2 ; 3 ; 4 heures, puis filtré et analysé.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 08 et 09 et représentés graphiquement sur la figure 33.

Tableau 08 : Etude du temps d'équilibre de l'adsorption du Nickel par le biosorbant ($C_0 = 14 \text{ mg/L}$).

Echantillons	1	2	3	4	5
Temps (min)	30	60	120	180	240
Abs	0.1	0,13	0,179	0,22	0,284
Céq (mg/L)	0.230	0.300	0.413	0.508	0.655
x/m (mg/g)	0.206	0.205	0.203	0.202	0.200
Taux d'élimination	98.350	97.855	97.047	96.370	95.315

Tableau 09 : Etude du temps d'équilibre de l'adsorption du Nickel par le biosorbant (Co =16mg/L).

Echantillons	1	2	3	4	5
Temps (min)	30	60	120	180	240
Abs	0.111	0.191	0.212	0.299	0.315
Céq (mg/L)	0.256	0.441	0.489	0.690	0.727
x/m (mg/g)	0.236	0.233	0.232	0.229	0.229
Taux d'élimination	98.39	97.24	96.93	95.68	95.45

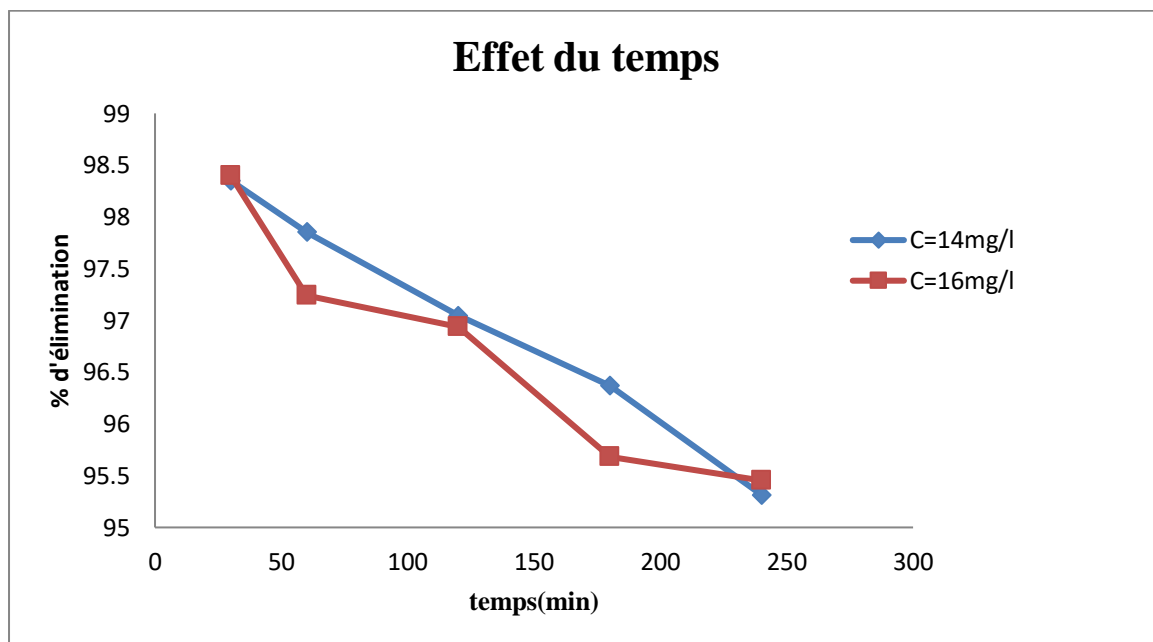


Figure 33 : Taux d'élimination du Nickel en fonction du temps par le matériau à base d'algue Rouge

Discussion :

On constate d'après ces résultats que le taux d'élimination diminue avec le temps jusqu'à un palier d'équilibre, donc le temps d'équilibre de l'algue rouge à l'état naturel est de 30 minute, on en conclut que ce dernier est atteint rapidement.

V.5.2.2.2. Etude de l'effet de la dose de l'adsorbant pour l'adsorption du Nickel :

► Mode opératoire :

On introduit dans une série de béchers 25 mL de la solution de Nickel de concentration 14mg/L et différentes masses de l'algue rouge étudiés allant de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 et 0.6 g successivement L'ensemble est agité pendant 30minutes puis filtré et analysé. Les résultats de ces mesures sont regroupés dans les tableaux 06 et 07 et représentés graphiquement sur la figure 32.

Tableau 06 : Effet de la dose sur l'adsorption du Nickel par le matériau (C0=14 mg/L)

Echantillons	1	2	3	4	5	6
Masse de l'adsorbant (g)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
Abs	0.336	0.152	0.885	0.834	0.63	0.75
Ceq (mg/L)	7.7598	3.5103	2.0438	1.926	1.4549	1.732
x/m (mg/g)	0.083	0.187	0.292	0.390	0.494	0.589
Taux d'élimination	44.57	74.92	85.40	86.24	89.60	87.62

Tableau 07 : Effet de la dose sur l'adsorption du Nickel par le matériau (C0=16 mg/L)

Echantillons	1	2	3	4	5	6
Masse de l'adsorbant (g)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
Abs	0.265	0.132	0.839	0.106	0.888	0.697
Ceq (mg/L)	0.612	0.304	1.937	0.244	2.050	1.609
x/m (mg/g)	0.083	0.187	0.292	0.390	0.494	0.589
Taux d'élimination	44.57	74.92	85.40	86.24	89.60	87.62

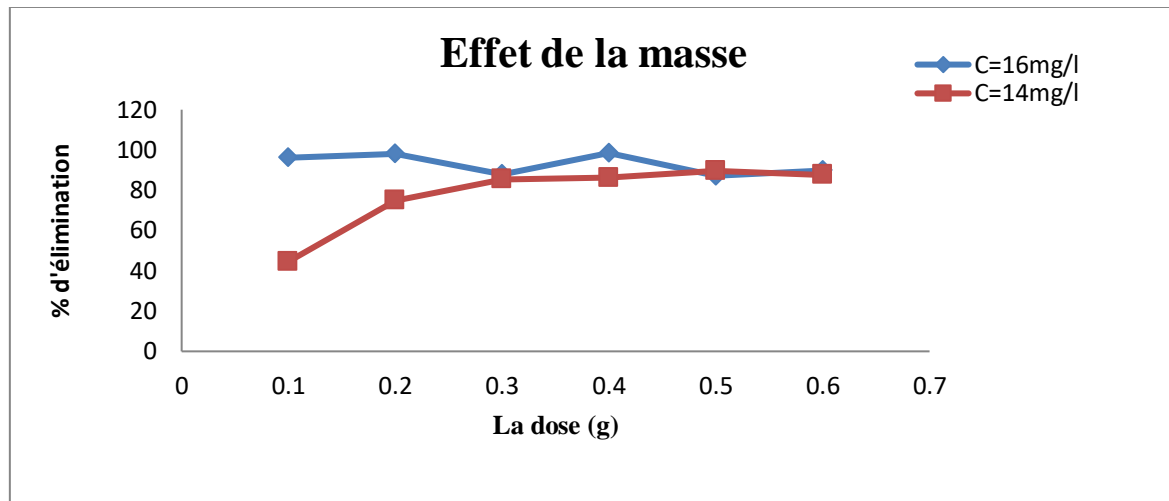


Figure 32 : Effet de la dose du matériau sur l'adsorption du Nickel par le matériau à base d'algue rouge (C0=14mg/L et C0=16mg/l)

Les résultats de la figure ci-dessus montrent une augmentation du taux d'adsorption du nickel Ni^{2+} avec l'augmentation de la masse d'adsorbant. Le rendement de quantité d'adsorption optimale est de 87.62% pour la masse 0,6 g. L'augmentation du taux de rétention de NICKEL en fonction de l'augmentation de la masse de l'adsorbant est principalement due à un accroissement conséquent du nombre de site actifs d'adsorption à la surface de l'adsorbant.

V.5.2.2.3. Etude de l'effet de pH sur l'adsorption du Nickel :

pH signifie le potentiel d'hydrogène. C'est la mesure qui nous permet de déterminer si une solution est acide ou alcaline. Le pH influe sur l'adsorption du fait de la nature de l'adsorbant dont les sites comportent des groupements fonctionnels organiques qui peuvent être chargés et se dissocier suivant la valeur du pH.

► Mode opératoire :

Dans une série de béchers, on introduit successivement 25 mL de la solution de Nickel de concentration 16 et 14mg/L aux quelles on ajoute une masse de 0.6g du matériau.

Le mélange est agité magnétiquement pendant 30 min à la température ambiante 20 C° puis la suspension est séparée à l'aide d'une centrifugeuse et la concentration en Nickel est déterminée par spectrophotométrie à la longueur d'onde de 465nm. Le pH de la solution initiale est de 2.6 ,5.2 ,6.2, 8.1, 9.1, 10.08 est obtenu par ajout d'acide chlorhydrique ou d'hydroxyde de sodium concentrés dans le cas échéant.



Figure 34 : PH-mètre

Remarque : la solution du Nickel à l'état naturel a un pH de 6.78

► **Calculs des quantités adsorbées :**

Un calcul relativement simple permet d'obtenir la quantité adsorbée ; en effet si m (g) d'adsorbant est mis en contact avec un volume V (mL) d'une solution de concentration initiale C_0 (mg/L), la masse de soluté adsorbée par gramme d'adsorbant (x/m) exprimée en mg/g est donnée par l'équation suivante :

$$x/m = (C_0 - C_{eq}) \cdot V / m \cdot 1000$$

Avec :

- x : quantité de l'adsorbat en mg.
- M : quantité de l'adsorbant en g.
- C_0 : concentration initiale en mg/L.
- C_{eq} : concentration à l'équilibre en mg/L.
- V : volume de la solution en ml.
- 1000 : coefficient de conversion

Les résultats de ces mesures sont regroupés dans les tableaux 10 et 11 et représentés graphiquement sur la figure 35.

Tableau 10 : Effet du pH sur l'adsorption du Nickel par le biosorbant ($C_0=14\text{mg/L}$)

Echantillons	1	2	3	4	5	6
pH	2.6	5.2	6.2	8.2	9.1	10.08
Abs	0.108	0.066	0.118	0.23	0.345	0.41
Ceq (mg/L)	0.249	0.152	0.272	0.531	0.796	0.946
x/m (mg/g)	0.206	0.207	0.205	0.202	0.198	0.195
Taux d'élimination	98.21	98.91	98.05	96.20	94.30	93.23

Tableau 11 : Effet du pH sur l'adsorption du Nickel par le biosorbant (Co=16mg/L)

Echantillons	1	2	3	4	5	6
pH	2.6	5.2	6.2	8.2	9.1	10.08
Abs	0.126	0.111	0.142	0.157	0.557	0.417
Ceq (mg/L)	0.290	0.256	0.327	0.362	1.286	0.963
x/m (mg/g)	0.235	0.236	0.235	0.234	0.220	0.225
Taux d'élimination	98.18	98.39	97.95	97.73	91.96	93.98

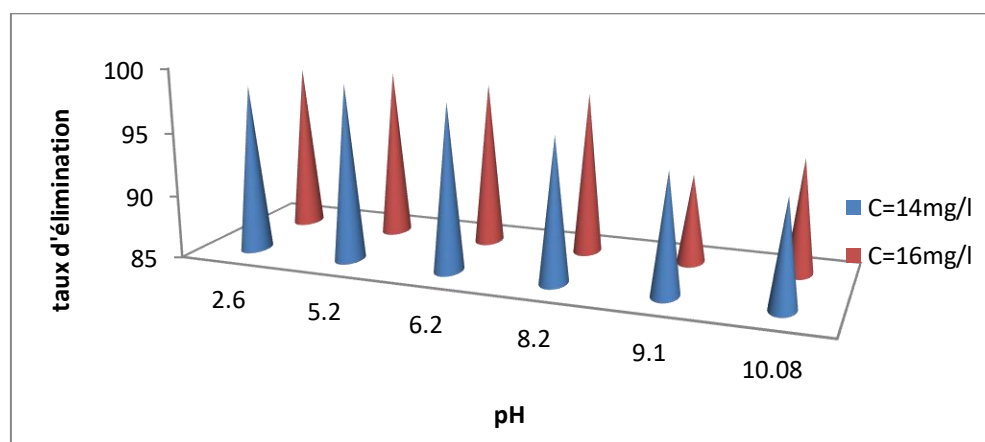


Figure 35 : Représentation graphique de l'effet de pH de l'adsorption du Nickel par le matériau à base d'algue rouge (C0=14mg/L et C0=16mg/l).

Discussion :

D'après les résultats obtenus nous constatons que l'adsorption du Nickel est d'un taux élevé aux **pH 5,2** donc un acide et aux **pH 6,2 et 8,2**. Ces derniers ne peuvent être considérés car dans le cas du Nickel aux pH basique il y a précipitation qui induit des erreurs lors de la lecture. De ce fait le pH 5,2 est maintenu pour la suite des opérations.

V.5.2.2.4. Etude de l'influence de la température sur le processus d'adsorption du Nickel :**► Mode opératoire :**

Afin d'étudier l'influence de la température sur l'adsorption d'un composé inorganique par le biosorbant à base d'algue rouge *Coralina elongata*, des flacons contenant 25 mL de solution de concentration connue du Nickel auxquelles nous avons ajouté une masse déterminées (0,6)g de biosorbant utilisé, sont placés dans un bain marie muni d'un thermostat permettant de contrôler la température (25, 35 et 45°C), l'ensemble est agité pendant un temps déterminé de 30 minutes puis centrifugé et analysé par spectrophotométrie.

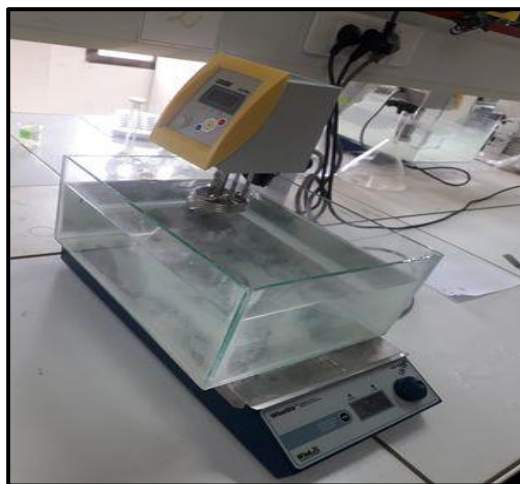


Figure 36 : Bain marie muni d'un thermostat

Les résultats de ces mesures sont mentionnés dans les tableaux 12 et 13 et représentés sur la figure 37.

Tableau 12: Résultat de l'effet de la température sur l'adsorption du Nickel par le biosorbant Étudié avec ($C_0=14\text{mg/L}$).

Echantillons	1	2	3
T°	25	35	45
Abs	0.596	0.594	0.608
Ceq (mg/L)	1.374	1.371	1.404
x/m (mg/g)	0.219	0.219	0.218
Taux d'élimination	91.39	91.42	91.22

Tableau 13: Résultat de l'effet de la température sur l'adsorption du Nickel par le biosorbant Étudié avec ($C_0=16\text{mg/L}$)

Echantillons	1	2	3
T°	25	35	45
Abs	0.393	0.575	0.498
Ceq (mg/L)	0.907	1.286	1.150
x/m (mg/g)	0.196	0.190	0.192
Taux d'élimination	93.51	90.81	91.78

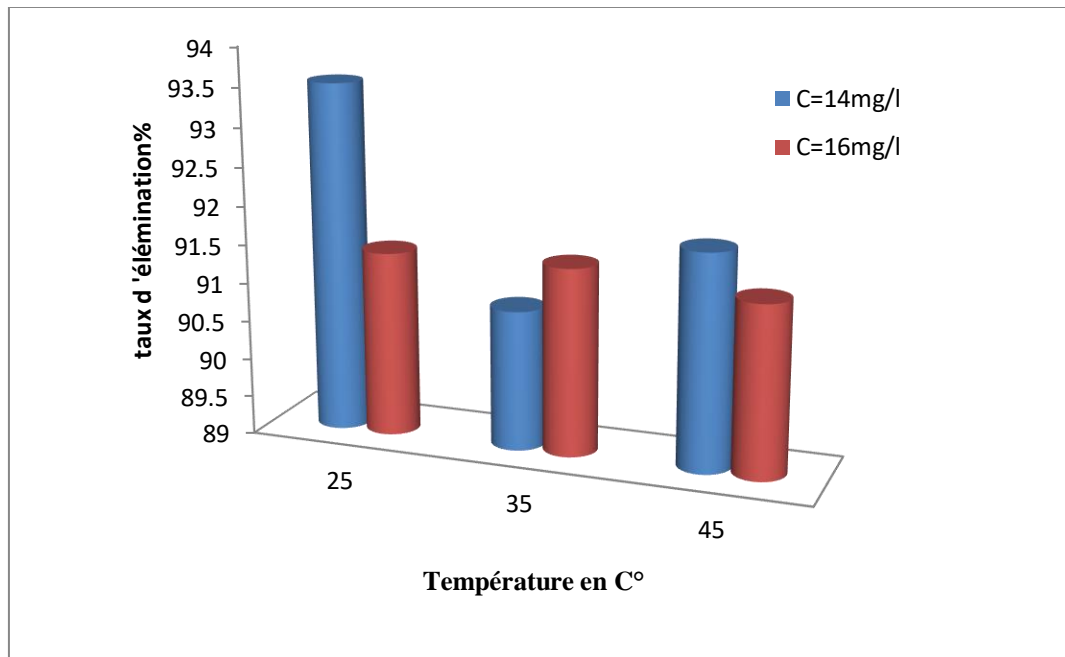


Figure 37 : Représentation graphique de l'effet de la température sur l'adsorption du Ni^{2+} par le biosorbant à base d'algue rouge à différentes températures.

Discussion :

Cette étude a permis de constater que la température a un effet sur l'adsorption du NICKEL. On observe une diminution de taux d'élimination lorsque la température dépasse de 25°C et cela peut être dû à l'affaiblissement des forces des liaisons existantes entre les cations métalliques et les sites actifs présents à la surface de l'adsorbant. Et de ce fait la température a été fixée à 25°C pour le reste de l'étude.

V.5.2.2.5. Isotherme d'adsorption du nickel :

► Mode opératoire :

Dans une série de béchers, on introduit successivement 0.6 g de matériau et 25 mL des solutions filles de Nickel de concentration différentes. L'ensemble est agité pendant 30 min (temps de contact qui a été déterminé préalablement pour atteindre l'équilibre) puis filtré et analysé comme précédemment.

Les résultats de ces mesures sont reportés dans le tableau 14 et représentés graphiquement sur les figures 38.39.et 40.

Tableau 14 : Isotherme d'adsorption du Nickel par le biosorbant à base d'algue rouge

Echantillon	01	02	03	04	05	06	07	08
C_0 (mg/L)	16	20	40	60	80	100	120	160
Abs	0.12	0.123	0.16	0.229	0.292	0.333	0.442	0.586
C_{eq} (mg/L)	0.37	0.35	0.46	0.66	0.84	0.96	1.28	1.65
x/m (mg/g)	0.65	0.81	1.64	2.74	3.29	4.12	4.94	6.59
$C_{eq}/(x/m)$ (g/L)	0.58	0.436	0.282	0.269	0.257	0.234	0.2597	0.250
$\text{Log}(x/m)$	-0.18	-0.446	-0.332	-0.176	-0.071	-0.014	0.108	0.217
$\text{Log}(C_{eq})$	-0.42	-0.087	0.216	0.393	0.518	0.615	0.694	0.819
C_{eq}/C_0	0.023	0.017	0.011	0.011	0.010	0.009	0.010	0.010
$C_{eq}/(C_0 - C_{eq}) * (x/m)$	0.015	0.014	0.0193	0.027	0.035	0.040	0.053	0.068

Echantillon	09	10	11	12	13	14	15
C_0 (mg/L)	180	200	220	240	260	280	300
Abs	0.693	0.853	0.95	0.824	0.5	0.64	0.89
C_{eq} (mg/L)	2.014	2.479	2.761	9.418	14.534	18.604	25.872
x/m (mg/g)	7.416	8.230	9.051	9.607	10.227	10.891	11.421
$C_{eq}/(x/m)$ (g/L)	0.271	0.301	0.305	0.980	1.421	1.708	2.265
$\text{Log}(x/m)$	0.304	0.394	0.441	0.973	1.162	1.269	1.412
$\text{Log}(C_{eq})$	0.870	0.915	0.956	0.982	1.009	1.037	1.057
C_{eq}/C_0	0.011	0.012	0.012	0.039	0.055	0.066	0.086
$C_{eq}/(C_0 - C_{eq}) * (x/m)$	0.083	0.103	0.115	0.392	0.605	0.775	1.078

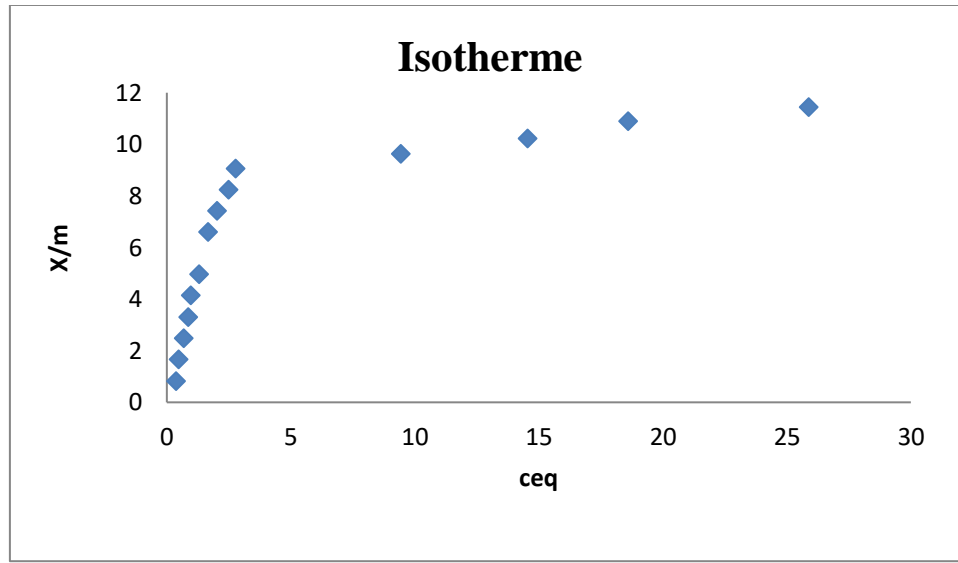


Figure 38 : représentation graphique de l'isotherme d'adsorption du Nickel par le matériau à base d'algue rouge.

Discussion :

D'après cette figure on constate que la quantité en mg/g d'adsorbat (Nickel) fixée sur la surface de l'algue brute croît en fonction de la concentration du nickel puis jusqu'à atteindre un palier qui signifie la saturation .

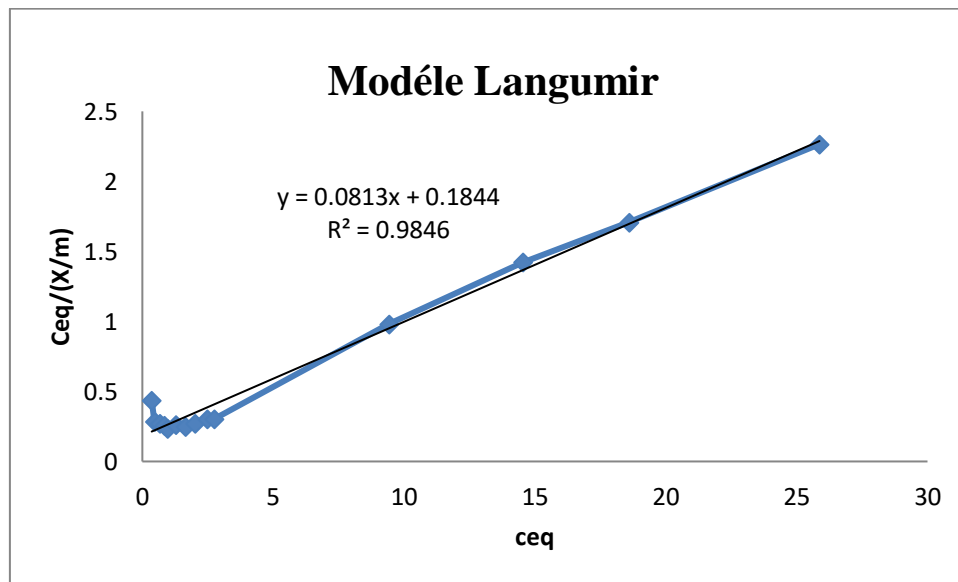


Figure 39 : représentation graphique de modèle langumir

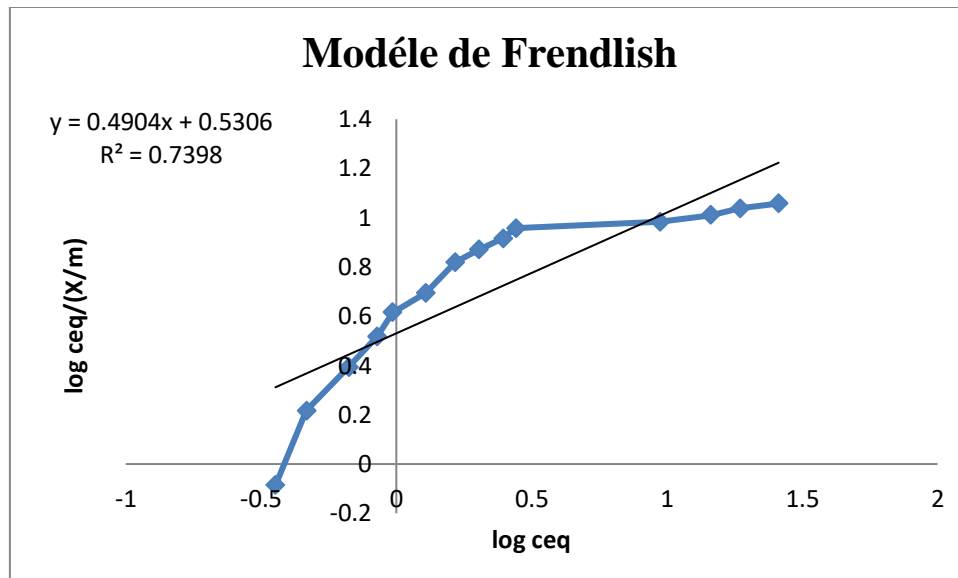


Figure 40 : Représentation graphique de modèle de Freundlich

Discussion :

A partir de la figure la droite $Y=0,081x+0,184$ est obtenue avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,984$ indiquant ainsi que l'isotherme d'adsorption du nickel suit parfaitement le modèle de Langmuir qui exprime et confirme le palier de saturation de l'adsorbant (algue rouge). Alors que l'équation de Freundlich son coefficient est bien inférieur qui est de l'ordre de 0.739 et qui ne peut être considéré.

L'équation de modèle Langmuir nous permet de calculer la capacité maximale d'adsorption $b=12,34\text{mg/g}$. Ce résultat prouve que l'algue rouge utilisée et étudiée présente un rendement d'adsorption assez intéressant vis-à-vis du Nickel qui est un métal lourd considéré comme une grande molécule qui en général s'adsorbe difficilement.

Conclusion

La problématique de l'élimination des polluants inorganiques est d'une actualité cruciale. Le défi est de développer des technologies visant à réduire les coûts, d'une part et à minimiser la production et le rejet des déchets solides d'autre part et mettant en œuvre des ressources locales afin de réduire les coûts de fonctionnement des systèmes et/ou infrastructures mis en œuvre, tout en garantissant leur pérennité.

Ainsi la capacité de ressources marines végétales telle que les algues marines du rivage méditerranéen à fixer des colorants et des ions métalliques, peuvent être exploitées pour la mise en œuvre de procédé de traitements d'effluents industriels pollués. Il s'agit d'un débouché économiquement attractif, permettant du même coup de valoriser cette ressource marine

L'objectif des travaux réalisés dans le cadre de ce mémoire était d'étudier le potentiel d'utilisation des algues marines rouge sous forme d'un état brute pour le traitement d'effluents contenant des polluants métalliques

Dans le cadre d'une démarche potentiellement applicable au traitement des eaux usées. Les algues marines rouge choisies étant largement disponible localement sur notre côte. La première étape a été consacrée à la préparation d'un biosorbant à partir d'algue rouge

La deuxième étape était de caractériser la surface du biosorbant préparé en déterminant l'indice d'iode qui est un paramètre très important caractérisant la microporosité et l'indice du bleu de méthylène qui caractérise la mésoporosité. Les indices d'iode obtenus, étaient 849.08mg/g et respectivement pour l'indice de bleu de méthylène obtenu 157.11mg/g. Cette caractérisation est renforcée par une étude par spectrophotométrie à infra rouge qui son intérêt est d'identifier les différents groupements fonctionnels et réactionnels à la surface du matériau étudié.

La troisième étape consistait à l'étude du comportement du phénomène d'adsorption du du Nickel par le biosorbant préparé à partir d'algue rouge, qui a donné un résultat meilleur et des capacités maximales intéressantes vis-à-vis de chacune des substances étudiée.

Le temps nécessaire pour l'adsorption du Nickel est de 30min, la dose nécessaire pour l'adsorption di nickel 0.6g , Le meilleur pH 5.2 , La température est un paramètre d'un potentiel important, car plus on augmente la température meilleur est le taux d'adsorption et

ceci pour les différentes substances étudiés ; cette dernière à été fixée à 25⁰ pour la suite des applications .

Le modèle de Langmuir et de Freundlich ont été choisis pour décrire l'adsorption de Nickel par le biosorbant à base d'algue rouge. Le phénomène d'adsorption du Nickel suit parfaitement surtout le modèle de Langumir qui traduit l'hétérogénéité de la surface de notre biosorbant étudié vu que le coefficient de régression est de 0,984 et qui représente une capacité maximale d'adsorption de 12.43mg/g.

En conclusion générale, nous pouvons dire que le biosorbant préparé à partir d'algue rouge présente des propriétés adsorbantes très significatives. Ces tests d'algues rouges peuvent être utilisés avec succès pour l'élimination de polluants toxiques.

Des recherches plus approfondies seront souhaitables à l'avenir pour une valorisation prometteuse de ce matériau, ce qui pourrait concurrencer des adsorbants commerciaux dans les traitements des eaux résiduaires, notamment les effluents des industries pour préserver un environnement sain et viable.

REFERENCES

- [1] Ramade, 2000, p. 428 *Eléments d'écologie appliquée*. Dunod, 4ème Edition Paris, France. 689pp.
- [2] Lacaze, 1996 *Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée. Synthèse, menaces et perspectives*. Bellan-Santini D., Lacaze J.C., Poizat C. eds. Secrétariat de la Faune et de la Flore. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.
- [3] RNB, 1999 Réseau National de Bassin. *Les micropolluants dans les cours d'eau français, 3 années d'observations (1995 à 1997)*. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement et les agences de l'eau. France.
- [4] Gravez & Bernard, 2006. *Pollution marine : Les définitions*. www.com.univ-mrs.fr.
- [5] Raven, 2003 *Biologie végétale. Edition De Boeck Supérieur, 1re édition, 968p*
- [6] Hoet P., (2007). Nickel et composés. EMC Toxicologie Pathologie professionnelle. Université catholique de Louvain, Faculté de médecine. volume 53, n°11. p 9.
- [7] Oudiz et al, 2000 *Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétique*. Thèse de Doctorat, université mouloud mammeri, tizi ouzou, p22-23
- [8] Rejeseck F., (2002). *Analyse des eaux, aspect réglementaire et technique*, France. p 170-195
- [9] BLIEFERT et Perraud R., (2001). *Chimie de l'environnement : air, eau, sols déchets*. Édition de Boeck 2e édition, Bruxelles 285-336
- [10] Gaujous, 1995 *la pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire*. 2e édition. 11, rue Lavoisier. 200 p
- [12] Brissaud et al., 1982 *Transferts dispersifs et propagation de pesticides dans un sol de rizière inondée* ; *Journal of Hydrology* Volume 57, P 233–245
- [13] Lahaye, 1991 *algae as source of fibres : determination of soluble and insoluble dietary fibre content in some " sea-vegetables"*. *Journal Sciences Food Agricole* 5: 587-94.

- [14]Roquer, 1980 Fondements théoriques du traitement biologique des eaux, volume 1, 2eme édition, Technique et Documentation, Lavoisier Paris, 132-145
- [15] CHEBLII .L, 1979. surf.sci, Vol 167, p51-58
- [16] Chouti et al Appl. Biosci. 2010
- [17] Lagstone ,1999 Flore et Faune marines du Maroc. Biodiversité, Biologie, Ecologie, Biogéographie, Royaume du Maroc (Rabat), EXPO' 98 Marrocos, Lisboa (Portugal), *Editions OKAD.*, 68p
- [18] Schmitzberger K.,(2008).La prévention des pollution ,la pollution de l'eau ,édition agence de l'eau,rhin-Meuse,p127-130
- [19] Williams et Knapp. 2010. Beyond Cladistics: The Branching of a Paradigm.
- [20] Schrock, 2006 these de doctorat Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonnemaisoniales) université de bretagne occidentale
- [21] Kim b.(2014).Devenir du phosphore dans les filtres plantés de roseaux : étude de sa rétention / libération et des facteurs d'influence.L'institut national des sciences appliquées de Lyon.thèse de doctorat Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain.181 p
- [22] Bouziani M.,(2000).l'eau de la pénurie aux maladies .édition IBN-KHALDOUN. Alger.p93- 96.
- [23] Jica,Matet et Onned, 2008 2015),''Détermination de la composition et de la distribution des carraghénanes par hydrolyse enzymatique''. Thèse: Chimique Biologique: Université Pierre et Marie Curie
- [24] IFREMER, 2003 Comportement des polluants. Rapp. Annuel.
- [25] Islam et Tanaka, 2004 Impact of pollution on coastal and marine ecosystems including
- [26] D. Gaujous, La pollution des milieux aquatiques: aide- mémoire. Edition Lavoisier . (1993)

- [28] Cantet, 2007. Effluents industriels .revue cahier des chroniques scientifiques volume 2 n °10 .p 1-2.
- [29] MENOUEUR S, TAIBI S., (2014). Étude de la qualité des rejets liquides industriels en aval du complexe GL1/Z. Mémoire de Projet de Fin d'Études. Gestion des Déchets et Pollution des Ecosystèmes. Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf d'Oran.63 p.
- [30] Rodier et coll., 2005 .Analyse des eaux : l'eau naturelle l'eau, résiduaire, l'eau de mer 8e édition, Dunod, Paris.p 1383
- [31] Abdellatif ,2006 .Traitements de l'eau source bousa fer,mémoire de fin d'étude (licence).université des sciences et de la technologie, Oran.100 p.
- [32] Gaid, 1984 épuration biologique des eaux usées urbaines. Office des publications universitaires, Alger.P27.
- [34]Salghi,2000. Différentes filières de traitement des eaux. Edition ESKA, p 83-87
- [35] DALMAS,2000 mesure de la conductivité sur une eau pure ou comment appliquer la norme USP24-NF19., radiometeranalytical.p -3-4.
- [36] HADE, 2002 .Nos lacs – les connaître pour mieux les protéger. Éditions Fides.p 360
- [37] Pesson et *al.* ,1976 pollution des eaux continentales, Édition bordas,paris.p 285.
- [38] F.Nemchi ; 2012 Thèse de Doctorat ; “ élimination des polluants organiques et inorganiques par des algues marines”, Université de Mostaganem, 2012.
- [39] P.Gilles, E.*et al.* 2007
- [40] A. Fujishima, X. Zhang *et al.* 2007 International Journal of Hydrogen Energy 32(14): 2664-2672.
- [41] M.Larbi. Bouguerra. Des Batailles de L'eau. Pour Un Bien De L'humanité. Edition Luc Pire, Belgique, 2003.
- [42] N. Benderdouche, Activation d'un précurseur naturel en vue de l'adsorption du cuivre, nickel et acide acétique, these de doctorat, U.S.T.O. 2004.
- [43] H.I.Seki, Suzuki A., and Mitsueda S. 1998. Biosorption of Heavy Metal on

Rhodobacter sphaeroides and Alcaligenes eutrophus H16, *Journal of Colloid and Interface Science*, 1985..

[44] C. Cervantes and F. Gutierrez-Corona. 1994. Copper Resistance Mechanisms in Bacteria and Fungi, *FEMS Microbiol. Rev.* 14,121-138.

[45] A.J.M.R.D.Baker, Reeves, and A.M. Hajar, 1994, Heavy Metal Accumulation and Tolerance in British Population of Metallophyte *Thlaspi caerulescens*, *J. & C. Pres, New Phytol.* 127,61-68.

[46] R.P Carvalho,.; K.H. Chong and B. Volesky. 1995. Elevation of the Cd, Cu, and Zn Biosorption in Two-Meatl Systems Using an Algal Biosorbent, *Biotechnol. Prog.* 11,39.

[47] W .Zhang. and MajidiV. 1993.Study of Influences on the Binding of Metal to *Stichococcus bacillaris* with ¹¹³Cd NMR, *Applied Spectroscopy*, 47,1251-1258

[48] C.D. Scott, 1992. Removal of Dissolved Metal by Plant Tissue, *Biotechnol, and Bioeng.* 39,1064-1068.

[49] P.B. Nada Kumar, Motto, H.,and Raskin I. 1995a, Rhizofiltration : The Use of Plants To Remove Heavy Metals From Aqueous Streams, *Environ. Sci. Technol*, 29, 1239-1245.

[50] A .WuL. And ntonovics J. 1976. Experimental Ecological Genetics in Plantang II .Lead Tolerance in Plantange *Lanceolata* and *Cynodon Dactylon* from Roadside, *Ecology*, 57,205-208.

[51] M.R. Macnair 1983. The Genetic Control of Copper Tolerance in The Yellow Monkey Flower *guttatus*, *Heredity*, 50,283-293.

[52] A.D. Warkins and M.R. Macnear, Genetics of Arsenic Tolerance in *Agratis Capillaris L.*, *Heredity*, 1991, 50, 47-54.

[53] D.E. Salt, R.D. Smith and I. Raskin, Phytoremediation, *Annuel Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1998, 49,643-668.

[54] A.J.M. Baker, Accumulators and Excluders and Strategis in the Response of Plants to Heavy Metals, *Journal of Plant Nutrition*, 1981, 3,643-654.

[55] A.S. Mofa, Plant Proving Their Worth in Toxic Metal Cleanup, *Science*, 1995,

269, 302-305.

[56] G. Charlot «Dosages absorptiométriques des éléments minéraux ».

[57] H.des ABBAYES and all. Précis de Botanique, végétaux inférieurs (volume 1) .
MASSON 2ème édition 1978

[58] J RIBIER et GODINEAUX J. C. Les Algues : connaissances, utilisation, cultures.
Flammarion. 1984

[59] C.CESEAU and all Encyclopédie du monde végétal. Lidis 1964

[60] A. NASON GOLDSTEIN P. Biologie, Animaux, végétaux, écologie. Edition
Inc.1971

[61] P. GAYRAL. COSSON J. Les Algues France. 1979

[62] W. CARMICHAEL W. Blue-Green Algae : 1991

[63] K.WILLAM GORDON H. et CRAIG HELLER H. Le monde vivant, traité de
Biologie. Flammarion 1994

[64] P. DANGEARD Traité d'Algologie. Introduction à la Biologie et à la Systématique
des Algues Edition : PUL Le chevalier et Fils.1993

[65] P. GAYREL et COSSON G. Les Algues. Ouest France . 1979

[66] D. ROBERT et J.C. ROLAND. Organisation Cellulaire .Biologie Végétale
(Volume1) Nouvelle édition .1998

[67] P.AZENDA. Les Végétaux : Organisation et diversité biologique DUNOD. 2000

[68] P.KROEFFER M. Croissance et développement de *Cystoseira* méditerranéennes.
1973

[69] H. Augier., Boudouresque J.F., 1971-Notions d'écobiocénotique marine.
Excursions en Méditerranée. CRDP Marseille.

[70] P. Gayral, 1975-Les algues. Doin. Paris

[71] H.Augier, Gonzalès M, Astier J.M., Bailleux B.,1983-La vie sur les fonds marins.
Peuplements benthiques méditerranéens (Littoral Provence-Côte d'Azur). CRDP Nice.

[72] P.Gayral, Cosson J., 1986-Connaître et reconnaître les algues marines. Ouest France. Rennes.

[73] J.Cabioc'h, J.Y. Floc'h., A. Le Toquin., C.F. Boudouresque., A. Meinesz., M. Verlaque., 1992-Guide des algues des mers d'Europe. Delachaux et Niestlé. Neuchâtel, Paris.

[74]. A., Swiatkowski., M. Pakula.“Influence of the surface chemistry of modified activated carbon on its electrochemical behaviour in the presence of lead(II) ions”.(2004). vol. 42, pp. 3057-3069. (1)

[75] F.Nemchi ; 2012 Thèse de Doctorat ; “ elimination des polluants organiques et inorganiques

par des algues marines”, Université de Mostaganem, 2012.

[76] B. Park., Y.“ Crab shell for the removal of heavy metals from aqueous solution”, Water Research. (2000). vol. 36, pp. 350-355. [21] C. Giles, D. Smith, J. Colloid interf. Sci.(1974).47,755-765.

B. Park., Y.“ Crab shell for the removal of heavy metals from aqueous solution”, Water Research. (2000). vol. 36, pp. 350-355. [21] C. Giles, D. Smith, J. Colloid interf. Sci.(1974).47,755-765.

[77] Adamson I.Y.R., Bowden D.H.The type II cells as progenitor of alveolar epithelial regeneration : A cytodynamic study in mince after exposure to oxygen . Lad. Invest., (1978),30,35-42.

[78] DJEBBAR, M. argile de Maghnia, purification et adsorption de polluants.. Thèse de doctorat.Université d'Oran, Algérie. 2014.

[79] KOLLER, Emilian. Aide-mémoire de génie chimique-4e éd. Dunod, 2013.

[80] GUIGNARD, Danielle. L'essentiel de la cinétique et de la thermodynamique chimique: à travers les problèmes de concours. 1992.

- [81] SAIDOU SOULEYMANE, Maarou, KHENNICHE, Lamia, et al. Préparation et caractérisation de charbons ferromagnétiques appliqués à l'élimination de la sulfaméthazine par adsorption en milieu aqueux. Thèse de doctorat. Université abderrahmane mira. 2018.
- [82] C.L. Teng, and Wang F-S. Intermittent contiguous method for recovering refined activated carbon from waste tires and the like and the device therefor. US Patent # 5,976,484. (1999).
- [83] N.R. Khalil, Araastoopour, H., and Walhof, L. K. 2000. Synthesizing carbon from sludge. US Patent 6,030,922.
- [84] H.M. Mozammel, Marsahiro, O., and SC. B. Activated charcoal from coconut shell using $ZnCl_2$ activation. *Biomass and Bioenergy* 22 : 397-400. (2002).
- [85]] F.Nemchi ; 2012 Thèse de Doctorat ; ‘ ‘ élimination des polluants organiques et inorganiques par des algues marines ’ ’, Université de Mostaganem, 2012.
- [86] Arnaud P. Chimie organique. 16e édition, Bordas, Paris, 1997. 529 p. ISBN 2-10-0032707-0 Bailey S.E., Olin T.J., Brace R.M., Adrian D.D. A review of potentially low-
Arnaud P. Chimie organique. 16e édition, Bordas, Paris, 1997. 529 p. ISBN 2-10-0032707-0 Bailey S.E., Olin T.J., Brace R.M., Adrian D.D. A review of potentially low-
- [87] Runping Han , Weihua Zou , Weihong Yu , Shujian Cheng , Yuanfeng Wang and Jie Shi. Biosorption of methylene blue from aqueous solution by fallen phoenix tree's leaves. *Journal of Hazardous Materials*. Volume 141 , Issue 1,6 March 2007 , Pages 156-162.
- [88] Meenakshi Goyal □, Sukhmehar Singh and Roop C. Bansal. D 2004. Equilibrium and Dynamic Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Surface Modified Activated Carbons. *Journal of Carbon Science* Vol. 5, pp. 170-179.
- [89] Sophie Gendrault Derveaux, 2004. Etude d'un traitement combiné bio-physico-chimique pour la décontamination des eaux polluées en atrazine. Thèse de doctorat ès science en biochimie..
- [90] Catalogue des normes antipollution, Ed. Viewg, 1996