

UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



ECOLE DOCTORALE SCIENCES DE LA VIE, DE LA SANTE
ET DE L'ENVIRONNEMENT
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Année : 2019 N° d'ordre : 201868

THESE DE DOCTORAT

Spécialité : Connaissance, Conservation et Gestion de la Biodiversité

Présentée par **MASSATA NDAO**

Contribution à l'étude de la diversité, de la dynamique spatio-temporelle, de la biomasse et de la valorisation de quelques algues macrophytes marines du littoral centre du Sénégal

Soutenue publiquement le 08 juin 2019, devant le jury composé de :

Président :	M. Samba Ndao SYLLA, Professeur titulaire	UCAD, FST
Rapporteur :	M. Mame Samba MBAYE, Maître de conférences	UCAD, FST
Rapporteur :	M. Aboubakry KANE, Maître de conférences	UCAD, FST
Rapporteur :	M. Saliou NDIAYE, Maître de conférences	ENSA, UT
Examineur :	M. Malick DIOUF, Professeur titulaire	UCAD, FST
Examineur :	M. Diène FAYE	MPEM
Directeur de thèse :	M. Kandioura NOBA, Professeur titulaire	UCAD, FST

Dédicaces

Cette thèse, je la dédie

A mon petit-frère et ami Mbagny NDAO qui nous a quitté récemment. J'espère que là où il est, il sera fier de son grand-frère. Je prie Dieu de l'accepter dans son éternelle miséricorde et son Paradis le plus élevé.

A mon père Imam Dame NDAO. Pa ! Je m'engage à toujours demeurer attaché aux principes que tu n'as jamais cessés de m'inculquer : la foi, le travail, le sérieux, l'abnégation, la ténacité et la volonté de dépasser les obstacles et de vaincre les difficultés.

A ma mère Fatou Kiné NDAO qui, par son amour, son courage, sa bonne volonté, ses conseils, son assistance et sa passion pour la réussite, m'a aidé et m'a soutenu pour voir se réaliser ses vœux les plus chers. Je te remercie maman et je m'engage à demeurer attaché aux principes que tu n'as jamais cessés à m'inculquer.

A mon épouse Altiné TRAORE et à mon "sangg" Mouhamed. Vous êtes les raisons de lutte acharnée pour la garde de la postérité !

A l'ensemble de mes frères et sœurs en témoignage de ma reconnaissance pour leur patience, leur sacrifice et leur soutien. C'est auprès de vous que j'ai toujours trouvé la volonté de ne pas décevoir, l'assurance et la détermination nécessaire pour aller toujours de l'avant.

A mon cher ami Moussa Yagame BODIAN qui nous a quitté depuis quelques temps. Qui m'a fait entrer dans le monde coloré et insolite des algues. Je prie Dieu de l'accepter dans sa grande miséricorde et son Paradis le plus élevé. *"The fight is still going on my dear friend !"*

Au professeur Tadahide NORO, de l'Université de Kagoshima du Japon.

A Monsieur Mitsuhiro AOYAMA, expert de la JICA.

Remerciements

Je tiens à remercier très chaleureusement la JICA (Japan International Cooperation Agency- Agence Japonaise de Coopération Internationale) qui, sans son appui scientifique et technique, cette thèse n'aurait pu se réaliser.

Le Professeur Samba Ndao SYLLA me fait l'honneur d'avoir bien voulu accepter la présidence du jury. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance et de mon profond respect.

Je tiens tout particulièrement à exprimer mes vifs remerciements au Professeur Kandioura NOBA, pour m'avoir intégré dans l'équipe du Laboratoire de Botanique et de Biodiversité de l'UCAD, ainsi que pour son encadrement continu et ses précises orientations scientifiques. Je le suis reconnaissant pour sa confiance, son encadrement judicieux, ses conseils propices, son assistance et surtout sa patience et ses qualités humaines. En mettant à ma disposition son temps, sa vaste connaissance et son soutien scientifique et moral, il m'a permis de voir le fruit de tous ces efforts.

Mes vifs remerciements et hommages vont au Docteur Mame Samba MBAYE, Maître de Conférences. Je tiens à lui témoigner ma gratitude pour sa disponibilité et son soutien. Je suis très honoré qu'il ait accepté d'être rapporteur de ma thèse.

Je tiens à exprimer mes profonds remerciements et hommages au Docteur Aboubakry KANE, Maître de Conférences. Je lui témoigne ma gratitude pour ses encouragements renouvelés. Je suis très honoré qu'il ait accepté d'être rapporteur de ma thèse.

Le Docteur Saliou NDIAYE, Maître de Conférences, me fait l'honneur d'être rapporteur de ma thèse. Qu'il trouve, ici, l'expression de ma profonde reconnaissance et de mon grand respect.

Je suis très honoré par la présence dans le jury du Professeur Malick DIOUF. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Je remercie le Docteur Diène FAYE, Inspecteur des Affaires administratives et financières et ex Directeur des Industries de Transformation de la Pêche, au Ministère de la Pêche et de l'Economie maritime, très distingué par ses hautes qualités humaines. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance et mon respect.

C'est avec grand plaisir que je tiens à exprimer mes sincères remerciements et mon immense reconnaissance à tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont apporté aide, soutien et confiance durant tout au long de cet aventureux et passionnant parcours !

Table des matières

Liste des abréviations, sigles et définitions _____	viii
Liste des figures _____	ix
Liste des tableaux _____	xi
Résumé _____	xii
Summary _____	xiii
Introduction générale _____	1
Contexte de l'étude _____	1
Justification et objectifs de l'étude _____	2
Approche méthodologique de l'étude _____	4
Inventaire des ressources algales, caractérisation de la biodiversité spécifique et cartographie de leur répartition _____	4
Détermination de la variation spatiale et temporelle des espèces _____	4
Estimation de la biomasse des principales espèces d'intérêt économique _____	4
Enquêtes socio-économiques sur les activités d'exploitation des algues et évaluation du potentiel de valorisation des espèces d'intérêt économique _____	4
Chapitre 1 _____	6
Synthèse bibliographique _____	6
1.1 Introduction _____	6
1.2 Evolution de la systématique des algues _____	6
1.2.1 Rappel historique sur la systématique des végétaux _____	6
1.2.2 Rappel historique sur la systématique des algues _____	7
1.3 Principaux critères de classification des algues _____	8
1.3.1 Evolution des principaux critères dans la classification des algues _____	8
1.3.2 Classification actuelle des algues _____	10
1.3.2.1 Algues rouges ou rhodophycées _____	11
1.3.2.2 Algues vertes ou chlorophycées _____	11
1.3.2.3 Algues brunes ou phéophycées _____	12
1.4 Diversité du groupe des algues macrophytes _____	12
1.5 Biologie et reproduction dans le groupe des algues macrophytes _____	14
1.5.1 Organisation de l'appareil végétatif des algues macrophytes _____	14
1.5.2 Reproduction dans le groupe des algues macrophytes _____	17
1.5.2.1 Reproduction sexuée _____	17
1.5.2.2 Reproduction asexuée _____	19
1.6 Ecologie des algues macrophytes marines _____	19
1.6.1 Facteurs écologiques responsables de la distribution des algues macrophytes _____	20

1.6.1.1	Lumière	20
1.6.1.2	Température	21
1.6.1.3	Salinité	21
1.6.1.4	Facteurs hydrodynamiques	21
1.6.1.5	Turbidité	22
1.6.2	Etagement des peuplements des algues macrophytes marines	22
1.6.3	Types d'habitat des algues macrophytes marines	22
1.7	Principales utilisations des algues macrophytes marines	23
1.7.1	Historique de l'utilisation des algues macrophytes marines dans le monde	23
1.7.1.1	Utilisation dans le domaine de l'alimentation humaine et animale	23
1.7.1.2	Utilisation dans le domaine agricole	23
1.7.1.3	Utilisation dans le domaine industriel	23
1.7.1.4	Utilisation dans le domaine énergétique	24
1.7.1.5	Utilisation dans le domaine médical, paramédical et pharmaceutique	24
1.7.1.6	Utilisation dans le domaine de la cosmétique	24
1.7.1.7	Utilisation dans le traitement des eaux usées	25
1.7.1.8	Utilisation dans le domaine des nouveaux matériaux	25
1.7.2	Historique de l'utilisation des algues macrophytes marines au Sénégal	25
1.8	Travaux antérieurs portant sur les algues macrophytes marines des côtes sénégalaises	25
1.8.1	Travaux portant sur la biodiversité des algues macrophytes marines au Sénégal	25
1.8.2	Travaux portant sur l'utilisation des algues macrophytes marines au Sénégal	26
Chapitre 2		28
Présentation du littoral sénégalais et des zones d'étude		28
2.1	Présentation de l'environnement marin et côtier du Sénégal	28
2.2	Facteurs hydro-climatiques du littoral Sénégalais	28
2.2.1	Dynamique des saisons maritimes	28
2.2.1.1	Saison froide	28
2.2.1.2	Transition saison froide - saison chaude	29
2.2.1.3	Saison chaude	29
2.2.1.4	Transition saison chaude - saison froide	29
2.2.2	Vents	29
2.2.2.1	Alizé maritime	29
2.2.2.2	Alizé continental ou Harmattan	30
2.2.2.3	Mousson	30
2.2.3	Courants marins	30
2.2.4	Upwellings	32
2.2.5	Houle	33
2.2.6	Marées	34
2.2.7	Températures de surface	35
2.2.8	Salinité de l'eau de mer	36
2.3.	Facteurs géomorphologiques du littoral sénégalais	36

2.3.1	Plateau continental _____	36
2.3.2	Types de fond _____	38
2.3.3	Répartition des algues macrophytes le long du littoral _____	40
2.4	Présentation des zones d'étude _____	41
2.4.1	Présentation du littoral centre _____	41
2.4.2	Présentation des sites d'étude d'intérêt écologique _____	42
2.4.2.1	Site de Ngor (Presqu'île du Cap-vert) _____	42
2.4.2.2	Site de Thiaroye (Presqu'île du Cap-vert) _____	43
2.4.2.3	Site de Pointe-Sarène (Petite Côte) _____	43
Chapitre 3 _____		44
Diversité des algues macrophytes marines du littoral centre _____		44
3.1	Introduction _____	44
3.2	Méthodologie _____	44
3.2.1	Prélèvement des échantillons _____	44
3.2.2	Identification des spécimens _____	44
3.3	Résultats _____	45
3.3.1	Identification et caractérisation des taxons récoltés _____	45
3.3.1.1	Phylum des Chlorophyta _____	45
3.3.1.1.1	Clé des genres des Chlorophyta _____	45
3.3.1.1.2	Clé des espèces des Chlorophyta _____	46
3.3.1.2	Phylum des Ochrophyta _____	50
3.3.1.2.1	Clé des genres des Ochrophyta _____	50
3.3.1.2.2	Clé des espèces des Ochrophyta _____	51
3.3.1.3	Phylum des Rhodophyta _____	54
3.3.1.3.1	Clé des genres des Rhodophyta _____	54
3.3.1.3.2	Clé des espèces des Rhodophyta _____	56
3.3.2	Analyse floristique _____	65
3.3.2.1	Phylum des Rhodophyta _____	66
3.3.2.2	Phylum des Chlorophyta _____	66
3.3.2.3	Phylum des Ochrophyta _____	66
3.4	Discussion _____	66
3.5	Conclusion _____	68
Chapitre 4 _____		70
Variation spatio-temporelle des espèces dans les sites de Ngor, Thiaroye et Pointe-Sarène en rapport avec les variations des paramètres du milieu _____		70
4.1	Introduction _____	70
4.2	Méthodologie _____	70
4.2.1	Récolte et identification des échantillons _____	70
4.2.2	Détermination de la richesse spécifique _____	70
4.2.3	Mesure des paramètres physico-chimiques _____	71

4.3	Résultats	71
4.3.1	Analyse du peuplement algal global des trois sites	71
4.3.2	Spectre taxonomique des échantillons	73
4.3.3	Analyse de la diversité spécifique dans les trois sites	73
4.3.3.1	Site de Ngor	73
4.3.3.2	Site de Thiaroye	74
4.3.3.3	Site de Pointe-Sarène	74
4.3.4	Variation spatio-temporelle des espèces	75
4.3.4.1	Presqu'île du Cap-vert	75
4.3.4.2	Petite Côte	75
4.3.5	Evolution spatio-temporelle des variables physico-chimiques des eaux marines	75
4.3.5.1	Température	75
4.3.5.2	Salinité	75
4.3.5.3	pH	76
4.3.5.4	Oxygène dissous	76
4.3.5.5	Nitrates et phosphates	76
4.4	Discussion	77
4.5	Conclusion	80
Chapitre 5		81
Estimation de la biomasse des principales espèces d'intérêt économique		81
5.1	Introduction	81
5.2	Méthodologie	81
5.2.1	Méthode d'estimation de la biomasse de <i>Meristotheca senegalense</i> dans la baie de Ngor	82
5.2.2	Méthode d'estimation de la biomasse d' <i>Hypnea musciformis</i> sur la plage de Pointe-Sarène	84
5.3	Résultats	85
5.3.1	Estimation de la biomasse de <i>Meristotheca senegalense</i> dans la baie de Ngor	85
5.3.2	Estimation de la biomasse de <i>Hypnea musciformis</i> à Pointe-Sarène	86
5.4	Discussion	88
5.5	Conclusion	90
Chapitre 6		91
Etude socio-économique de l'exploitation et potentiel d'utilisation et de valorisation des espèces d'intérêt économique		91
6.1	Introduction	91
6.2	Méthodologie	91
6.3	Résultats	91
6.3.1	Exploitation de <i>Meristotheca senegalense</i> sur la Presqu'île du Cap-vert	91
6.3.1.1	Cadre humain	92
6.3.1.2	Activités d'exploitation et principaux opérateurs	95

6.3.1.2.1 Niveau pêcheur - récolteur _____	95
6.3.1.2.2 Niveau intermédiaire _____	98
6.3.1.2.3 Niveau société d'exploitation _____	98
6.3.2 Exploitation de <i>Hypnea musciformis</i> sur la Petite Côte (Pointe-Sarène) _____	98
6.3.2.1 Cadre humain _____	99
6.3.2.2 Activités d'exploitation et principaux opérateurs _____	99
6.3.3 Disponibilité des espèces d'intérêt économique _____	99
6.4 Discussion _____	100
6.4.1 Exploitation de <i>M. senegalense</i> et <i>H. musciformis</i> sur le littoral centre _____	100
6.4.2 Potentiel d'utilisation des espèces d'intérêt économique _____	103
6.4.3 Niches d'opportunité exploitables, à court terme, au Sénégal _____	103
6.4.4 Disponibilité des algues récoltées sur le littoral centre _____	105
6.4.5 Possibilités de culture des algues _____	105
6.5 Conclusion _____	105
Chapitre 7 _____	106
Discussion générale _____	106
Diversité _____	106
Dynamique spatio-temporelle _____	107
Biomasse _____	108
Exploitation / utilisation _____	108
Conservation _____	109
Gestion _____	110
Conclusion générale et perspectives _____	111
Références bibliographiques _____	113
Annexe 1. Illustration de quelques macroalgues marines récoltées _____	128
Annexe 2. Cartographie de la répartition des algues le long du littoral centre _____	132
Annexe 3. Questionnaire _____	133
Annexe 4. Articles publiés _____	138

Liste des abréviations, sigles et définitions

DigitalGlobe : Société américaine spécialisée dans l'imagerie spatiale et opérateur de satellites d'observation de la Terre.

CRDI : Centre de Recherches pour le Développement International

ENSA : Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture

FIT : Front Intertropical

FST : Faculté des Sciences et Techniques

LBB : Laboratoire de Botanique et de Biodiversité

MPEM : Ministère des Pêches et de l'Economie Maritime

Orthophotographie (Orthomosaïque) numérique : image obtenue par traitement d'un cliché numérique dont la géométrie a été redressée de sorte que chaque point soit superposable à une carte plane qui lui correspond.

SST : Sea Surface Température

UCAD : Université Cheikh Anta Diop de Dakar

UT : Université de Thiès

WoRMS : World Register of Marine Species

Liste des figures

Figure 1. Place des algues dans la classification des eucaryotes d'après la systématique moléculaire...	9
Figure 2. Spectre d'absorption de la lumière de quelques uns des pigments présents chez les algues marines (1) et pénétration de la lumière et limite approximative de profondeur de répartition des algues (2).....	11
Figure 3. Morphologie du thalle de <i>Laminaria japonica</i>	14
Figure 4. Différents types de thalle chez les algues	16
Figure 5. Cycle monogénétique diplophasique de <i>Fucus sp.</i>	18
Figure 6. Cycle de reproduction digénétique haplo-diplophasique de l'algue verte <i>Ulva sp.</i>	18
Figure 7. Cycle de reproduction trigénétique de l'algue <i>Antithamnion sp.</i>	19
Figure 8. Subdivisions verticales du milieu marin	20
Figure 9. Carte de situation du Sénégal.....	28
Figure 10. Evolution de la force du vent observée sur la Petite Côte sénégalaise, de 2010 à 2015	30
Figure 11. Carte des principaux courants et des températures de surface au large des côtes de l'Afrique occidentale.....	31
Figure 12. Carte de l'Afrique occidentale et localisation des principaux "upwellings" côtiers	33
Figure 13. Saisonnalité de l'upwelling sur les côtes sénégalaises.....	33
Figure 14. Evolution moyenne des températures de surface SST, de 1980 à 2015, dans la zone centre du Sénégal	35
Figure 15. Salinité moyenne de l'eau de mer dans quatre stations côtières	36
Figure 16. Morphologie du plateau continental sénégalais.....	37
Figure 17. Types de fond du plateau continental sénégalais (littoral nord).....	39
Figure 18. Types de fond du plateau continental sénégalais (littoral sud)	40
Figure 19. Littoral centre du Sénégal et la localisation des sites échantillonnés.....	42
Figure 20. Localisation des trois sites d'étude (Ngor, Thiaroye et Pointe-Sarène).....	43
Figure 21. Représentativité des 3 groupes taxonomiques des algues macrophytes du littoral centre... ..	65
Figure 22. Evolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques	77
(température, salinité, pH, do, phosphates et nitrates) de l'eau de mer dans la presqu'île du Cap-vert (Ngor) et sur la Petite Côte (Pointe-Sarène).....	77
Figure 23. Photo satellite de la baie de Ngor (année 2014, résolution de 3m).....	82
Figure 24. Photographie aérienne de la "pointe" de Pointe-sarène (orthomosaïque de l'année 2007, résolution de 1m).....	82
Figure 25. Zones de collecte des échantillons de <i>Meristotheca senegalense</i> dans la baie de Ngor	83
Figure 26. Récolte de <i>Meristotheca senegalense</i> en plongée dans la baie de Ngor	83
Figure 27. Pose de quadrat sur les rochers du fond marin de la baie de Ngor.	84
Figure 28. Points de collecte des échantillons de <i>Hypnea musciformis</i> à Pointe-Sarène.....	85
Figure 29. Pourcentage de la biomasse de <i>M. senegalense</i> en fonction des différentes zones de prélèvement à Ngor	86
Figure 30. Pourcentage de la biomasse de <i>H. musciformis</i> en fonction des différentes zones de prélèvement à Pointe-Sarène	87
Figure 31. <i>Meristotheca senegalense</i> fraîchement récoltée à Ngor.....	92
Figure 32. Presqu'île du Cap-vert et la localisation des principaux sites concernés par l'enquête	93
Figure 33. Répartition par sexe des exploitants d'algue.....	93
Figure 34. Age des exploitants	94
Figure 35. lieux de provenance des exploitants.....	94
Figure 36. Années d'activité dans l'exploitation.....	94

Figure 37. Motivation des exploitants.....	95
Figure 38. Modes de récolte de l'algue	95
Figure 39. Lieux de récolte de l'algue le long des côtes de la Presqu'île du Cap-vert.....	95
Figure 40. Séchage de <i>M. senegalense</i> aux Almadies.....	96
Figure 41. Décoloration de l'algue rouge <i>M. senegalense</i>	96
Figure 42. Prix de vente de l'algue.....	97
Figure 43. Contribution des revenus tirés de l'exploitation des algues aux charges des exploitants	97
Figure 44. Impacts sociaux de l'exploitation des algues sur les communautés côtières	98

Liste des tableaux

Tableau 1. Les trois mondes des végétaux	10
Tableau 2. Selected estimates of numbers of species of marines rhodophyta, phaeophyta, and chlorophyta occurring in particular regions or on a world scale	13
Tableau 3. Effectifs des taxons Chlorophyta, Fucophyceae et Rhodophyta marins dans quelques mers regionales du monde.....	13
Tableau 4. Principaux caractères des espèces de Chlorophyta.....	48
Tableau 5. Classification des espèces de Chlorophyta.....	50
Tableau 6. Principaux caractères des espèces d'Ochrophyta	52
Tableau 7. Classification des espèces d'Ochrophyta	54
Tableau 8. Principaux caractères des espèces de Rhodophyta	60
Tableau 9. Classification des espèces de Rhodophyta	64
Tableau 10. Structure de la flore des algues macrophytes du littoral centre	66
Tableau 11. Liste totale des espèces recoltées dans les trois sites (Ngor, Thiaroye et Pointe-Sarène) .	71
Tableau 12. Structure de la flore de macroalgues dans l'ensemble des 3 sites (Ngor, Thiaroye, Pointe-Sarène).....	73
Tableau 13. Structure de la flore de macroalgues à Ngor	73
Tableau 14. Structure de la flore de macroalgues à Thiaroye	74
Tableau 15. Structure de la flore de macroalgues à Pointe-Sarène	74
Tableau 16. Calcul de l'indice de Shannon	74
Tableau 17. Répartition des biomasses de <i>m. senegalense</i> en fonction des différentes zones de prélèvement	86
Tableau 18. Répartition des biomasses de <i>H. musciformis</i> en fonction des différentes zones de prélèvement	87
Tableau 19. Statut socio-professionnel des personnes enquêtées.....	93
Tableau 20. Répartition par classe d'âge des exploitants d'algue.....	99
Tableau 21. Durée des acteurs dans l'exploitation d'algue.....	99
Tableau 22. Disponibilité des principales espèces d'intérêt économique récoltées sur le littoral centre du Sénégal	100
Tableau 23. Bilan de l'utilisation possible des principaux genres d'algues macrophytes du littoral centre du Sénégal.....	104

Résumé

Malgré l'intérêt de plus en plus croissant suscité par les algues marines, peu de travaux ont été réalisés sur ce groupe floristique au Sénégal qui, grâce sa position géographique avantageuse, se trouve doté de grandes potentialités pour cette fabuleuse richesse renouvelable dont on exploite qu'une faible partie du gisement existant. Cette étude contribue à renforcer les connaissances sur le potentiel qualitatif et quantitatif de ces algues en vue de leur gestion durable. Elle se propose de caractériser la diversité, la dynamique spatio-temporelle, le stock, l'exploitation et la valorisation des espèces d'algues macrophytes marines du littoral centre sénégalais.

L'étude a été réalisée sur une zone localisée du littoral sénégalais, le long de la bande côtière allant de Yoff (Presqu'île du Cap-Vert) à Joal (Petite Côte). Des campagnes d'inventaire, de suivi de la dynamique spatio-temporelle des espèces, d'estimation de biomasse, d'enquêtes socio-économiques sur les utilisations et les opportunités de valorisation des algues ont été effectués de mars 2013 à juillet 2014.

L'inventaire systématique a permis de répertorier 98 espèces réparties en 4 Classes, 16 Ordres, 30 Familles et 44 Genres. Cette diversité correspond à 33,7% des espèces listées au Sénégal. Les Rhodophyta (57,14%) dominent largement avec un nombre appréciable d'espèces ayant un intérêt économique suivies des Chlorophyta (26,53%) et des Ochrophyta (16,33%). Les Familles des Dictyotaceae (11,22%), des Gracilariaceae (9,18 %), et des Ulvaceae (7,14 %) sont les plus diversifiées.

La variation spatio-temporelle des algues montre que, dans l'ensemble, les espèces sont présentes durant les deux saisons maritimes (période chaude, période froide). Pour certaines d'entre elles la répartition est plus liée au facteur "site" qu'au facteur "saison". La biodiversité est légèrement plus importante sur la Petite Côte que sur la presqu'île du Cap-Vert. Mais dans l'ensemble des deux zones éco-géographiques, les algues rouges dominent sur les autres groupes et sont plus abondantes durant les mois chauds. La fréquence et l'abondance des espèces sont soumises aux fluctuations saisonnières qui dépendent, dans une certaine mesure, de la température, de la salinité, du pH et des sels nutritifs comme les nitrates et les phosphates. Les stocks naturels estimés pour les espèces les plus intéressantes sur le plan économique, donnent, pour *Meristotheca senegalense*, une biomasse de 17,17 tonnes, dans la baie de Ngor, avec un rendement de 1,8 tonne à l'hectare et pour *Hypnea musciformis*, une biomasse de 166,82 tonnes avec un rendement de 32,45 tonnes à l'hectare, dans la baie de Pointe-Sarène.

Au plan socio-économique, seule *M. senegalense* fait l'objet d'une production assez intéressante qui varie entre 08 à 10 tonnes de matière sèche, par année, et est exportée vers le marché asiatique. Cette exploitation saisonnière des algues participe au développement des populations littorales par la création d'emplois et l'augmentation des revenus des exploitants. Vingt-et-une genres ressortent comme candidats intéressants pour supporter le développement d'une filière algale, au Sénégal. Chacun d'entre eux montre un potentiel de valorisation dans, au moins, un domaine d'application.

Au plan de la gestion, la législation est quasi-inexistante sur cette ressource. Néanmoins, en raison de l'intérêt qu'elle suscite, il est impératif de réglementer son exploitation. En perspective, des études sur la bio-écologie des espèces, sur le suivi des stocks sur une échelle plus large, sur les techniques de culture et de valorisation des espèces ainsi que l'amélioration du cadre juridique et institutionnel régissant l'exploitation de cette ressource sont nécessaires.

Mots-clés : *algue macrophyte marine, diversité, variation spatio-temporelle, biomasse, exploitation, valorisation, gestion, littoral centre, Sénégal*

Summary

Despite the growing interest in marine algae, not enough work has been done on this floristic group in Senegal. This leads to a poor knowledge of their biodiversity and their amazing potential. This study contributes to reinforce the knowledge on the qualitative and quantitative potential of these algae with a view to their sustainable management. It proposes to characterize the diversity, the spatio-temporal dynamics, the stock, the exploitation and the valorization of the marine macrophytes algae species of the Senegalese central coast.

The study was conducted on a localized area of the Senegalese coast, along the coastal strip from Yoff (presqu'île du Cap-Vert) to Joal (Petite Côte). Inventory surveys, monitoring of the spatio-temporal dynamics of the species, biomass estimation, socio-economic surveys on the uses and opportunities for the valorisation of algae were carried out from March 2013 to July 2014.

The systematic inventory list 98 species divided into 4 Classes, 16 Orders, 30 Families and 44 Genus. This diversity corresponds to 33.7% of the species listed in Senegal. Rhodophyta dominates widely and represents 57.14% of taxa with a significant number of economically valuable species. The proportion of Chlorophyta is 26.53% and 16.33% for Ochrophyta. The families of Dictyotaceae (11.22%), Gracilariaceae (9.18%), and Ulvaceae (7.14%) are the most diverse. Specific biodiversity is more important on the Petite Côte than on the peninsula of Cape Verde. But in both geographical areas, red algae dominate the other groups and are more abundant during the hot season. The spatio-temporal variability for some species is more related to geography (site) than to the season. Frequency and abundance of species are subjected to seasonal fluctuations that depend to some ecological factors such as temperature, salinity, pH and nutrients such as nitrates and phosphates.

The natural stocks estimated for the most economically interesting species, using spatial imagery and geographic information system techniques, give for *Meristotheca senegalense* a biomass of 17.17 tons in Ngor Bay, with a yield of 1.8 tons per hectare and for *Hypnea musciformis*, a biomass of 166.82 tons with a yield of 32.45 tons per hectare in Pointe-Sarene Bay.

At the socio-economic level, only *M. senegalense* is the subject of a rather interesting production that varies between 8 to 10 tons of dry matter, per year, and is exported to the Asian market. The seasonal exploitation of algae contributes to the development of coastal populations by creating jobs and increasing farmers' incomes. Twenty-one genus stand out as interesting candidates to support the development of an algal industry in Senegal. Each of them shows a potential for valorization in, at least, a field of application. In terms of management, legislation is almost non-existent on this resource. Nevertheless, because of the interest it arouses, it is imperative to regulate its exploitation.

In perspective, studies on the bio-ecology of species, the monitoring of stocks on a larger scale, techniques of cultivation and valuation of species as well as improving the legal and institutional framework governing the exploitation of this species resource are needed.

Keywords: *marine algae, diversity, spatio-temporal variation, biomass, exploitation, valuation, management, coastal center, Senegal*

INTRODUCTION GENERALE

CONTEXTE DE L'ETUDE

La mer constitue le premier "potentiel de vie" de l'Humanité (Cabioc'h *et al.*, 2006 ; Bernard, 2011 ; Serris, 2013). Les ressources marines, connues ou potentielles, font plus que jamais, l'objet d'un intérêt de plus en plus croissant (Blunt *et al.*, 2007 ; Floc'h *et al.*, 2010 ; Brownlee *et al.*, 2012). Face à l'épuisement des ressources naturelles terrestres, le seul moyen pour l'homme de contrecarrer sa voracité insatiable est de chercher un autre potentiel renouvelable et durable (Chouikhi, 2013). Une telle aubaine, semble ne pouvoir se trouver que dans le monde marin encore méconnu et peu exploité (Person, 2010 ; Meinesz, 2011 ; Chung *et al.*, 2011).

Le Sénégal, avec ses 700 km de côtes, dispose de ressources maritimes importantes (ANSD, 2016). La tendance à l'épuisement des ressources biologiques et énergétiques terrestres (Felli, 2008 ; Blandin, 2009 ; Alphandéry et Fortier, 2013 ; Callicott, 2013) donne un intérêt croissant aux ressources biologiques marines.

Parmi ces ressources, les algues marines constituent une fabuleuse richesse renouvelable dont on n'exploite, seulement, qu'une faible part du gisement existant, et dont on ne profite que fort peu (Tamba, 1992 ; Trono, 2001 ; MEMTMI, 2006). Considérées en effet comme la filière du futur, les algues suscitent, de nos jours, un intérêt particulier, dans les domaines aussi variés que l'agronomie, l'agroalimentaire, les biotechnologies, la cosmétique, la médecine, la pharmacologie, le textile, ou encore, les énergies renouvelables (Mc Hugh, 2003 ; Bai *et al.*, 2011 ; Chung *et al.*, 2011 ; Brownlee *et al.*, 2012 ; Bender *et al.*, 2014 ; Pereira, 2016 ; Bodian *et al.*, 2017).

D'après Meinesz (2011), les algues ont été un élément essentiel dans la formation de la vie sur terre. Il y a des milliards d'années, elles étaient la première forme de vie à apparaître à la surface du globe. Ce sont les algues bleues qui semblent être les premiers représentants du monde végétal, d'après Margulis (1996). Selon De Reviere (2002, 2003), elles ont formé, au cours de leur évolution, des groupes très divers colonisant un très grand nombre d'habitats et présentant, entre autres, une diversité de tailles, de structures cellulaires et de cycles de vie. D'après Wattier et Maggs (2001), elles constituent presque, à elles seules, le principal peuplement végétal des océans où elles vivent fixées sur le fond (phytobenthos), ou en suspension dans l'eau (phytoplancton), ou encore flottant en surface (Iltis, 1980).

De par leur diversité, leur abondance et leurs rôles dans divers domaines écologiques (zones de frayères, abris, bio-indicatrices, recyclage de nutriments, dépollution des eaux, etc.), biologiques (point de départ de la chaîne alimentaire aquatique) et économiques (nombreuses applications industrielles), elles constituent un maillon important dans le maintien de l'équilibre du globe (De Reviere, 2003 ; Cabioc'h *et al.*, 2006).

Les algues marines ont été utilisées depuis des temps immémoriaux dans tous les pays maritimes du globe (Cabioc'h *et al.*, 2006). Près de deux cents genres d'algues marines benthiques (correspondant sans doute à plusieurs milliers d'espèces) sont cités dans la littérature scientifique pour avoir été exploités ou étudiés, en vue d'une exploitation, dans les diverses

régions du globe (Levring *et al.*, 1969 ; Guiry et Blunden, 1991 ; Andersen, 1992 ; De Reviers, 2003).

Durant les trente dernières années, l'exploitation des algues macrophytes marines ou macroalgues a connu un développement fulgurant ! Guiry et Blunden (1991) rapportent pour l'année 1984, une récolte de poids total frais de 3,4 millions de tonnes. La production de poids frais annuelle correspondante pour les années 1994/1995 est de 7,5 millions de tonnes, soit une augmentation de 119 % depuis 1984.

Depuis le début des années 2000, l'industrie mondiale des algues connaît une forte croissance. En 2011, vingt-et-un millions de tonnes d'algues marines ont été récoltées dans le monde. En 2013, la production mondiale s'élevait à près de 25 millions de tonnes dont 96 % provenant de la culture (FAO, 2014).

La quantité de macroalgues marines transformées annuellement dans le monde est de plus de 15,8 millions de tonnes (poids frais) et représente une valeur marchande de 7,4 milliards de dollars US (Chouikhi, 2013). Toujours selon Chouikhi (2013), les principaux producteurs sont la Chine, l'Indonésie et les Philippines qui, à eux seuls, totalisent les quatre cinquièmes de la production mondiale. Cette production est majoritairement destinée à l'alimentation humaine directe (76,1%) et à l'extraction des métabolites (11,2 %), le reste est exploité dans différents secteurs comme l'alimentation animale et l'agriculture. L'ampleur de la consommation directe est due aux pays asiatiques.

Dans les autres régions comme l'Afrique et les Caraïbes, l'Afrique du Sud est le seul pays à avoir une production significative d'algues brunes (30.000 tonnes) tandis que la Tanzanie se place en tête pour les algues rouges avec une production de 115.000 tonnes, suivie de l'Afrique du Sud et de Madagascar avec respectivement 2.000 et 1.700 tonnes (Spore, 2005). Selon la FAO (2014), de bonnes perspectives s'offrent aussi à des pays comme le Mozambique, la Namibie ou le Sénégal.

Il est avéré de constater que les macroalgues marines ouvrent, aujourd'hui, de nombreuses perspectives pour la recherche et pour de nombreux secteurs économiques. Elles constituent un vivier particulièrement intéressant pour l'industrie nouvelle et l'exploitation de leurs propriétés semble très prometteuse.

JUSTIFICATION ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Disposant d'un littoral maritime de plus de 700 km, d'une zone économique exclusive dont l'étendue avoisine sa superficie terrestre et d'un plateau continental d'environ 28 700 km² (Mathieu, 1990 ; CRODT, 1991 ; Atlas du Sénégal, 2007), le Sénégal est un pays à forte vocation maritime. Du fait de sa position géographique avantageuse, des conditions hydrologiques particulièrement favorables en raison, de l'existence d'upwellings, d'un ensoleillement qui s'étend sur presque toute l'année, des côtes rocheuses diversifiées et d'une flore marine riche où se côtoient des groupes biogéographiques très différents, le Sénégal se trouve doté de grandes potentialités en matière de ressources algales exploitables (MEMTMI, 2006).

Concernant la recherche fondamentale, on constate que depuis les premiers travaux de Chevalier (1920), portant sur la flore aquatique de l'Afrique sahélo-soudanienne, les connaissances phycologiques, concernant le Sénégal, restent fragmentaires bien que les algues

marines constituent une biodiversité assez riche du littoral sénégalais (Trochain, 1940 ; Dangeard, 1952 ; Sourie, 1954 ; Bodard, 1966a ; 1966b ; 1971 ; Bodard et Mollion, 1974 ; Mollion, 1975 ; Harper et Garbary, 1997 ; Bodian, 2000 ; John *et al.*, 2004 ; Diédhiou, 2011 ; Guèye, 2016).

Vers la fin des années 70 et le début des années 2000, quelques travaux épisodiques des auteurs comme Mollion (1979a, 1979b) ; Batoko-Yacoubou (1981, 1983) ; Leclercq (1984) ; Dème-Gningue (1985) ; Touré (1985) ; Fostier (1989) ; Miralles *et al.* (1989) ; Moellet-Nzaou (1991) ; Fostier *et al.* (1992) ; Chopin *et al.* (1993) ; Harper et Garbary (1997) ; Sissokho-Diop (2003) ; se sont intéressés à la biochimie et à la valorisation des algues marines sénégalaises. Depuis, ces travaux n'ont plus donné suite !

D'autre part, il n'existe pas, à l'heure actuelle, à l'échelle nationale, de situation générale de référence sur cette flore marine, comme à l'exemple du Maroc (ONEM, 1998) alors que celle de la flore terrestre a été bien caractérisée par les travaux de Ba et Noba (2001). Ces mêmes auteurs rapportent, que la biologie et l'écologie des certaines espèces d'algues marines méritent d'être mieux connues pour qu'il puisse être envisagé leur exploitation durable. De tels éléments permettraient : i) de disposer de données qualitatives et quantitatives sur les espèces ; ii) de comprendre leur rôle dans le fonctionnement de l'écosystème marin ; iii) d'exploiter de façon rationnelle celles à intérêt économique en s'appuyant sur une connaissance exacte des stocks et de leurs fluctuations ; iv) mais également, d'informer ou conseiller les décideurs sur les politiques de gestion.

Concernant l'exploitation, les données de recherche disponibles indiquent que cette ressource est quasi-inexploitée si l'on se réfère à la faible production moyenne annuelle estimée entre 80 et 100 tonnes par an (MEMTMI, 2006). Cette situation constitue un paradoxe au regard du contexte mondial, marqué par un développement fulgurant de l'exploitation des algues marines. Le développement de la filière des algues marines peut constituer une alternative à la pêche de capture dans un pays où les autres ressources halieutiques (poissons, crustacées, mollusques) sont surexploitées ou en voie de l'être (MEMTMI, 2006). La biomasse de certaines espèces d'intérêt économique peut, également être valorisée à travers de nombreuses applications modernes.

Si les études menées jusqu'ici sont restées approximatives, fragmentaires et souvent limitées à un niveau global (Trochain, 1940 ; Dangeard, 1952 ; Sourie, 1954 ; Bodard, 1966a ; 1966b ; 1971 ; Bodard et Mollion, 1974 ; Mollion, 1975 ; Harper et Garbary, 1997), en revanche, il y a très peu de données scientifiques précises sur des zones circonscrites du littoral. C'est ainsi que cette étude se propose de contribuer à l'actualisation des connaissances sur ce groupe floristique, sur une zone bien localisée du littoral qui va de la presqu'île du Cap-vert à la Petite Côte. La spécificité de cette frange du littoral est qu'elle est constituée d'écosystèmes diversifiés et riches mais, malheureusement, menacés par la conjonction de phénomènes naturels (changement climatique) et de l'effet d'une forte pression anthropique (concentration démographique et économique) (Niang-Diop, 1996 ; Niang, 2009 ; Diop *et al.*, 2016).

Sur cette zone bien définie du littoral, nous nous proposons de réaliser une situation précise du potentiel qualitatif et quantitatif des algues macrophytes marines en vue de leur exploitation et leur gestion durable. Plus spécifiquement, il s'agit :

- d'inventorier les espèces d'algue présentes ;

- de caractériser la dynamique spatio-temporelle des espèces sur des sites présentant des caractéristiques hydrodynamiques, sédimentologiques et géomorphologiques contrastées ;
- d'estimer le potentiel en termes de biomasse, d'utilisation et de valorisation des espèces les plus importantes sur le plan social et économique et
- de formuler des propositions de gestion rationnelle.

APPROCHE METHODOLOGIQUE DE L'ETUDE

Partant des objectifs spécifiques de l'étude, la méthodologie adoptée pour aborder la question de recherche s'articule en quatre étapes qui font l'objet des chapitres qui vont suivre où, dans chacun, nous précisons d'avantage la méthodologie utilisée.

INVENTAIRE DES RESSOURCES ALGALES, CARACTERISATION DE LA BIODIVERSITE SPECIFIQUE ET CARTOGRAPHIE DE LEUR REPARTITION

Cet inventaire a été réalisé le long de la bande côtière allant de la presqu'île du Cap-Vert (Yoff) à la Petite Côte (Joal), (figure 19). Les sites d'échantillonnage ont été identifiés et retenus à partir d'enquêtes préliminaires et de prospection de terrain. Ils ont aussi été choisis, en tenant en compte de la diversité des habitats sur la bande côtière qui explique la variation spatiale des peuplements littoraux. Ce choix tient compte, à la fois, des facteurs environnementaux et de l'hydrologie en rapport direct avec la conformation des côtes. L'accessibilité des sites a été également un critère de choix. Pour la cartographie, la méthodologie utilisée pour la réalisation des produits cartographiques s'appuie sur les investigations de terrain, l'utilisation de supports cartographiques (cartes, images) et de logiciel du système d'information géographique (ArcGis).

DETERMINATION DE LA VARIATION SPATIALE ET TEMPORELLE DES ESPECES

Il s'est agi, dans cette partie, de déterminer la variation temporelle et spatiale des algues au cours d'un cycle annuel et de suivre les facteurs agissant sur leur évolution à travers les mesures des paramètres physiques et chimiques du milieu.

ESTIMATION DE LA BIOMASSE DES PRINCIPALES ESPECES D'INTERET ECONOMIQUE

L'estimation de la biomasse a concerné les espèces d'intérêt économique qui font, aujourd'hui, l'objet d'une exploitation par les communautés côtières du littoral centre. Au départ, l'idée était de faire des prélèvements, par plongée sous-marine, dans les sites retenus. Cette technique s'est révélée excessivement chère par rapport aux moyens à disposition et posait quelques difficultés au niveau de la Petite Côte où la profondeur des fonds marins, la turbidité de l'eau de mer ne permettaient pas de visualiser les fonds marins avec l'utilisation de la photographie aérienne. Il a été finalement été retenu d'échantillonner les algues d'échouages et celles vivant sur l'estran.

ENQUETES SOCIO-ECONOMIQUES SUR LES ACTIVITES D'EXPLOITATION DES ALGUES ET EVALUATION DU POTENTIEL DE VALORISATION DES ESPECES D'INTERET ECONOMIQUE

Les enquêtes socio-économiques sur les activités d'exploitation des algues marines par les communautés côtières visent à réaliser un état initial qui va déboucher sur un suivi de l'activité d'exploitation. Pour ces activités mal connues, il est indispensable d'avoir une vision générale sur les pratiques, les pratiquants et les ressources exploitées. Cette approche permet de

discriminer les usages sur le plan qualitatif (diagnostic des pratiques, types d'exploitants, répartition des exploitants ; évaluation des connaissances sur la réglementation, etc.) et sur le plan quantitatif (quantification des prélèvements).

L'évaluation du potentiel de valorisation des algues s'est faite à partir de recherches bibliographiques sur les possibilités d'utilisation des algues dans le monde, d'enquêtes sur le terrain et d'échantillonnage sur la disponibilité des algues le long du littoral centre, en cherchant à ressortir celles qui offrent les potentiels les plus prometteurs pour développer une filière algale au Sénégal.

Chapitre 1

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 INTRODUCTION

Le fil des connaissances relatif aux algues remonte à plus de deux mille ans. Cependant, ce n'est que depuis trois cents ans que les savoirs sur cette ressource se sont réellement étendus formant désormais, une science qui se développe rapidement. Mais l'histoire des algues part de l'évolution des végétaux dans son ensemble. Un panorama complet du développement de cette science est bien synthétisé dans les ouvrages, entre autres, de Perez (1997) "*Ces algues qui nous entourent*", de Sze (1998) "*A Biology of the Algae*", de Lee (1999) "*Phycology*", de Magnin-Gonze (2004) "*Histoire de la Botanique*", de De Reviers (2002, 2003) "*Biologie et Phylogénie des Algues*".

1.2 EVOLUTION DE LA SYSTEMATIQUE DES ALGUES

La phycologie est la science qui étudie les algues (OQLF, 2014) et la systématique une méthode de classification des vivants, fondée sur les ressemblances entre individus (Destombe, 2011) Nous donnons, ci-dessous, un bref rappel de l'étude de l'évolution de la classification des végétaux et des algues à travers quelques repères historiques.

1.2.1 RAPPEL HISTORIQUE SUR LA SYSTEMATIQUE DES VEGETAUX

Le souci de classer l'ensemble des végétaux est né très tôt, dès l'Antiquité ! La première classification connue vient d'Egypte (1600 av. Jésus Christ). Cette classification arrangeait les plantes selon leurs usages et leurs propriétés médicinales. Aristote (vers 325 av. Jésus-Christ), dans son ouvrage "*Traité des Plantes*", classait les végétaux selon leur taille. Après Aristote, Théophraste (vers 350 av. Jésus-Christ), dans son ouvrage "*Histoire des Plantes*" (*Historia Plantarum*), est le premier à recenser les principales plantes connues de son époque et les classait selon leur taille en arbres, arbustes, arbrisseaux et herbes (Magnin-Gonze, 2004 ; De Wit, 1982-1989).

Au Moyen Âge, il convient de noter la grande importance qu'ont eue les Arabes. Selon Magnin-Gonze (2004), le penseur kurde Ābu Ḥanīfah Āḥmad ibn Dawūd Dīnawārī (828-896) est considéré comme le fondateur de la botanique arabe par son ouvrage *Kitāb al-nabāt* («Le livre des plantes»), dans lequel sont recensées, au moins, 637 espèces de plantes et qui expose le développement de la plante, de la germination à la sénescence, en décrivant les étapes de la croissance et de la production des fleurs et des fruits .

Aux XV^e et XVI^e siècles, la botanique s'est développée comme une discipline scientifique distincte de l'herboristerie et de la médecine, mais a continué de contribuer à ces deux domaines. Plusieurs facteurs ont permis le développement et le progrès de la botanique au cours de ces siècles : l'invention de l'imprimerie, l'apparition du papier pour la préparation des herbiers et le développement des jardins botaniques (Papenfuss, 1976). L'art de la description se développe et la création des premiers véritables herbiers améliore grandement les échanges entre botanistes. L'observation attentive des plantes amène les auteurs à établir des relations entre-elles. De nombreuses classifications basées sur différents critères sont proposées : usage des plantes, morphologie des feuilles, de la graine, etc. (Magnin-Gonze, 2004).

Vers la fin de XVII^e siècle, c'est le début des premières observations des plantes au microscope et, les études sur l'anatomie végétale connaissent un grand développement, ce qui devait exercer une grande influence sur les classifications ultérieures, selon Magnin-Gonze (2004).

Le XVIII^e siècle est dominé par l'œuvre de Carl Von Linné ! D'après Papenfuss (1976), c'est à Linné qu'on doit le mérite de l'arrangement des plantes dans un certain ordre dans son ouvrage "*Systema Naturae*". Il considère, selon la formule d'Edward Coke "*Nomina si nescis, perit cognitio rerum*" : *la connaissance des choses périt par l'ignorance du nom*", que la connaissance scientifique nécessite de nommer les choses. Linné généralise le système de nomenclature binominale. La nomenclature qu'il établit alors et la hiérarchisation des classifications en classe, ordre, genre, espèce et variété s'impose au XIX^e siècle comme la nomenclature standard (Papenfuss, 1976 ; Magnin-Gonze, 2004 ; De Wit, 1982-1989).

Au XIX^e siècle, l'on introduit l'arbre généalogique des végétaux : la phylogénèse ! Papenfuss (1976) rapporte que c'est d'abord par les travaux de Lamarck (1744-1829) puis de Darwin (1809-1882), dans ses théories sur l'évolution des espèces que la phylogénèse s'affirma. Les classifications futures reposeront sur la généalogie des espèces. Brown (1773-1858) différencie les angiospermes des gymnospermes, il est à l'origine, en 1827, du mouvement brownien.

Les XIX^e et XX^e siècles ont été particulièrement féconds pour la recherche botanique, conduisant à la création de nombreuses disciplines comme l'écologie, la géobotanique, la cytogénétique et la biologie moléculaire et, au cours des dernières décennies, à une conception de la taxinomie sur une base phylogénétique et aux analyses moléculaires de l'ADN (Magnin-Gonze, 2004).

1.2.2 RAPPEL HISTORIQUE SUR LA SYSTEMATIQUE DES ALGUES

Les premières références aux algues sont à rechercher dans les écrits de la littérature chinoise antique. Au Japon, des textes anciens datant de plus de 6.000 ans rapportent l'utilisation des algues comme remèdes pour divers problèmes de santé. D'après Smith (1955), c'est Linné qui posa les fondements de la systématique biologique moderne et de la nomenclature dans son ouvrage *Species Plantarum* (1753). Il développa un système cohérent pour nommer les organismes et divisa le règne végétal en 25 classes. L'une d'elle, la classe Cryptogamia, comprenait tous les végétaux munis d'organes reproducteurs cachés. Il divisa la Classe Cryptogamia en quatre ordres : Filices (fougères), Musci (mousses), Algae (algues) et Fungi (champignons)

Plus tard, Agardh (1785-1859) fut le premier à souligner l'importance des caractères reproductifs chez les algues et à les utiliser pour distinguer les différents genres et familles (Papenfuss, 1976). Son fils, Jakob Georg Agardh (1813-1901) entreprit l'étude du cycle de vie des algues et décrivit bon nombre de nouveaux genres et de nouvelles espèces

D'après Dixon and Irvine (1977), c'est Lamouroux (1779-1825) qui fut le tout premier, en 1813, à séparer les algues en groupes sur la base de leur couleur. Selon Papenfuss (1976), les livres d'Harvey (1811-1866) montrent une remarquable connaissance de la distribution des algues, d'où qu'elles viennent du monde.

Entre 1935 et 1945, Fritsch (1879-1954) publia son traité en deux volumes : *La structure et la reproduction des algues*. Ces deux volumes détaillent pratiquement tout ce qui était alors connu à propos de la morphologie et de la reproduction des algues (Papenfuss, 1976).

Aujourd'hui, c'est l'avènement de la classification des algues basée sur la systématique moléculaire avec l'utilisation des marqueurs nucléaires (ADN ribosomique). La phylogénétique moléculaire est l'utilisation de séquences de macromolécules biologiques pour obtenir des informations sur l'histoire évolutive des êtres vivants, et notamment sur leurs liens de parenté (leur phylogénie). C'est un des outils d'étude de l'évolution moléculaire (Delsuc *et al.*, 2005). Le produit d'une analyse de phylogénétique moléculaire est soit un arbre phylogénétique, soit un graphe du réseau phylogénétique.

1.3 PRINCIPAUX CRITERES DE CLASSIFICATION DES ALGUES

1.3.1 EVOLUTION DES PRINCIPAUX CRITERES DANS LA CLASSIFICATION DES ALGUES

Actuellement, si au niveau des grands groupes d'algues, les caractères d'ordre cytologique et biochimique sont ceux qui interviennent le plus dans la classification, ce sont, jadis, les caractéristiques morphologiques qui ont joué le rôle le plus important au niveau des ordres, familles, genres et espèces. Ce type de classification basée sur des critères morphologiques a été utilisée par les chercheurs comme Linné (1758), Lamouroux (1813), Copeland (1956), Whittaker (1969), Leedale (1974). Cependant, l'incapacité à distinguer les traits diagnostiques de la plasticité phénotypique a souvent contribué à des erreurs dans la délimitation de l'espèce (Tronholm *et al.*, 2010). En effet, les algues présentent généralement une morphologie qui peut varier en fonction des conditions environnementales (plasticité phénotypique). Par ailleurs, l'insuffisance du nombre de caractères diagnostiques a souvent conduit à une sous-estimation du nombre d'espèces.

Aujourd'hui, heureusement, les données moléculaires permettent d'obtenir des informations sur l'histoire évolutive des organismes. On introduit ainsi le concept de systématique moléculaire et de systématique phylogénétique qui prend en compte l'évolution de l'Espèce (Destombe, 2011). Le développement d'outils moléculaires performants permet, actuellement, d'appréhender différemment l'identification ou la délimitation des espèces (Saunders, 2005, Saunders *et al.*, 2005 ; Saunders *et al.*, 2010 ; Geoffroy, 2012 ; Lagourgue, 2015) et a permis de montrer l'existence d'espèces cryptiques, espèces non distinguables morphologiquement mais génétiquement différentes (Bickford *et al.*, 2007).

Les classifications modernes sont "phylogénétiques", c'est-à-dire qu'elles distinguent des groupes dits monophylétiques qui réunissent chacun un ancêtre commun et toute sa descendance (figure 1). Cette méthode tente de retrouver le scénario historique de l'évolution. C'est grâce à l'étude comparative des génomes de leurs noyaux, de leurs chloroplastes et de leurs mitochondries, que l'on sait aujourd'hui que les algues ne forment pas un groupe monophylétique mais ont évolué en plusieurs lignées indépendantes (Margulis, 1996 ; De Reviers, 2002-2003).

D'un ancêtre commun des algues rouges actuelles, les algues vertes ont subi de profonds changements dans la structure des chloroplastes et ont évolué vers les plantes vertes, mousses, hépatiques et plantes vasculaires constituant la lignée verte. Quant aux algues brunes (Fucophyceae), elles appartiennent à une autre lignée, celle des Hétérokontes qui regroupent des algues microscopiques comme les Diatomées, mais aussi des organismes non

photosynthétiques comme les Oomycètes. Feldmann (1963) écrivait : "les algues constituent en réalité un vaste ensemble hétérogène d'embranchements très distincts les uns des autres et n'ayant entre eux que peu de caractères communs".

Ces nouvelles informations ont amené certains auteurs comme De Reviers (2003), Bourrelly (1968), Lecointre & Le Guyader (2001), Cabioch *et al.* (2006), à repréciser la classification de ce groupe floristique.

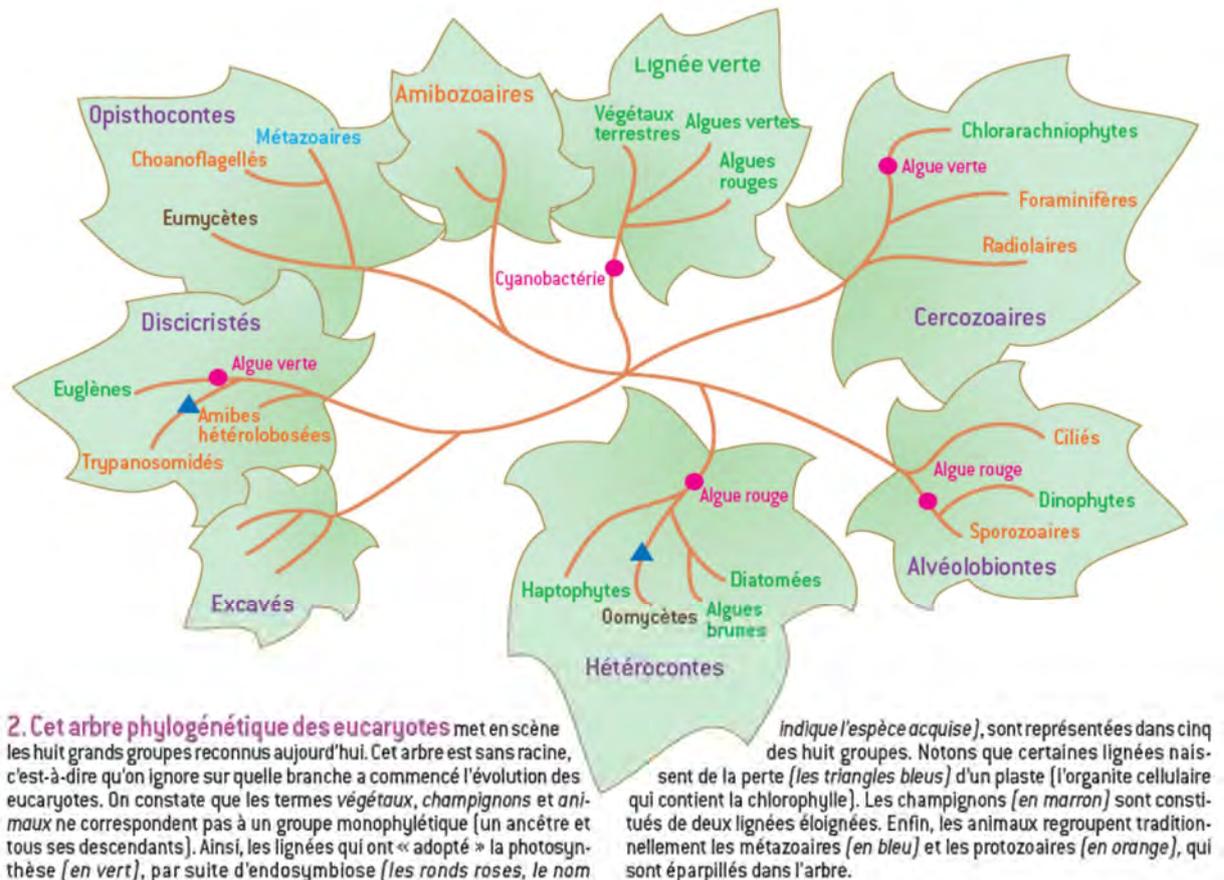


Figure 1. Place des algues dans la classification des eucaryotes d'après la systématique moléculaire (d'après Destombe, 2011)

Ainsi, d'après De Reviers (2002, 2003), les algues ne constituent pas, au sein des végétaux, un ensemble homogène, mais se répartissent entre un certain nombre de voies évolutives complètement indépendantes les unes des autres.

Selon Cabioch *et al.* (2006) et Bourrelly (1968), pour ce qui concerne le seul cas des algues marines, en simplifiant beaucoup, on distingue une "voie rouge" avec les algues rouges, une "voie brune" avec les algues brunes et une "voie verte" qui regroupe, à la fois, les algues vertes, les mousses, les fougères et les plantes à fleurs. Apparemment, Il y aurait, malgré les convergences de forme, plus de différences génétiques entre une algue brune comme le fucus et une algue verte comme l'ulve, qu'entre cette dernière et un chêne. Cette grande hétérogénéité explique la richesse et la diversité biochimique à l'origine de leur exploitation.

1.3.2 CLASSIFICATION ACTUELLE DES ALGUES

Aujourd'hui, encore, la classification des algues repose, sur le principe de la coloration (présence des pigments). Les pigments et la couleur ont depuis longtemps constitués un caractère important dans la classification des algues. Lamouroux (1813) fut le premier à proposer une classification des algues d'après leur couleur. Cette idée de classification fut reprise par Harvey (1836) qui distingua 4 groupes : Melanospermae (brun noir) ; Rhodospermae (rouge) ; Chlorospermae (vert) et Diatomaceae (doré). Cette classification fut, également, reprise par Pascher (1931) qui distingua : les algues rouges (Rhodophyta) ; les algues "brun-doré" (Chromophyta – Cryptophyta) ; les algues vertes (Chlorophyta) et les algues bleues (Cyanophyta).

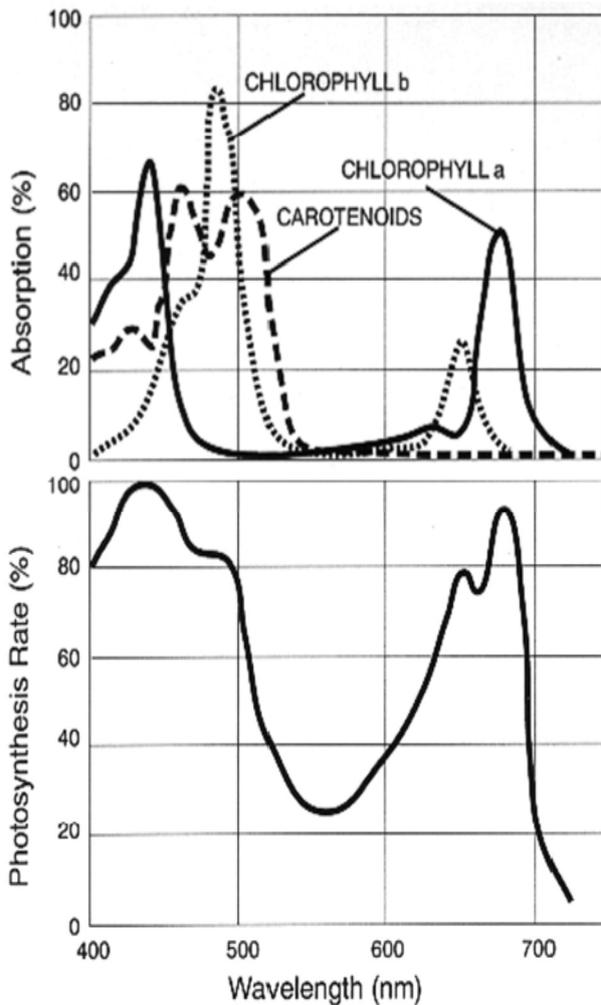
Selon Perez (1997), le monde marin abrite trois à quatre groupes de végétaux distincts : vert, rouge, brun, bleu, alors que le monde terrestre est surtout (mais pas uniquement) un monde végétal vert. Les végétaux verts sont, d'après Perez (*op. cit*) les plus anciens, dérivant de premiers micro-organismes photosynthétiques sans doute voisins de nos cyanobactéries actuelles. Ils ont pu coloniser, depuis les océans, les rivières et les eaux douces, puis les terres émergées. Les dernières venues, les algues brunes sont essentiellement marines : elles n'ont pas eu le temps d'aborder l'espace terrestre (tableau 1).

Ces distinctions d'âge et de couleur des différents règnes végétaux se retrouvent dans leur composition biochimique : pigments photosynthétiques, substances de réserve (amidon : α -1-4 glucanes) chez les verts et rouges et laminarane (β -1-3 glucanes) chez les bruns. Les constituants des parois cellulaires et extracellulaires sont la cellulose chez les verts, les agars et carraghénanes chez les rouges, les alginates chez les bruns (Kornprobst, 2005).

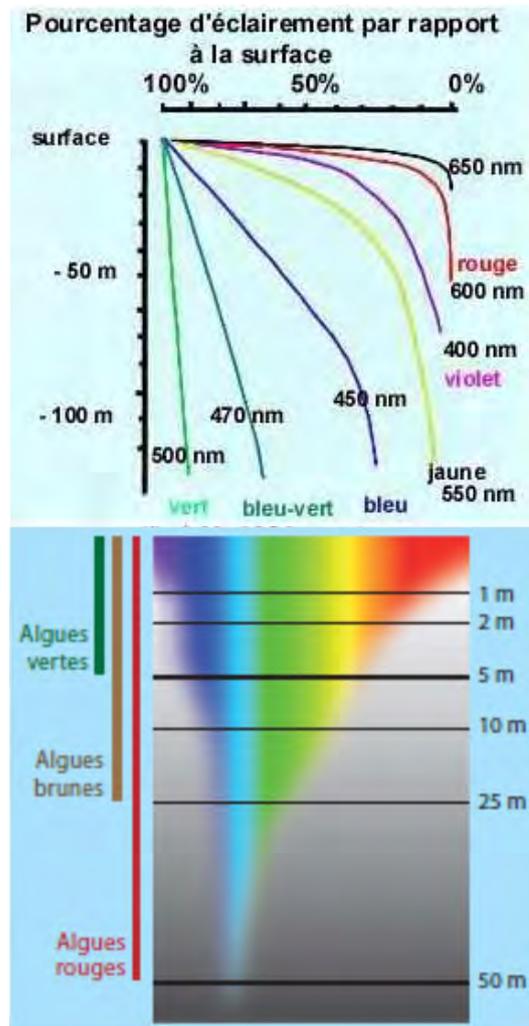
Tableau 1. Les trois mondes des végétaux (d'après Kornprobst, 2005)

Les trois mondes végétaux			
	Vert	Rouge	Brun
Pigments	Chl. a & b Caroténoïdes	Chl. A Caroténoïdes	Chl. a & c Caroténoïdes Phycobilines
Réserves	Amidon (α -1,4 glucanes)	Amidon Floridéen (α -1,4 glucanes)	Laminaranes (β -1-3 glucanes)
Parois	Cellulose (β -1,4 glucans)	Carraghénanes Agars (galactanes sulfatés)	Acides alginiques (poly-mannuronates) Acides fuciniques (fucanes sulfatés)

Les végétaux améliorent leur capacité de photosynthèse grâce à ces pigments autres que la chlorophylle a. Ils ne sont pas capables de réaliser la photosynthèse mais captent la lumière à laquelle la chlorophylle a n'est pas sensible pour lui en transmettre l'énergie. Ces "pigments accessoires" sont d'autant plus utiles aux algues qu'elles ne reçoivent qu'une lumière réduite (à 10 m sous la surface, l'intensité lumineuse a été divisée par 7 et presque toutes les radiations rouges ont disparu). La nature et l'abondance de ces pigments expliquerait selon certains auteurs dont LeClerk et Floc'h (2010), la succession verticale des algues, des vertes (toujours proches de la surface) aux brunes puis aux rouges (qui peuvent vivre plus au fond), (figure 2).



(1)



(2)

Figure 2. Spectre d'absorption de la lumière de quelques uns des pigments présents chez les algues marines (1) et pénétration de la lumière et limite approximative de profondeur de répartition des algues (2). (Sources : John, 1994 ; Cabioch *et al.*, 1992)

1.3.2.1 Algues rouges ou Rhodophycées

Les Rhodophycées forment un groupe homogène (monophylétique) possédant des plastes endosymbiotiques primaires (dérivant de bactéries qui ont vécu en symbiose à l'intérieur d'une bactérie rouge ancestrale) contenant un système membranaire (thylacoïdes à double paroi) portant des pigments chlorophylliens (chlorophylles a et d + caroténoïdes) et des bilichroprotéines (phycoérythrine rouge, phycocyanine bleue, allophycocyanine bleu turquoise) leur donnant une couleur qui varie du rose au rouge vif au violet et au vert (Perez, 1997 ; Cabioch *et al.*, 2006). D'après Kornprobst (2005), la paroi cellulaire ne contient pas de cellulose mais des agars-agars ou des carraghénanes (polymères du galactose associés à des radicaux sulfates). Ces cellules, y compris les cellules sexuelles, sont dépourvues de flagelles.

1.3.2.2 Algues vertes ou Chlorophycées

D'un ancêtre commun avec les algues rouges actuelles, les algues vertes ont subi de profonds changements dans la structure des chloroplastes et ont évolué vers les plantes vertes, mousses,

hépatiques et plantes vasculaires constituant la lignée verte (Perez, 1997 ; Cabioch *et al.*, 2006 ; Reymond et Jauzein, 2007). Les Chlorophycées sont toutes des algues eucaryotes à plastes verts renfermant de la chlorophylle *a* et de la chlorophylle *b*, associées à du β -carotène et à des xanthophylles identiques à celles des plantes supérieures.

Toutefois, d'après Feldmann (1963), Feldmann & Magne (1964) ; les Chlorophycées des ordres tels que les Codiales, Derbesiales et Caulerpales, ainsi que quelques autres espèces, renferment en outre, dans leurs plastes des xanthophylles spéciales (siphonéine et siphonoxanthine). La morphologie de l'appareil plastidial est très variable selon les groupes et révèle une évolution très nette depuis les formes archéoplastidiées jusqu'aux formes néoplastidiées. Chez presque toutes les Chlorophycées, la substance de réserve fondamentale est de l'amidon vrai contenu sous forme de grains dans les plastes (Feldmann et Magne, 1964 ; Kornprobst, 2005).

1.3.2.3 Algues brunes ou Phéophycées

Les algues brunes, aussi nommées Phéophycées sont une classe d'algues de l'embranchement des Ochrophyta (Van Den Hoek *et al.*, 1995, De Reviers, 2003). Ce sont des algues qui utilisent comme pigment la chlorophylle *c* combinée à un pigment brun, la fucoxanthine. Elles sont moins diversifiées que les algues vertes, mais plus que les algues rouges. Leur taille varie de l'échelle microscopique à environ dix mètres de long. Elles sont presque exclusivement marines. Elles ne sont jamais unicellulaires et leurs cellules reproductrices mobiles (zoïdes) possèdent deux flagelles, l'un antérieur, l'autre postérieur, insérés sur le côté de la cellule (Feldmann, 1963 ; Daniel & Emmanuelle, 1989).

1.4 DIVERSITE DU GROUPE DES ALGUES MACROPHYTES

Combien existe-t-il d'espèces d'algues ? D'après Person (2010), il est difficile de répondre à cette question tant leur nombre est grand, leur diversité inconnue et leur recensement et classification en constante évolution. Les algues macrophytes ou macroalgues sont des organismes multicellulaires dont l'appareil végétatif est visible à l'œil nu, ce qui les distingue des microalgues.

La base de données internationale sur les algues Algaebase (Guiry and Gury, 2014) recense environ 127.000 noms d'espèce, dont la majorité est constituée de microalgues. Il faut noter que les travaux de systématique moléculaire de ces 20 dernières années ont montré que notre connaissance de la diversité des algues était lacunaire. Des phénomènes tels que la convergence morphologique ou encore la plasticité phénotypique rendent difficile la détermination de la diversité spécifique à partir d'observations morpho-anatomiques seules et dressent un enjeu majeur dans le domaine de l'identification (Le Gall *in* Lagourgue, 2015).

Selon Mathieu (2011), Il y aurait environ 9.000 espèces d'algues macrophytes marines. Ce nombre est largement au-delà des estimations de Cole et Sheath (1990) qui citent 4.437 espèces à travers le monde dont 2.540 espèces de Rhodophycées, 997 espèces de Phéophycées et 900 espèces de Chlorophycées (tableau 2).

Tableau 2. Selected estimates of numbers of species of marines Rhodophyta, Phaeophyta, and Chlorophyta occurring in particular regions or on a world scale (d'après Cole and Sheath, 1990)

Region	Rhodo- phyta	Phaeo- phyta	Chloro- phyta	Reference
Worldwide	2,540	997	900	Dring 1982
North Atlantic Ocean	589	324	258	South 1987
Southern Australia	800	231	123	Womersley 1981, 1984, 1987

Boudouresque (1995) publie dans le tableau 3, un recensement des divers taxons de chlorophytes, rhodophytes et pheophycées dans les différentes mers du monde.

Tableau 3. Effectifs des taxons Chlorophyta, Fucophyceae et Rhodophyta marins dans quelques mers régionales du monde (Boudouresque, 1995)

Mer	Surface (en km ²)	Chloro- phyta	Fuco- phyceae	Rhodo- phyta	TOTAL	Sources
Mer du Groenland	1 200 000	96	136	135	367	SOUTH et TITILEY, 1986*
Mer du Nord	570 000	136	214	362	712	SOUTH et TITILEY, 1986*
Baltique	420 000	128	90	111	329	PANKOW, 1971
Mer Noire	420 000	80	80	129	289	RIBERA et al., 1992*, GALLAR DO et al., 1993* ZINOVA, 1967
Sud-Est des Etats-Unis	500 000	65	59	200	324	SCHNEIDER et SEARLES, 1991*
Méditerranée (sans la Mer Noire)	2 500 000	209	255	816	1 280	RIBERA et al., 1992* GALLARDO et al., 1993* et **
Méditerranée occidentale	820 000	185	220	704	1 109	Idem et **
Adriatique	130 000	129	156	390	675	Idem et GIACCONE, 1978
Mers du Sud Australie	3 500 000	123	231	?	?	WOMRSLEY, 1984, 1987
Afrique tropicale Ouest	1 900 000	71	61	231	363	LAWSON et JOHN, 1987*,***
Golfe du Mexique	1 500 000	122	62	230	414	TAYLOR, 1960*
Mer des Caraïbes	2 800 000	159	73	330	562	TAYLOR, 1960*
Effectif total		2 500	1 500	4 000	8 000	BOURRELLY, 1972* ; BOLD et WYNNE, 1978* ; MARGULIS et SCHWARTZ, 1985* ; STRASBUR- GER et al., 1988 . LUNING, 1990

Source : extrait de UNEP(OCA)/MED WG. 100/Inf.3 (BOUDOURESQUE, 1995)

* = Valeurs calculées d'après les données des auteurs cités en référence.

** = Valeur extrapolée à partir du nombre de Fucophyceae et du rapport R/P moyen de 3,2.

*** = Les espèces «douteuses» ont été comptabilisées. Pour les côtes océaniques, la surface est calculée en multipliant la longueur de côte par 500 km de large (demi-largeur moyenne de la Méditerranée). Afrique tropicale de l'Ouest : de la Gambie à l'équateur.

Les algues vertes regroupent, selon la base de données internationale sur les algues (Algaebase a), environ 1.690 espèces d'algues macrophytes marines, appartenant à la Classe des Ulvophyceae. Peu diversifiées en eaux tempérées, les algues vertes présentent une grande diversité spécifique et morphologique en eaux tropicales. Elles peuvent être vésiculeuses, d'allure filamenteuse, en lames, ... Certaines peuvent être calcifiées (Lagourgue, 2015).

Les algues rouges comptent approximativement 6.948 espèces multicellulaires, dont la majorité appartenant à la classe des Florideophyceae (Algaebase, b) et représentant une lignée sœur des

algues vertes et plantes terrestres. Elles comprennent des formes allant d'une allure filamenteuse à des lames foliacées épaisses jusqu'à des formes encroutantes. Ces dernières peuvent présenter une calcification très importante, donnant à l'algue l'allure d'une roche. C'est le cas des corallines qui peuvent adhérer étroitement au substrat (Lagourgue, 2015). D'après De Reviers (2002, 2003), il y a environ 700 genres et plus de 10.000 espèces d'algues rouges décrites. Mais en raison des nombreux cas de synonymie, le nombre d'espèces est estimé compris entre 4.000 et 6.000.

Les algues brunes comptent 2.042 espèces (AlgaeBase, c), toutes multicellulaires, retrouvées en majorité dans les zones tempérées à froides où certaines espèces, les kelps, atteignent des records de taille et forment de véritables forêts sous-marines (Lagourgue, 2015). Les algues brunes présentent des formes allant de filaments simples à de grandes lames ou encore peuvent être calcifiées.

1.5 BIOLOGIE ET REPRODUCTION DANS LE GROUPE DES ALGUES MACROPHYTES

1.5.1 ORGANISATION DE L'APPAREIL VEGETATIF DES ALGUES MACROPHYTES

Bien que définies comme un groupe d'organismes appartenant au monde végétal, les algues présentent des structures différentes des plantes supérieures : les algues n'ont ni racine, ni tige, ni feuille, ni fleur. L'appareil végétatif a donc une structure simple, il est appelé thalle. Les algues font donc partie des thallophytes. Les formes pluricellulaires vivent le plus généralement fixées au substrat, surtout rocheux, au moyen d'un disque basal ou de crampons, encore appelés haptères. Certaines espèces d'algues présentent un rétrécissement de la base du thalle pouvant faire penser à une tige, c'est le stipe. Les parties du thalle souvent aplaties et plus ou moins larges sont appelées frondes (figure 3).

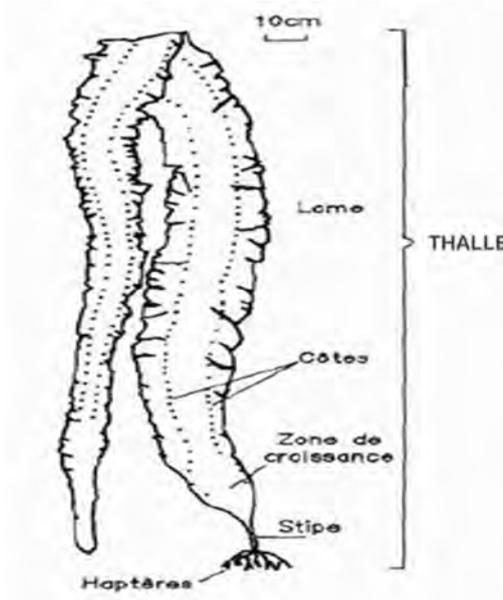


Figure 3. Morphologie du thalle de *Laminaria japonica* (d'après Perez, 1992, modifié)

L'appareil végétatif, organisé sous forme de thalle peut se présenter sous plusieurs types (figure 4). Le plus souvent, le thalle est pluricellulaire, dans ce cas on distingue les types morphologies suivants : thalle en colonie ; groupes de cellules souvent unies entre elles par une gelée (*Volvox*) ; thalle filamenteux (*Spirogyra*) ; le thalle foliacé, formé de deux couches de cellules pressées les unes contre les autres (*Ulva*) ; le thalle tubulaire où les cellules se sont associées pour former une structure en tube creux avec une seule couche de cellules (*Enteromorpha*) et le thalle à cladome ; plus complexe, le thalle est constitué de plusieurs catégories d'axes à fonction déterminée.

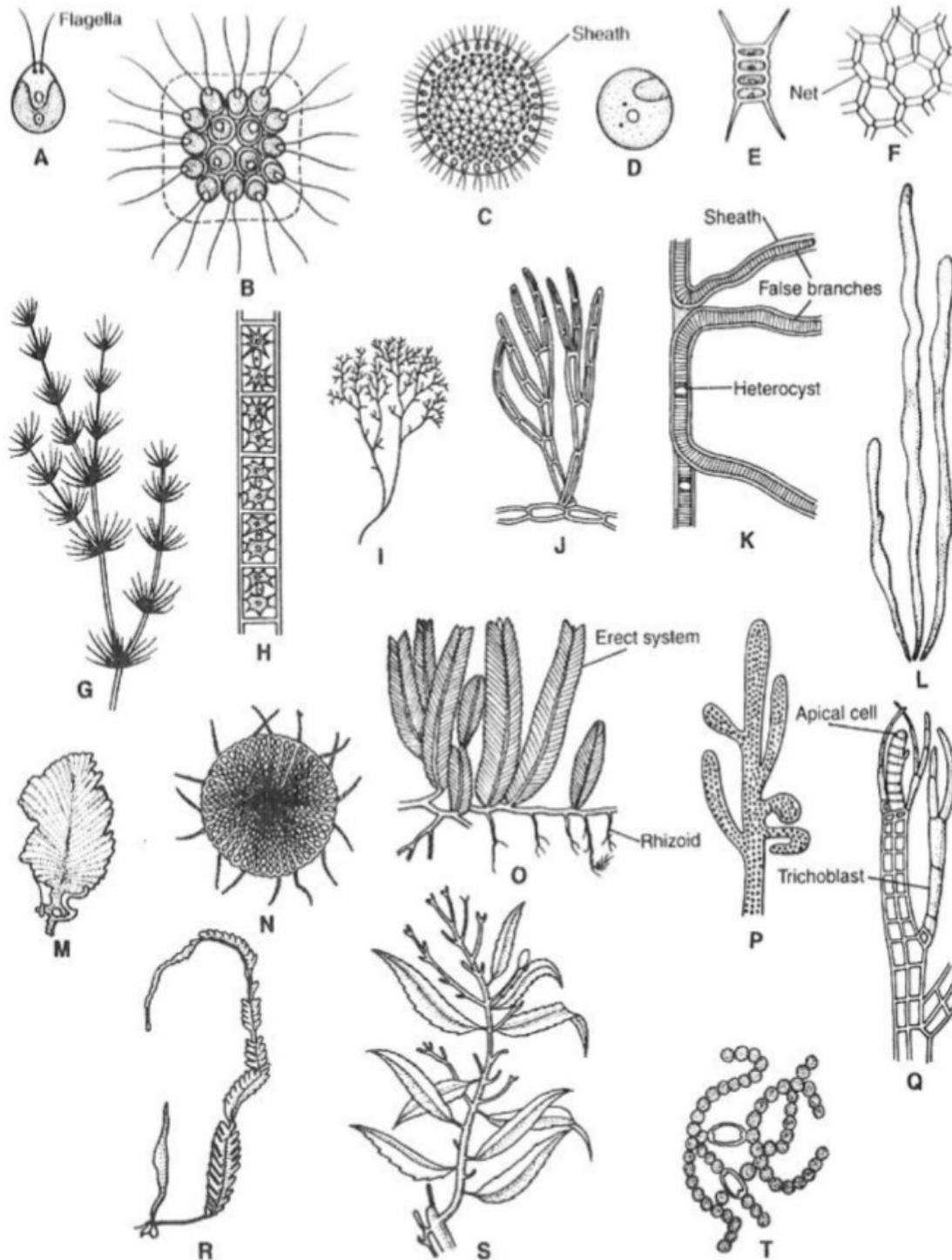


Fig. 26.1 Thallus types in Algae : (A) Unicellular biflagellate *Chlamydomonas*, (B) Coenobial *Gonium*, (C) Motile colonial *Volvox*, (D) Nonmotile unicellular *Chlorococcum*, (E) Nonmotile coenobial *Scenedesmus*, (F) Nonmotile net-like *Hydrodictyon*, (G) Branched, Corticated higher plant like *Chara*, (H) Unbranched filamentous *Zygnema*, (I-J) Branched filamentous *Cladophora*, (K) False-branched *Scytonema*, (L) Tubular parenchymatous *Enteromorpha intestinalis*, (M) Foliose parenchymatous *Ulva*, (N) Discoid *Coelochaete scutata*, (O) Siphonaceous *Codium*, (P) Siphonaceous simple branched *Vaucheria*, (Q) Polysiphonaceous *Polysiphonia*, (R) Complex thallus of *Laminaria agardhii*, (S) Well developed higher plant like *Sargassum*, (T) Unbranched filamentous *Nostoc*

Figure 4. Différents types de thalle chez les algues
 [source : Algae (Biopéra), <http://spotidoc.com/doc/724026/algae-work-book-2015>]

1.5.2 REPRODUCTION DANS LE GROUPE DES ALGUES MACROPHYTES

Le mode de reproduction des algues macrophytes et les éléments mis en jeu ont fortement évolué au cours des deux derniers milliards d'années (Gorenflot et Guern, 1989).

1.5.2.1 Reproduction sexuée

La reproduction sexuée fait intervenir des cellules spécialisées : les gamètes. Il y a des millions d'années, ces gamètes ne présentaient aucune différence morphologique, puis les cellules sexuelles femelles se sont différenciées. On a ainsi pu faire la différence entre l'organe reproducteur femelle et l'organe reproducteur mâle. La reproduction des algues est un point très important à étudier dans l'évolution des organismes. Les gamètes ne possèdent qu'un seul exemplaire de leur matériel génétique. On dit qu'elles sont haploïdes. La rencontre et la fusion de deux gamètes de sexes différents forme un œuf ou zygote.

Il existe trois cycles de reproduction différents chez les algues macrophytes :

- les cycles mono-génétiques : chaque thalle est unisexué et haploïde, il produit donc un seul type de gamète. La rencontre de sexes différents donne un zygote (œuf) diploïde qui évolue en thalle, soit mâle, soit femelle (figure 5).
- les cycles di-génétiques : l'œuf diploïde évolue en thalle (appelé meïosporophyte). Celui-ci produit des spores. Les spores évoluent en thalle unisexué haploïde qui produit les gamètes. C'est, par exemple, le cas de l'ulve (*Ulva sp.*), (figure 6).
- les cycles tri-génétiques : le zygote diploïde évolue en carposporophyte (généralement fixé comme un parasite sur le gamétophyte femelle) qui donne des carpospores qui évolueront en meïosporophytes (figure 7).

Quels que soient les grands groupes systématiques, les gamètes mâles sont toujours émis dans le milieu environnant. A l'exception des algues rouges, ce sont généralement des cellules mobiles pourvues de flagelles (Lobban et Harrison, 1994 ; Gorenflot et Guern, 1989).

Les gamètes femelles ont un comportement plus variable. Ils sont tantôt disséminés et mobiles de même taille que les gamètes mâles (algues vertes) ou bien plus gros comme chez certaines algues brunes ; tantôt immobiles mais disséminés, comme chez les algues brunes. Chez ces dernières, c'est grâce à l'émission de substances d'attraction sexuelle appelées phéromones que le gamète femelle attire les gamètes mâles mobiles. Enfin, les gamètes femelles sont chez certains groupes retenus par le gamétophyte ; le zygote issu de la fécondation se développe sur le gamétophyte porteur (exemple de *Antithamnion sp.*, figure 7).

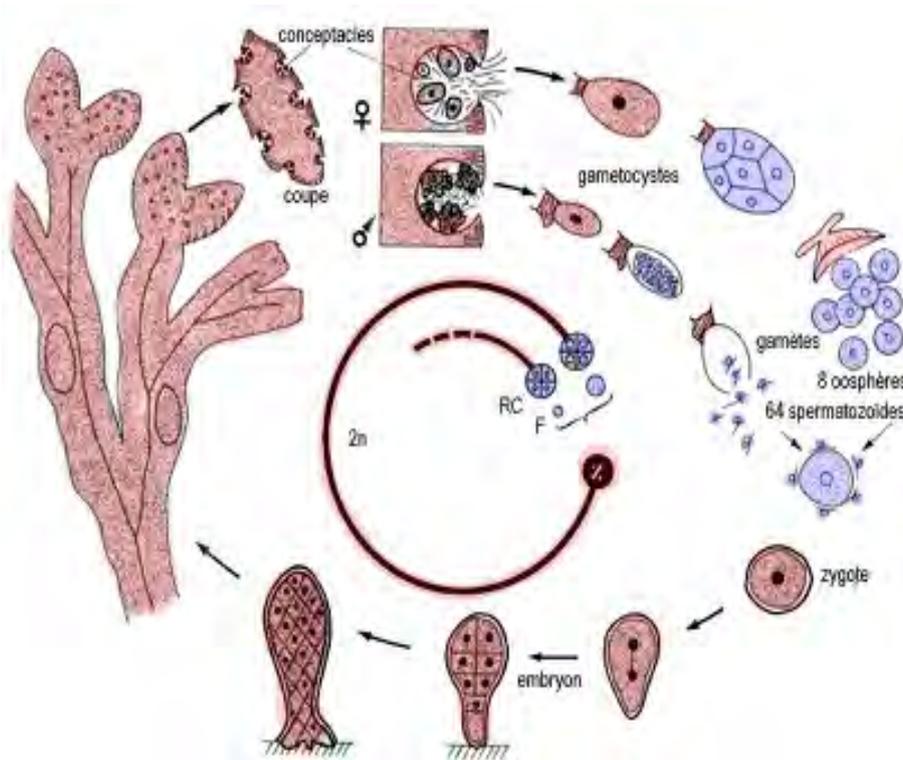


Figure 5. Cycle monogénétique diplophasique de *Fucus sp.*
(d'après Roland et Vian, 1985)

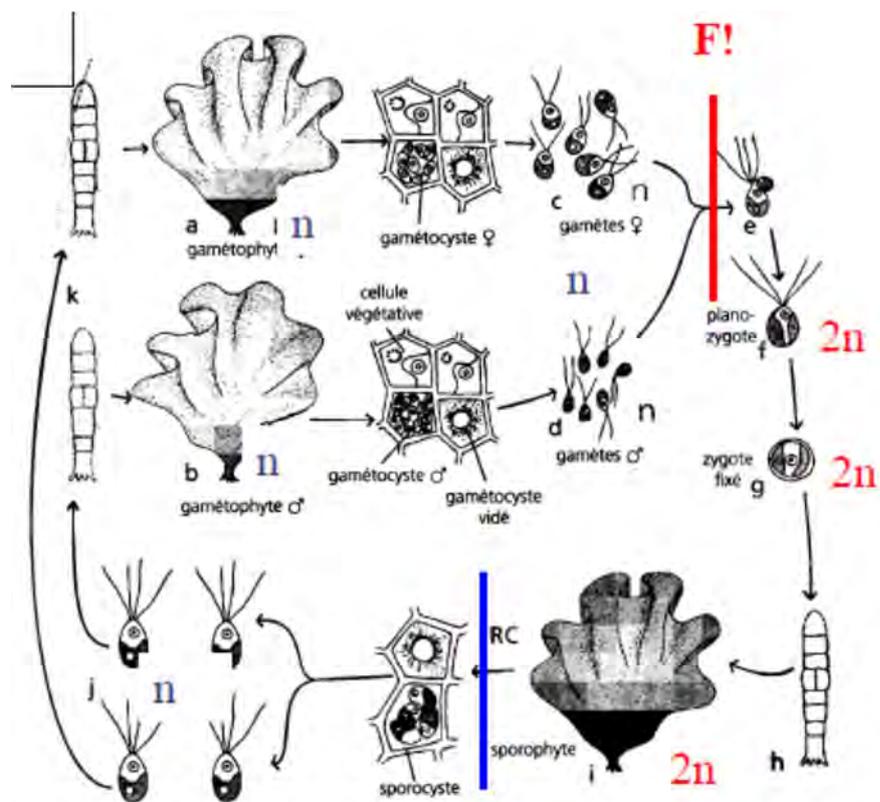


Figure 6. Cycle de reproduction digénétique haplo-diplophasique de l'algue verte *Ulva sp.*
(d'après Roland et Vian, 1985)

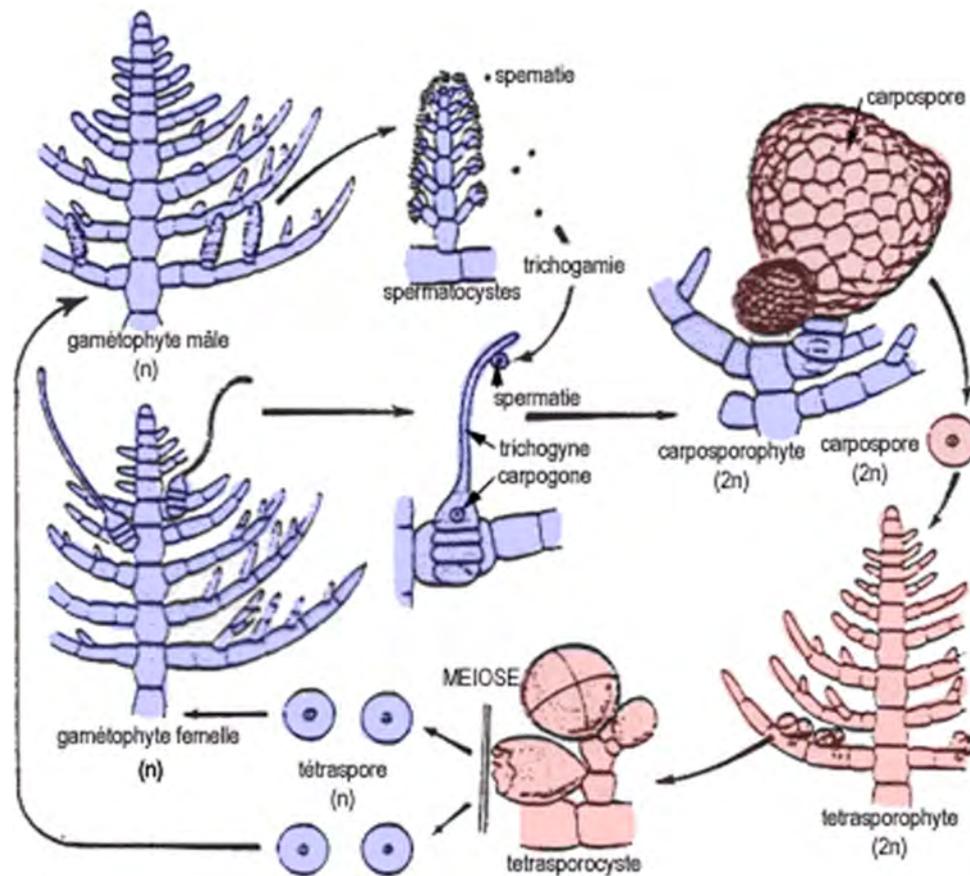


Figure 7. Cycle de reproduction trigénétique de l'algue *Antithamnion sp.* (d'après Roland et Vian, 1985)

1.5.2.2 Reproduction asexuée

Les algues peuvent, également, se développer par multiplication végétative, c'est-à-dire, sans intervention de cellules spécialisées : c'est la voie asexuée. Celle-ci est particulièrement fréquente chez les algues unicellulaires. La reproduction asexuée se fait par :

- bipartition végétative ou division mitotique pour des espèces unicellulaires ;
- fragmentation du thalle, une partie du thalle se brise, est emportée par les courants et les vagues et redonnera un nouvel individu. C'est un véritable bouturage ;
- reproduction par spores directes, formées à l'intérieur du sporocyste par division équationnelle ou mitose, ces spores redonnent un individu identique avec le même nombre de chromosomes. Ces spores sont à n (gamétophyte) ou à $2n$ (sporophytes).

1.6 ECOLOGIE DES ALGUES MACROPHYTES MARINES

Les algues sont soumises à un ensemble de conditions propres du milieu marin. Elles présentent à l'égard de celles-ci, d'une part des adaptations, d'autre part, des exigences (Gayral, 1958 ; Cabioc'h *et al.*, 2006).

1.6.1 FACTEURS ECOLOGIQUES RESPONSABLES DE LA DISTRIBUTION DES ALGUES MACROPHYTES

1.6.1.1 La lumière

Les algues étant des végétaux photosynthétiques, la lumière est indispensable à leur vie. Ce facteur intervient de différentes manières par sa quantité, sa qualité (nature des radiations) et par la photopériode (Gayral, 1958 ; Cabioc'h *et al.*, 2006).

La lumière évolue en quantité et en qualité avec la profondeur, les radiations rouges étant absorbées dès les premiers mètres. La répartition des algues suit cette évolution. Il est d'usage de distinguer trois zones en fonction de la quantité de lumière reçue (figure 8) :

- la zone euphotique (0 – 200 m) est la zone dans laquelle la quantité de lumière disponible permet à la photosynthèse d'obtenir un rendement positif (plus de gaz carbonique consommé que produit). Chaque végétal possède, en fonction de ses pigments et de son adaptation, un éclaircissement limite en-deçà duquel le rendement de la photosynthèse devient négatif.
- La zone oligophotique (200 – 500 m) est une zone dans laquelle pénètre toujours un peu de lumière, mais en quantité trop faible pour que la photosynthèse se fasse de façon correcte et pérenne.
- La zone aphotique est caractérisée par l'absence quasi-complète de lumière.

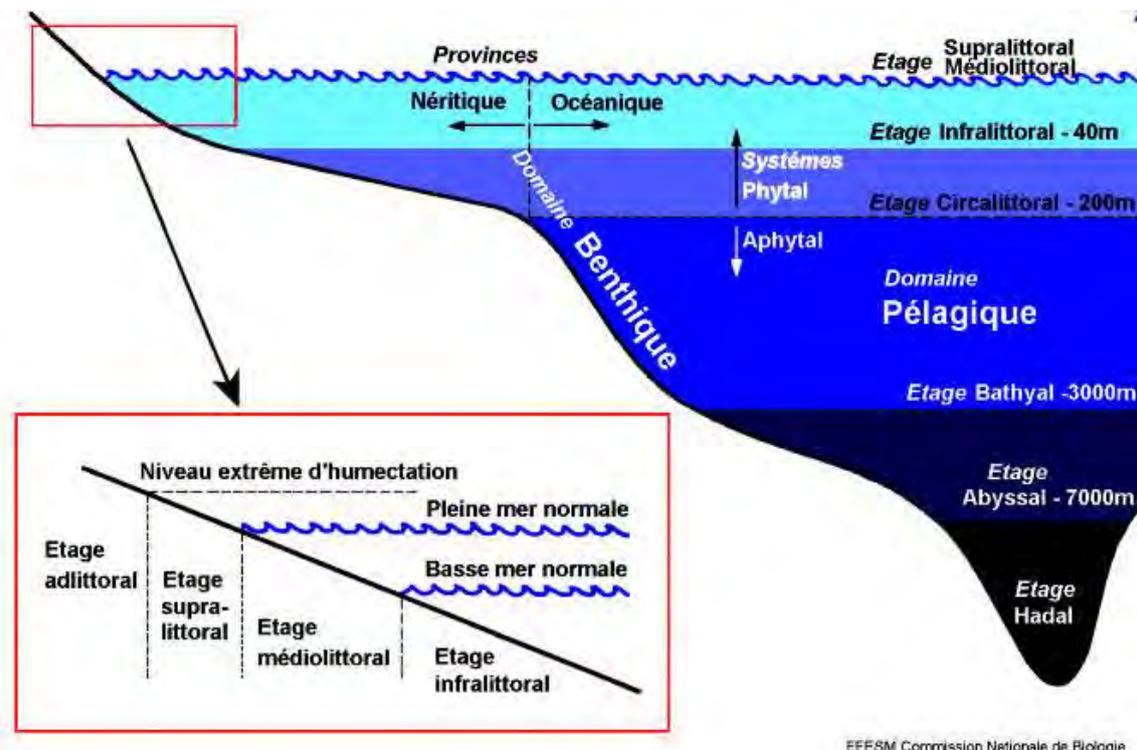


Figure 8. Subdivisions verticales du milieu marin
(d'après la Commission nationale de Biologie : <http://biologie.ffesm.fr>)

1.6.1.2 Température

La température exerce une action complexe sur les algues ; s'ajoutant à celle de la lumière, elle influe sur tous les processus métaboliques et reproducteurs (Cabioc'h *et al.*, 2006). Les variations latitudinales de la température des eaux superficielles océaniques sont la cause essentielle de la distribution géographique des espèces d'algues marines.

L'agitation superficielle de la mer facilite les échanges thermiques entre l'eau et l'atmosphère, tandis que les zones profondes ne sont guère soumises qu'aux courants et aux éventuels transferts de chaleur par conduction. Ainsi, il est classique de diviser le milieu en deux zones en fonction de la profondeur :

- dans la zone superficielle, la température varie fortement selon les saisons, et rapidement avec la profondeur. Les échanges thermiques avec l'atmosphère et l'agitation en sont la cause ;
- dans la zone profonde, la température est pratiquement constante, diminuant très légèrement avec la profondeur, pour atteindre environ 4°C dans les profondeurs des océans.

Certaines espèces supportent de très fortes variations de température. Elles sont dites eurythermes et peuvent se développer sur de vastes étendues, presque indépendamment de la saison. D'autres espèces d'algues, au contraire, ne supportent que très mal les variations de température, elles sont dites sténothermes.

Les espèces d'algues vivant dans l'étage médiolittoral doivent supporter de très larges variations de température au cours d'une journée (forte élévation de température, par exemple, lorsque la mer est soumise au rayonnement solaire en été à marée basse).

1.6.1.3 Salinité

La salinité voisine de 35 ‰ dans les eaux océaniques, peut varier considérablement en certains points des zones côtières et les algues s'accommodent de ces variations avec plus ou moins de succès. Les milieux où la salinité varie périodiquement au cours du temps sont qualifiés de milieux à salinité variable, cette variabilité étant un facteur limitant de l'adaptation des espèces (Cabioc'h *et al.*, 2006).

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. Il en résulte que les milieux à salinité variable sont des milieux à faible diversité spécifique algale. Algues brunes et algues rouges y ont très peu de représentants. Seules les algues vertes, d'ailleurs réduites à un petit nombre de genres, y sont prédominantes (Cabioc'h *et al.*, 2006).

1.6.1.4 Facteurs hydrodynamiques

Liés aux mouvements de l'eau, ces facteurs sont de première importance en facilitant la diffusion des substances dans l'eau. Cette agitation indispensable du milieu se trouve réalisée par l'hydrodynamisme lié aux vagues, à la marée et aux courants (Gayral, 1958 ; Cabioc'h *et al.*, 2006).

On distingue plusieurs "modes" selon l'impact de la houle et des courants. Les deux modes extrêmes sont le "mode battu", caractérisé par une action forte de la houle et où ne peuvent

résister que les algues spécialement adaptées à ce milieu inhospitalier, et le "*mode calme*", à l'abri des courants et de la houle. Il existe naturellement une transition continue entre ces deux modes (on parle ainsi de mode "*semi-battu*").

Les adaptations développées pour la survie en mode battu sont nombreuses. On peut citer pêle-mêle : la forme (algues encroûtantes) qui permet de réduire l'emprise des courants ; le regroupement dense, utilisant au mieux "l'union fait la force" ; les dispositifs spéciaux d'adhérence (crampons, ventouses, etc.).

1.6.1.5 Turbidité

Les matières en suspension sont présentes de manière naturelle dans le milieu, parfois de manière très abondante. L'activité de l'homme peut parfois accroître de façon très significative la présence des matières en suspension, ce qui aura deux effets :

- un taux plus élevé de matières en suspension dans l'eau se traduit par une augmentation de la turbidité et donc un moindre éclaircissement pour une même profondeur par apport à une eau moins riche en matières en suspension. Les algues marines auront donc tendance à disparaître plus tôt dans ces milieux perturbés ;
- lorsque ces matières en suspension se déposent, elles vont recouvrir le sol et asphyxier les espèces qui pouvaient s'y trouver. Un faible nombre d'espèces sont capables de survivre à cet envasement, ce qui conduira à une modification profonde de l'écosystème et à un appauvrissement général des lieux.

1.6.2 ETAGEMENT DES PEUPEMENTS DES ALGUES MACROPHYTES MARINES

La colonisation des substrats rocheux et des substrats meubles n'est pas identique le long d'un profil vertical, en milieu marin. En chaque point existe un système de conditions auxquelles correspondent des peuplements algaux. Lorsque certaines de ces conditions varient de manière particulièrement marquée, il existe des contrastes également très prononcés dans la composition des peuplements. Ce phénomène, général et mondial, est habituellement qualifié d'étagement (Cabioc'h *et al.*, 2006).

Les phycologues marins ont donc été amenés à distinguer, dans le benthos, une succession d'étages marqués par des types de peuplement. L'étage est alors défini comme un espace vertical du domaine benthique où règnent des conditions relativement homogènes auxquelles correspond un peuplement donné. Tout changement marqué de ces conditions entraîne un changement dans la composition du peuplement, annonçant le passage à l'étage suivant.

1.6.3 TYPES D'HABITAT DES ALGUES MACROPHYTES MARINES

Les algues sont liées à l'eau et peuvent dès lors s'installer dans tous les types d'habitat suffisamment humides et éclairés. On peut les retrouver en eau douce, en mer, sur sol humide et même sur la neige. Les macroalgues marines nécessitent d'être fixées sur un substrat, par conséquent, la texture, le degré de cohésion et la nature chimique du substrat ont une importance sur la répartition spatiale des espèces (Gevaert, 2001).

1.7 PRINCIPALES UTILISATIONS DES ALGUES MACROPHYTES MARINES

1.7.1 HISTORIQUE DE L'UTILISATION DES ALGUES MACROPHYTES MARINES DANS LE MONDE

L'histoire de l'utilisation des algues par les sociétés humaines a montré que les populations littorales du monde ont eu recours aux algues à un moment ou à un autre de leur évolution (Sissokho-Diop, 2003). On parle de certaines utilisations des algues effectuées par les Egyptiens il y a plus de 3.500 ans (Goulard, 1961). En Asie, l'usage de l'algue marine remonte au IV^{ème} siècle au Japon et au VI^{ème} siècle en Chine (FAO, 2004). Les premières utilisations des algues sont apparues en Occident à partir du XVII^{ème} siècle.

1.7.1.1 Utilisation dans le domaine de l'alimentation humaine et animale

Jusqu'au XVI^{ème} siècle, l'usage des algues était destiné essentiellement à la consommation locale. Vers 1660, l'extraction et la production d'agar-agar ont commencé au Japon. Ces activités ont introduit un commerce nouveau qui s'est intensifié au cours des siècles. Aujourd'hui, de nombreux aliments asiatiques sont fabriqués à partir des algues (nori, kombu, wakame) et divers gélifiants utilisés en industries agro-alimentaires (Vincent, 1924 ; Liu *et al.*, 1983 ; Murakami, 1983 ; Dème-Gningue, 1985 ; algorythme, 2005 ; CEVA, 2011 ; Person *et al.*, 2011).

1.7.1.2 Utilisation dans le domaine agricole

Les algues marines ont été utilisées comme amendement et engrais depuis le XII^{ème} siècle aussi bien en Europe qu'en Amérique (Sauvageau, 1920). Aujourd'hui encore, beaucoup de pays les utilise à cette même fin (Duval, 1966 ; Augier, 1976 ; Jiao, 1983 ; El-Sheekh & El-Saied, 2000 ; Trono, 2001).

1.7.1.3 Utilisation dans le domaine industriel

Le développement industriel a créé à partir du XVII^{ème} siècle un besoin important en produits chimiques et a ainsi favorisé diverses productions à base d'algues marines (fabrication de soude par combustion de varech ; production d'iode à partir d'algues brunes (*Laminaria*, *Macrocystis*) vers 1830, de potasse vers 1920 et d'alginate vers 1930). A partir de 1939, l'agar-agar a commencé à être extrait à partir du genre *Gelidium*, à des fins bactériologiques (milieux de culture bactérienne) puis alimentaire (tableau 4). Aujourd'hui, les produits extraits des algues sont très recherchés dans des industries aussi variées que celles de la peinture, de la fonderie, du textile, de la parfumerie et de la pharmacie (Chasse, 1982 ; Kaneda, 1983 ; Dème-Gningue, 1985 ; Netalgae, 2012).

Tableau 4. Applications industrielles des algues marines (ONEM, 1998)

Colloïdes	Propriété	CODEX C.E.E		Domaines d'utilisation et applications
		Statut alimentaire	D.J.A mg/Kg	
Agar-agar	Insoluble dans l'eau froide. Soluble dans l'eau chaude à T° > 95°C. Donne après refroidissement des gels très fermes mais cassants. Ces gels therm-irréversibles ne possèdent pas de pouvoir épaississant dans l'eau ni de réaction vis à vis du lait	E406	pas d'évaluation	- Industrie agro-alimentaire - Pharmacie - Cosmétologie - Dentisterie - Textile - Bactériologie
Alginates : - de sodium - de Potassium - d'ammonium - de propylène glycol ; et Acide alginique	Les dérivés alcalins sont tous solubles dans l'eau froide. Les sels de métaux polyvalents sont insolubles dans l'eau ainsi que l'acide alginique.	E 401 E402 E403 E405 E400	pas d'évaluation 0 - 25 pas d'évaluation	- Industrie agro-alimentaire - Alimentation animaux familiers - Pharmacie - Cosmétologie - Electrodes - Papier - Traitement des eaux
Carraghénanes	Partiellement soluble dans l'eau froide. Totalement soluble à chaud à T° > 60°C. Possède une réactivité vis à vis des protéines du lait. Peut former des gels faibles et thermoréversibles.	E407	0 - 75	- Industrie agro-alimentaire - Alimentation chat et chien - Pharmacie - Cosmétologie

D.J.A: Dose journalière admissible.

1.7.1.4 Utilisation dans le domaine énergétique

La crise énergétique des années 70 a favorisé la recherche d'autres sources d'énergie, notamment celles dites renouvelables. Ainsi, à l'image des végétaux terrestres, les algues marines sont aujourd'hui utilisées pour fabriquer de l'alcool, du méthane, biodiesel (Kart, 1978 ; Legros, 1982 ; Dème-Gningue, 1985).

1.7.1.5 Utilisation dans le domaine médical, paramédical et pharmaceutique

Au cours du XX^e siècle, les chercheurs se sont intéressés aux propriétés biologiques des algues. Les résultats préliminaires ont révélé que différentes espèces d'algues présentaient un potentiel antibactérien, antiviral ou anticancéreux (Dabouineau, 2004). Les algues constitueraient ainsi une ressource potentielle de nouveaux composés pouvant être utilisés dans le domaine de la santé. Ces recherches seront peut-être à la base de nouvelles spécialités pharmaceutiques ou permettront après l'identification des structures biologiquement actives de synthétiser de nouveaux médicaments. Les investigations se poursuivent afin de purifier et de caractériser plus précisément de nouvelles molécules à très haute valeur ajoutée (Ballesteros *et al.*, 1992 ; Ninomiya *et al.*, 1998 ; Kawai *et al.*, 1999 ; Trono, 2001 ; Smit, 2004 ; Person *et al.*, 2011 ; El-Fatmy & Said, 2011)

1.7.1.6 Utilisation dans le domaine de la cosmétique

La principale application des algues en cosmétique est la pâte dentifrice ! Les carraghénanes et alginates stabilisent l'émulsion de la pâte en bloquant l'abrasif à l'intérieur de la matrice de gel. Les carraghénanes entrent dans la composition d'autres crèmes, rouge à lèvres et shampoings afin de donner une peau douce et des cheveux soyeux. Les cosmétiques dont la composition est à base de carraghénanes peuvent être "labellisés" produits naturels (Dabouineau, 2004).

Certaines des algues ou leurs extraits, peuvent être utilisés dans les préparations cosmétiques en tant qu'agent hydratant. C'est le cas de *Padina pavonica*, *Hypnea musciformis*, *Caulerpa racemosa*, *Dictyopteris sp.*, *Sargassum sp.* (Ito *et al.*, 2005 ; Lukowski *et al.*, 2011). Kamel *et al.* (2004) ont décrit l'emploi d'extraits de *Sargassum sp.*, *Dictyota sp.*, et *Dictyopteris sp.*, comme agents éclaircissant la peau. Des principes actifs extraits des algues vertes du genre *Caulerpa* entrent également dans la composition des soins éclaircissants pour la peau (Matsushita *et al.*, 2004 ; Nakahara *et al.*, 2010). De nombreux principes anti-âge sont extraits des algues comme *Hypnea musciformis*, *Padina sp.*, *Caulerpa racemosa*, *Sargassum sp.* (Yamashita *et al.*, 2004 ; Blunt *et al.*, 2007).

1.7.1.7 Utilisation dans le traitement des eaux usées

Il existe un usage potentiel des algues marines pour le traitement des eaux usées. Par exemple, certaines algues brunes comme la laminaire (*Laminaria sp.*) et le wakamé (*Undaria pinnatifida*) sont capables d'absorber les ions de métaux lourds tels que le zinc et le cadmium des eaux polluées (FAO, 2004 ; Cahill *et al.*, 2010).

1.7.1.8 Utilisation dans le domaine des nouveaux matériaux

Les alginates extraits de certaines algues brunes (laminaires, fucus) ont de nombreuses applications industrielles insoupçonnées comme l'industrie des peintures, du textile et de la papeterie. On les retrouve aussi dans le plâtre à moulage ou à sculpter, dans la colle à papier peint, dans les imperméables pour toiles de tente ou chaussures et de plus en plus dans les procédés de production de bioplastiques et de biocomposites (Dabouineau, 2004). Les plastiques biodégradables à base d'algues sont-ils donc pour demain ?

1.7.2 HISTORIQUE DE L'UTILISATION DES ALGUES MACROPHYTES MARINES AU SENEGAL

L'histoire de l'utilisation des algues semble avoir débuté en 1971 sur la Petite Côte (Joal) avec le ramassage de l'algue rouge *Hypnea musciformis* par les paysans. Les quantités récoltées étaient revendus à des sociétés françaises pour l'extraction du carrageen (Mbaye, 1982).

1.8 TRAVAUX ANTERIEURS PORTANT SUR LES ALGUES MACROPHYTES MARINES DES COTES SENEGALAISES

L'inventaire des richesses de la flore marine du Sénégal reste bien incomplet ! En particulier, les groupes comme les algues et les herbiers sont loin d'avoir fait l'objet d'un inventaire précis (Bodian, 2000). A ce jour, peu de botanistes se sont intéressés à ces ressources naturelles pour des raisons certainement liées à la difficulté d'accès du milieu marin et au manque de moyens d'investigation.

1.8.1 TRAVAUX PORTANT SUR LA BIODIVERSITE DES ALGUES MACROPHYTES MARINES AU SENEGAL

Concernant les algues macrophytes marines, une revue bibliographique détaillée permet de lister un total de 260 taxons (Bodian, 2000 ; Bodian *et al.*, 2003). Parmi ces taxons, 43 appartiennent au phylum des algues brunes, 56 au phylum des algues vertes et le reste au phylum des algues rouges.

La première exploration sur les algues marines connue sur les côtes sénégalaises remonte, à la fin du siècle dernier, avec les travaux de Chevalier (1920). Les premières études purement systématiques furent réalisées par Dangeard (1938, 1951a, 1951b, 1952).

Bodard (1965a, 1965b, 1966a, 1966b, 1967a, 1967b, 1968, 1971a, 1971b, 1971c) a, également, effectué des études taxonomiques des algues marines sur la Petite Côte sénégalaise.

Des auteurs comme Trochain (1940), Sourie (1954), Bodard (1966a, 1966b, 1971), Bodard et Mollion (1974), Mollion (1975a, 1975b), Harper et Garbary (1997), Bodian (2000), Bodian (2003), Ba et Noba (2001) ; John *et al.* (2001), John *et al.* (2004), Faye *et al.* (2005), Diédhiou (2011), Guèye (2015) ont réalisé des inventaires et donné une certaine répartition des espèces rencontrées sur les côtes sénégalaises.

Mollion (1975a, 1975b), a réalisé une estimation de l'abondance des différentes espèces et les variations saisonnières de celles-ci à la fois dans les domaines du littoral et infralittoral sénégalais.

1.8.2 TRAVAUX PORTANT SUR L'UTILISATION DES ALGUES MACROPHYTES MARINES AU SENEGAL

Bodard (1965a, 1965b) fut le premier à effectuer des travaux d'estimation de biomasse des algues marines sur le littoral sénégalais et a réalisé le premier rapport sur l'utilisation possible de ces dernières. Les algues d'échouages : *Ulva sp.*, *Cladophora sp.*, *Gracilaria sp.*, ont été estimés au niveau de la région du Cap-Vert.

Mollion (1973, 1979a, 1979b) a réalisé les premiers travaux sur les dérivés (carraghénanes) des algues rouges (*Hypnea musciformis* et *Hypnea cervicornis* [devenu maintenant *Hypnea spinella* (Worms)] à partir d'échantillons prélevés sur la Petite Côte. Il a étudié la répartition des algues dans la baie de Gorée et les variations saisonnières de cette répartition.

Vers les années 80, de nouveaux travaux sont apparus dont nous citons quelques auteurs qui se sont intéressés à la biochimie et à la valorisation des algues des côtes sénégalaises : Batoko-Yacoubou (1981, 1983) ; Leclercq (1984) ; Dème-Gningue (1985), Touré (1985), Fostier (1989), Miralles *et al.* (1989) ; Moellet-Nzaou (1991) ; Fostier *et al.* (1992) ; Chopin *et al.* (1993), Harper et Garbary (1997) ; Sissokho-Diop (2003).

Leclercq (1984) a effectué des recherches sur la production de méthane à partir des algues marines : *Cladophora sp.*, *Hypnea sp.* et *Ulva lactuca*, au Centre de Recherches océanographiques de Dakar-Thiaoye (CRODT). Malgré des moyens limités, des rendements massiques de 125 litres de méthane par kg de matières volatiles ont été obtenus.

Dème-Gningue (1985) étudia les actions fertilisantes des algues marines en culture maraîchère. Elle aboutit à des résultats intéressants ! En effet, les rendements sur les cultures de tomate et d'oignons ont augmenté sensiblement par rapport aux engrais provenant des fientes de poules et fertilisants chimiques.

Fostier (1989) et Fostier *et al.* (1992) ont étudié les propriétés des carraghénanes de deux Soleriacées : *Anatheca montagnei* et *Meristotheca senegalensis* (devenue *M. senegalense* (Worms)) des côtes sénégalaises.

Miralles *et al.* (1989) ont effectué des travaux sur les particularités de la composition en lipides et en glucides d'une laminaire (*Ecklonia muratii*), algue brune des côtes sénégalaises. Cette dernière présente des teneurs en acide gras mono-insaturé plus élevées que pour la moyenne des Phaeophycées.

Les travaux respectifs de Mollion (1979b), Tamba (1992) et Tamba *et al.* (ref :90-1024 CRDI) sur les possibilités d'exploitation des algues agarophytes (*Agardhiella tenera*) et carraghénophytes (*Hypnea sp.*) ont relancé l'intérêt sur les algues marines du Sénégal.

L'importance accordée aux algues et à leurs extraits durant ces dernières années ont inspiré la recherche universitaire et certaines entreprises à investir dans ce domaine. Ainsi, des études plus récentes et spécialisées ont été menées, au niveau de la presqu'île du Cap-Vert, sur *Meristotheca senegalense* : Sissokho-Diop (2003), Ba (2011), Sarr (2012) et au niveau de la petite Côte, sur *Hypnea sp.*, Tamba *et al.* (ref : 90-1024 CRDI).

Chapitre 2

PRESENTATION DU LITTORAL SENEGALAIS ET DES ZONES D'ETUDE

2.1 PRESENTATION DE L'ENVIRONNEMENT MARIN ET COTIER DU SENEGAL

Le Sénégal se situe entre 16°30'N et 12°30'N sur la côte occidentale de l'Afrique de l'Ouest qu'il longe sur plus de 531 km de littoral (www.statistiques-mondiales.com). Il se trouve placé en plein domaine intertropical et couvre une superficie de 196.192 km². En longitude, le Sénégal est compris entre les méridiens 11°30'W et 17°30'W, à l'extrême pointe ouest du continent africain (figure 9).



Figure 9. Carte de situation du Sénégal.
(Source : <http://www.lib.utexas.edu/maps/index.html>)

2.2 FACTEURS HYDRO-CLIMATIQUES DU LITTORAL SENEGALAIS

2.2.1 DYNAMIQUE DES SAISONS MARITIMES

La majeure partie de la région ouest-africaine se situe dans la zone de balancement des fronts atmosphériques comme le front intertropical (FIT) et maritime, présentant ainsi un hydroclimat contrasté, en particulier au Sénégal. Domain (1980) et Rébert (1979) proposent un schéma décomposant l'année en situations types caractérisables par les températures et les salinités de surface observées dans les stations côtières. Ils distinguent deux grandes saisons maritimes : la saison froide et la saison chaude qui peuvent chacune se subdiviser, si l'on tient compte des nuances intra-saisonniers.

2.2.1.1 Saison froide

Elle s'étend de novembre à mai et sa durée diminue progressivement du nord au sud. Les températures de surface de l'eau sont de l'ordre de 16° à 18°C et les salinités de 35.5‰ à 36‰ (eaux froides et salées). Une étude sommaire du bilan thermique montre que celui-ci est constamment positif. On a donc toute l'année une tendance au réchauffement de l'eau. Le

refroidissement saisonnier ne peut donc être imputé qu'à des mouvements de masses d'eau résultant de l'advection horizontale et des upwellings locaux sous l'influence des alizés. Tous les auteurs s'accordent sur ce point en ce qui concerne le cœur de la saison froide entre janvier et avril (Niang, 2003 ; 2009).

2.2.1.2 Transition saison froide - saison chaude

La transition saison froide – saison chaude est relativement courte, elle a lieu entre mai et juin, soit brutalement, soit par paliers successifs. Elle correspond à l'arrivée sur le plateau continental de la couche d'eau chaude, salée et pauvre (tropicale) transportée par le contre-courant équatorial. Le réchauffement est associé à la chute brutale des alizés, c'est-à-dire au passage du FIT.

2.2.1.3 Saison chaude

A partir de juillet-août les alizés ont disparu au sud du cap Blanc et les précipitations apparaissent, importantes à partir du sud de la presqu'île du Cap-Vert. Il existe encore une couche de surface isotherme de 25° à 27° C, dont l'épaisseur augmente légèrement vers la côte par suite du processus d'accumulation. Sous cette couche, la stratification est forte et une thermocline bien marquée existe dans toute la zone, sa profondeur varie de 20 à 60 mètres. La couche de surface se dessale progressivement au cours de la saison des pluies, passant de 36‰ à 35‰.

Les salinités restent élevées dans le nord en raison du fort gradient pluviométrique Nord-Sud de la zone tropicale. Sur le plateau continental, des dessalures de surface plus fortes sont notées, surtout au sud du Cap-Vert, en raison de l'importance des apports fluviaux existant au niveau de la Guinée et de la Guinée-Bissau, où les salinités peuvent descendre largement en deçà de 30‰ (eaux guinéennes). Dans la zone côtière existe alors un fort gradient est-ouest de salinité de surface. Les dessalures sont cependant moins marquées ces dernières années en raison de la sécheresse de la zone sahélienne (Niang, 2009).

2.2.1.4 La transition saison chaude - saison froide

La transition saison chaude - saison froide est marquée en octobre-novembre par un refroidissement des eaux dont la dynamique est encore mal connue. Les hypothèses les plus plausibles seraient le retrait des eaux chaudes et l'installation progressive du régime des alizés provoquant des upwellings côtiers (Teisson, 1982). Des petits coups de vents du nord peuvent créer des ondes internes responsables de la dislocation de la thermocline par remontée en surface des eaux froides infra-thermoclineales.

2.2.2 VENTS

D'après Domain (1980), trois types de vents peuvent donc se distinguer sur le littoral selon les saisons :

2.2.2.1 Alizé maritime

L'alizé maritime est un vent fort et frais, de secteur Nord/Nord-Est, lié à la masse d'air maritime boréale et à l'anticyclone des Açores. Il souffle pratiquement toute l'année au nord du vingtième parallèle, s'affaiblissant progressivement vers le sud où il cesse au cours de l'hivernage. Il joue

un rôle primordial dans les processus de fertilisation des eaux. Les alizés maritimes provenant de l'anticyclone des Açores au nord et de l'anticyclone de Sainte-Hélène au sud, dominent sur le littoral sénégalais, de mai à novembre (Niang, *op. cit.*).

De juillet à octobre, l'alizé maritime domine toujours, mais on note la présence de la mousson qui correspond aux vents du Sud-Est en période d'hivernage. Ce sont des vents chargés d'humidité au-dessus de la mer, avec des vitesses moyennes de 1,5 m/s au niveau de la station de Mbour (figure 10). Ils sont à l'origine de précipitations abondantes.

2.2.2.2 Alizé continental ou Harmattan

C'est un vent chaud et sec, de secteur Est à Nord-Est, lié à la masse d'air continentale et à l'anticyclone maghrébin. Il se fait sentir au cours de la saison sèche de décembre à juin, lors des périodes d'accalmie dans le régime de l'alizé maritime. La vitesse moyenne des vents pendant cette période est comprise entre 2,2 et 2,7 m/s sur le littoral sénégalais. Ces vents sont souvent chargés de poussière et peuvent empêcher toute activité de pêche par manque de visibilité (Domain, *op.cit.*).

2.2.2.3 Mousson

Elle souffle du Sud-Ouest et résulte de la transformation de l'alizé austral en raison du champ de pression existant entre la dépression saharienne et l'anticyclone de Sainte-Hélène. Il se fait sentir dans la partie Sud de la zone et remonte vers le nord de la côte sénégalaise en hivernage, apportant la masse d'air australe et les précipitations. La mousson peut contribuer à ramener vers la côte les eaux chaudes du large (Domain, *op.cit.*).

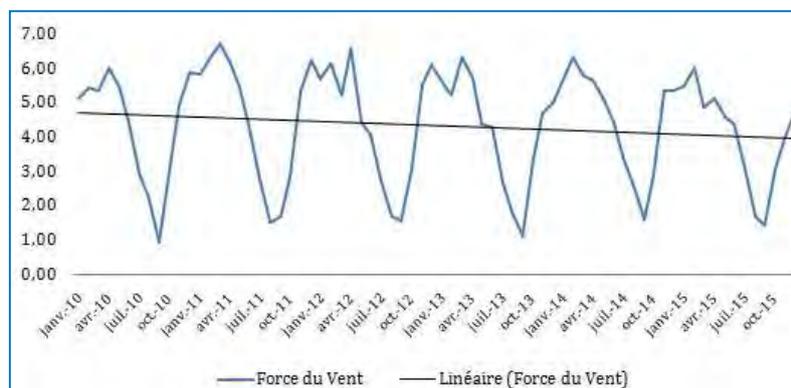


Figure 10. Evolution de la force du vent observée sur la Petite Côte sénégalaise, de 2010 à 2015 (d'après Diop *et al.*, 2016)

2.2.3 COURANTS MARINS

Le littoral sénégalais est sous l'influence de deux courants : le courant du nord et le courant du sud. Ces courants sont caractérisés selon Rossignol & Aboussouan (1965), Domain (1980), Rebert *et al.* (1976), par deux grandes circulations :

- le courant nord équatorial qui transporte vers l'Ouest les eaux froides du courant des Canaries (figure 2.3). Il se déplace vers le sud tout le long de la côte de la Mauritanie et du Sénégal. C'est un courant de dérive quasi permanent pendant toute la saison des

alizés, les eaux de surface subissent un entraînement mécanique sous l'influence du vent du nord.

- le contre-courant équatorial venant du sud et qui amène vers l'est les eaux chaudes et salées formées sur le bord sud du tourbillon nord atlantique (figure 11). On remarque son action au niveau de la Petite Côte, entre mai et septembre.

D'après Rossignol *et al.* (1965) on a une situation moyenne de répartition des eaux de surface sur le littoral sénégalais. Il distingue en prenant comme limite de température 24°C et de salinité 35‰ :

- les eaux canariennes froides et salées ($T < 24^{\circ}\text{C}$; $S > 35\text{‰}$) apparaissent dès le mois d'octobre dans le nord de la zone et couvrent la totalité du plateau continental en janvier. Elles sont constituées d'eau centrale sud - atlantique, légèrement modifiée après sa remontée en surface sous l'influence de l'alizé maritime (phénomène d'upwelling). L'extension de ces eaux sera minimale au cours de l'hivernage. En juillet/août, on ne les rencontre qu'au nord du Cap Blanc. Leur mouvement est donc lié (mais non identique) à celui du FIT atmosphérique.
- les eaux tropicales chaudes et salées ($T > 24^{\circ}\text{C}$; $S > 35\text{‰}$) envahissent le plateau continental de ses deux tiers inférieurs (au sud de 16° N) à partir du mois de mai. Elles proviennent de la branche nord du contre-courant équatorial.
- les eaux guinéennes chaudes et dessalées ($T > 24^{\circ}\text{C}$; $S < 35\text{‰}$) remplacent en fin de saison chaude, en octobre-novembre les eaux tropicales chaudes et salées. Elles proviennent du Sud, et leur dessalure est liée essentiellement aux apports des grands fleuves de la région guinéenne.

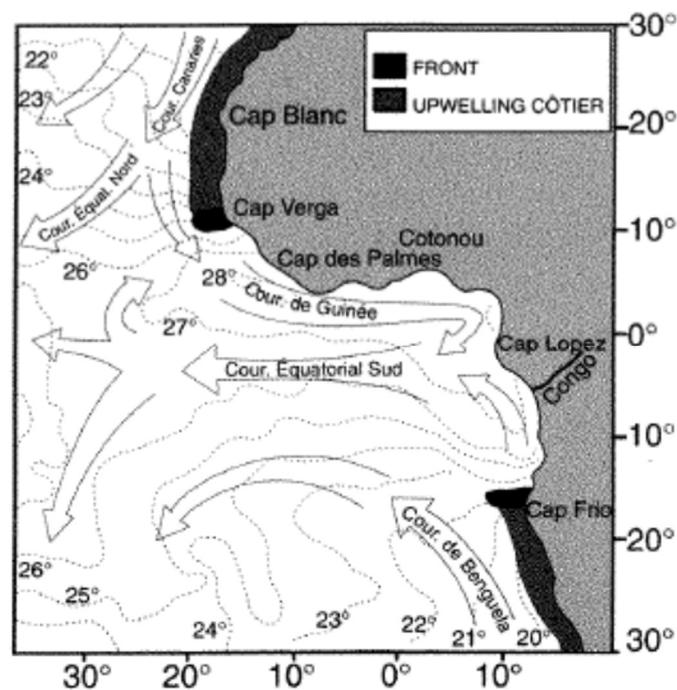


Figure 11. Carte des principaux courants et des températures de surface au large des côtes de l'Afrique occidentale (d'après Wauly in Schneider, 1992)

2.2.4 UPWELLINGS

Les remontées d'eaux froides profondes, riches en sels minéraux (upwelling) sont permanentes au-dessus de 20° Nord et saisonnières au sud de cette latitude (figures 12 et 13). Elles sont liées à la chute des températures de surface provoquées par l'installation des alizés (début novembre).

L'intensité de l'upwelling est évaluée par « le transport des masses d'eau de la côte vers le large sous l'action du vent ». De novembre à janvier il est dû au vent de Nord/Est et est légèrement plus intense sur la côte Nord. En février, la dominante Nord/Ouest dans les alizés favorise la côte sud mieux exposée où l'upwelling devient plus intense : son intensité y est maximale en mars et avril (Domain, *op.cit.*). Selon Rebert (*op.cit.*), ce phénomène d'upwelling est la principale source d'enrichissement des eaux (importants apports en phosphore). Les remontées d'eaux ont lieu de février à mai, à partir des niveaux 70 à 100 m. Une langue d'eau froide se décolle alors de la côte au niveau de Mbour pour couvrir le milieu du plateau continental.

D'après Domain (*op.cit.*), deux cellules de circulation des eaux s'individualisent (longitudinales et parallèles à la côte), l'une dirigée vers la côte (à partir des fonds de 20-30 m), l'autre convergeant avec les eaux du large au niveau du talus continental où elle s'enfonce sous des eaux chaudes associées au régime général des courants. A l'aplomb des fonds de 20-40 m, une zone de divergence limite ces deux cellules.

La production primaire est activée lorsque les sels minéraux rejoignent la couche euphotique, et deux maxima de production sont observés. Il s'agit de l'accumulation et la sédimentation d'organismes au niveau de la côte, et de la production pléthorique à la hauteur des 80-100 m de profondeur.

L'excédent de production primaire sédimente, une partie est entraînée vers le sud et, le reste, qui atteint le fond, est immédiatement oxydé et participe à la chaîne alimentaire. En effet, les fonds gardent des teneurs élevés en O₂ qui vont avoir des conséquences sur la répartition des espèces sur le fond. Ce phénomène d'enrichissement est déterminant dans la dynamique de la ressource exploitée. En effet, la répartition des espèces démersales est sous l'étroite dépendance de l'upwelling et de son intensité par l'intermédiaire des mécanismes de production biologique (Niang, 2009).

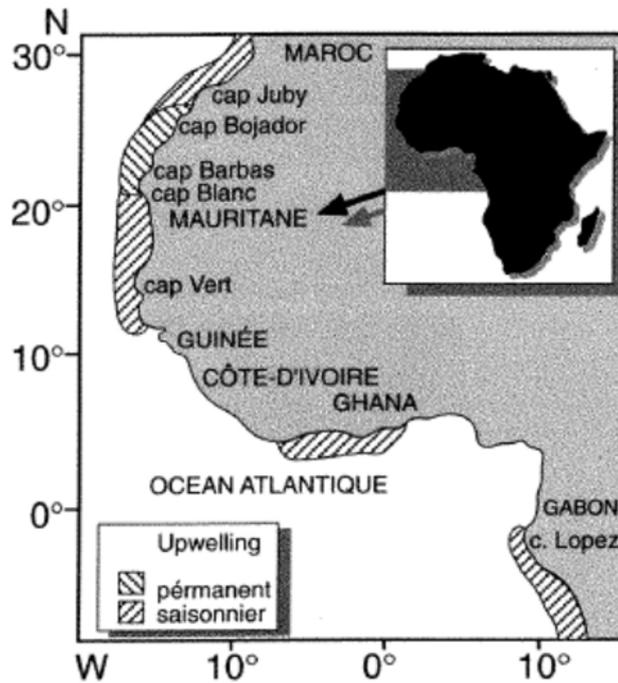


Figure 12. Carte de l'Afrique occidentale et localisation des principaux "upwellings" côtiers (d'après Roy, 1991)

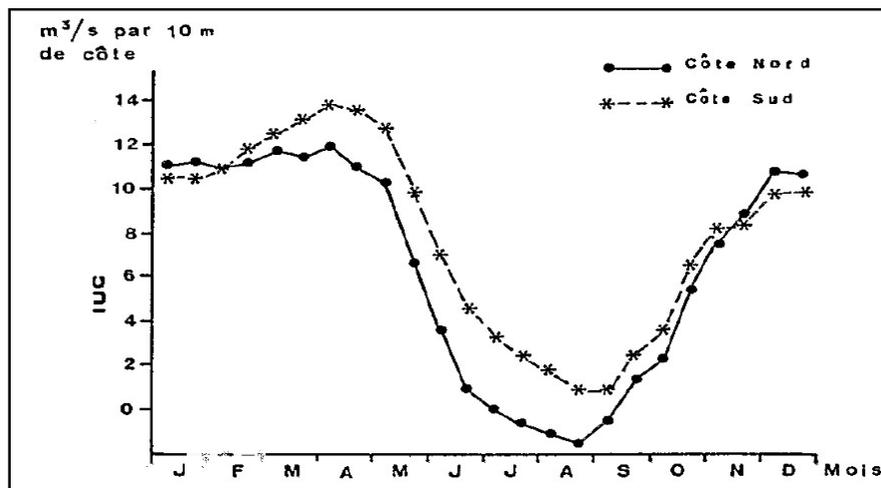


Figure 13. Saisonnalité de l'upwelling sur les côtes sénégalaises (d'après Diop et al., 2016)

2.2.5 HOULE

La surface de la mer présente généralement une suite indéfinie d'ondulations parallèles presque identiques qui se propagent de façon sensiblement uniforme vers le rivage. On appelle houle cet ensemble d'ondulations ou de vagues. C'est « un mouvement oscillatoire des couches superficielles de l'eau dû au frottement du vent sur la surface. Plus le vent est fort et plus la distance de frottement sur l'eau est grande, plus la houle est forte » (Charel, 2003 in Niang, 2009).

Trois zones génératrices de houle ont été mises en évidence pour la côte sénégalaise (Niang, 2009) :

- une zone nord, où les alizés et les perturbations sur l'Atlantique nord (320° N à 360°N) génèrent une houle de direction Nord/Nord-Ouest tout au long de l'année. « Cette houle atteint la côte sous forme de trains de grande longueur d'onde (en moyenne de 190 à 300 mètres). Son amplitude est généralement forte (valeurs moyennes comprises entre 1 m et 1,60 m) et elle se propage à une vitesse de l'ordre de 22 m.s⁻¹. La direction moyenne de propagation, pour ces houles d'origine septentrionale, se situe par 22° nord-ouest. A l'approche de la côte de la Langue de Barbarie, elles subissent une réfraction sur le fond au niveau du plateau continental ; elles perdent une grande partie de leur énergie et déferlent plus ou moins obliquement par rapport à la côte. La houle de NW provoque une mobilisation puis un important transport de sable dans le sens nord-sud (dérive littorale) ;
- une zone sud, où les alizés de l'hémisphère Sud et les tempêtes de l'Atlantique sud génèrent une houle de direction Sud/Sud-Ouest pendant la saison des pluies. « Elles sont liées par leur direction et leur fréquence aux flux de mousson issus de l'Anticyclone de Sainte Hélène. Leur amplitude est moins importante (valeurs moyennes comprises entre 0,80 et 1,20 m) et leur période plus courte (entre 5 et 10 secondes). Leur action est aussi moins marquante : elles perdent une bonne partie de leur énergie par suite d'une diffraction subie au niveau de la presqu'île du Cap-Vert, véritable écran dont l'abri englobe toute la Langue de Barbarie. Cette période des houles australes correspond au "démaigrissement" de la plage par suite de la diminution du transport du matériel sableux » ;
- une zone ouest : les cyclones de la mer des Antilles et des Caraïbes génèrent plus rarement une houle en novembre.

Par ailleurs, on note une rotation des houles de direction nord-ouest entre décembre et février sur l'ensemble de la côte. Sur la Petite Côte, la houle du nord prédomine surtout entre novembre et juillet et la houle du sud en hivernage (août-septembre). Cette houle venant du sud crée beaucoup de dégâts selon les pêcheurs interrogés dans les villages côtiers étudiés (Niang, *op. cit.*).

2.2.6 MAREES

Sur les côtes du littoral, la marée est semi-diurne. Le marnage, faible, varie entre 1,2 et 1,6 m en marée de vives eaux et entre 0,5 et 0,6 m en marée de mortes eaux.

Les courants de marée sont faibles avec des vitesses maxima inférieures à 0,15 m.s⁻¹. La houle prédominante sur le littoral est de direction nord-ouest. Elle prend naissance dans l'Atlantique Nord. Ses caractéristiques se présentent comme suit :

- longueur d'onde en eau profonde : 302 m ;
- hauteur moyenne : 1 m ;
- période entre 12 et 15 secondes en moyenne.

Avant d'aborder la côte sud (Petite Côte), cette houle subit des diffractions, de telle manière que la houle qui franchit la baie de Gorée a une direction nord-sud. Elle aborde ainsi la Côte au sud de la presqu'île du Cap-Vert avec une forte diminution de son énergie et avec un angle d'incidence oblique par rapport au rivage. Ceci engendre un courant de dérive littorale de direction nord-nord-ouest (Rapport sur Etat de l'Environnement au Sénégal, 2010). On observe

également sur les côtes sénégalaises un autre type de houle de direction sud-ouest qui prend naissance dans l'Atlantique Sud et aborde la Petite Côte vers août-septembre.

2.2.7 TEMPERATURES DE SURFACE

D'après Berrit (*op.cit.*), les températures de surface sur le littoral sénégalais augmentent généralement du Nord au Sud (figure 14). On distingue deux régions : une région nord de Saint-Louis à Mbour relativement stable et homogène, et une région Sud de Joal à Cap-Sikiring nettement plus chaude et perturbée sous la dépendance du Sine Saloum et de la Gambie. L'année est divisée en deux périodes : de décembre à mai avec une température moyenne de surface de 18° à 20°C ; de juin à novembre avec 27° C.

L'évolution des températures moyennes mensuelles de surface relevées sur le littoral sénégalais confirme les conclusions de Berrit (*op.cit.*), et mettent en évidence deux grandes périodes :

- de décembre à mai, les températures de surface relevées sur les différents sites de pêche du littoral sont en baisse avec des moyennes de 19° à 20° C sur la côte nord (Saint-Louis, Kayar). Sur le littoral sud, la Petite Côte enregistre entre 21° C au mois de janvier et 20° C au mois de mars. Ce qui explique que la côte nord présente les températures les plus basses en saison froide, par rapport à la côte sud. En effet, elle reçoit en premier les alizés maritimes provenant de l'anticyclone des Açores et le courant froid des Canaries qui circulent en saison froide sur le littoral sénégalais. D'où les nuances entre les températures relevées sur la Petite Côte et en Casamance.
- de juin à novembre les températures de surface sont en hausse sur le littoral avec des moyennes mensuelles de plus de 27° C de juillet à septembre, qui atteignent les records (28° C sur tout le littoral sénégalais). Ceci est dû au courant chaud du *Gulf Stream* et à la mousson provenant de l'anticyclone de Sainte-Hélène qui remonte le long du littoral sénégalais apportant, ainsi, une vague de chaleur et des précipitations en saison chaude.

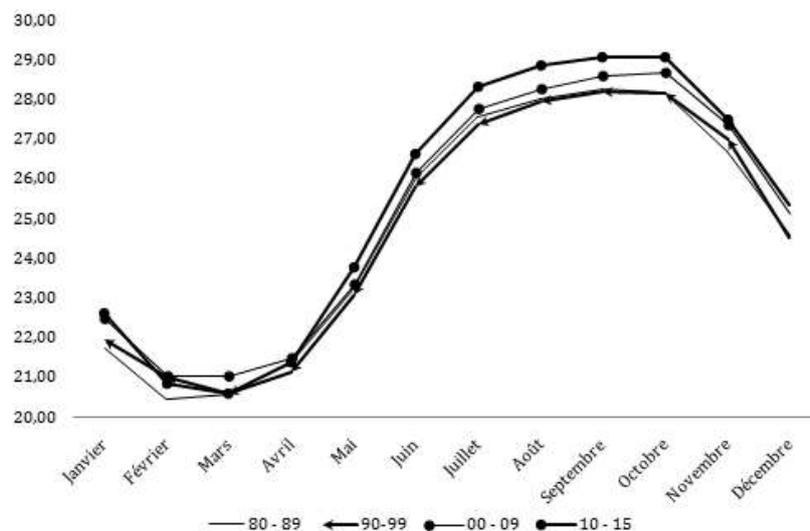


Figure 14. Evolution moyenne des températures de surface SST, de 1980 à 2015, dans la zone centre du Sénégal (d'après Diop *et al.*, 2016)

2.2.8 SALINITE DE L'EAU DE MER

Le régime de salinité (figure 15) est aussi caractérisé de janvier à juillet ou août par une salinité océanique normale ($35,5\text{‰}$). Cependant la zone de Joal et du Sine-Saloum présente des valeurs élevées (36‰). La salinité diminue progressivement quand on s'éloigne de la côte (Berrit, 1952).

L'analyse des relevés de salinité effectués par le CRODT dans quatre principales stations côtières (figure 2.9) au cours de la période 1970-1997 met en évidence un processus de salinisation progressif de l'eau de mer des côtes sénégalaises (Sambou *et al.*, 2012).

En effet, on note des tendances nettement croissantes au niveau des quatre stations côtières. Le rythme de salinisation semble être plus accéléré à Mbour avec une hausse annuelle de $0,032\text{ g/l}$. Au niveau de la Grande Côte, l'augmentation annuelle de la salinité est légèrement supérieure à $0,020\text{ g/l}$ ($0,023\text{ g/l/an}$ à Saint-Louis et $0,022\text{ g/l/an}$ à Cayar). Au Cap-Vert, avec une hausse annuelle de $0,011\text{ g/l}$, les relevés effectués au niveau de la station de Thiaroye font état d'un rythme de salinisation relativement plus modéré par rapport aux autres stations (Sambou *et al.*, 2012).

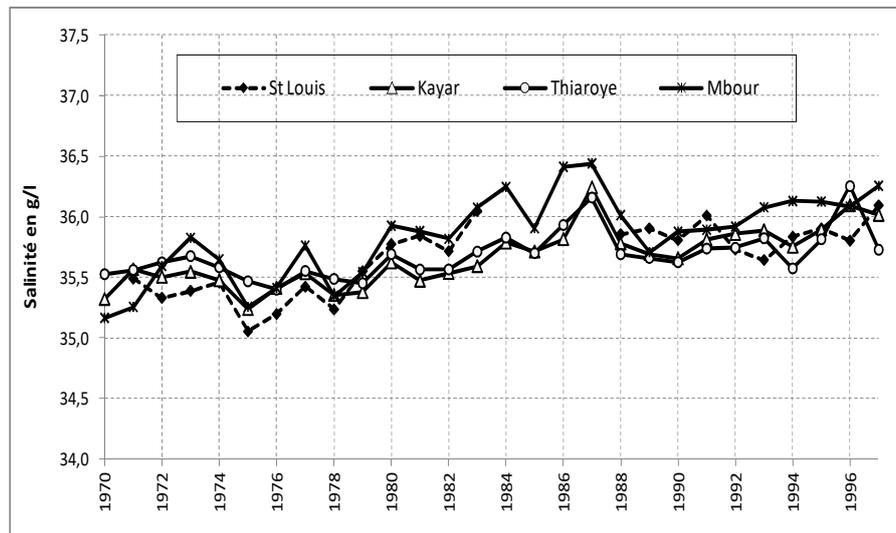


Figure 15. Salinité moyenne de l'eau de mer dans quatre stations côtières (d'après Sambou *et al.*, 2012)

2.3. FACTEURS GEOMORPHOLOGIQUES DU LITTORAL SENEGALAIS

2.3.1 PLATEAU CONTINENTAL

Le domaine maritime sénégalais a été bien étudié dans son ensemble et son plateau continental a été caractérisé à travers ses composantes sédimentologiques. Le plateau continental a une superficie d'environ $30\,000\text{ km}^2$ avec $8\,500\text{ km}^2$ dans sa partie nord et $21\,500\text{ km}^2$ dans sa partie sud (figure 16). Ce plateau continental est peu accidenté à l'exception des canyons de Kayar et de Dakar. Les fonds sont sableux, rocheux ou vaso-sableux, propices au développement de ressources halieutiques variées (Domain, 1977). Le plateau continental a une largeur de 27 milles marin au large de Saint-Louis, et l'isobathe 200 m se rapproche de la côte vers le sud, à la hauteur des Almadies où le plateau n'a que 5 milles de largeur. Sa largeur est de 54 milles à la latitude $12^{\circ}45\text{ N}$, au large de la Casamance (Domain, *op. cit.*).

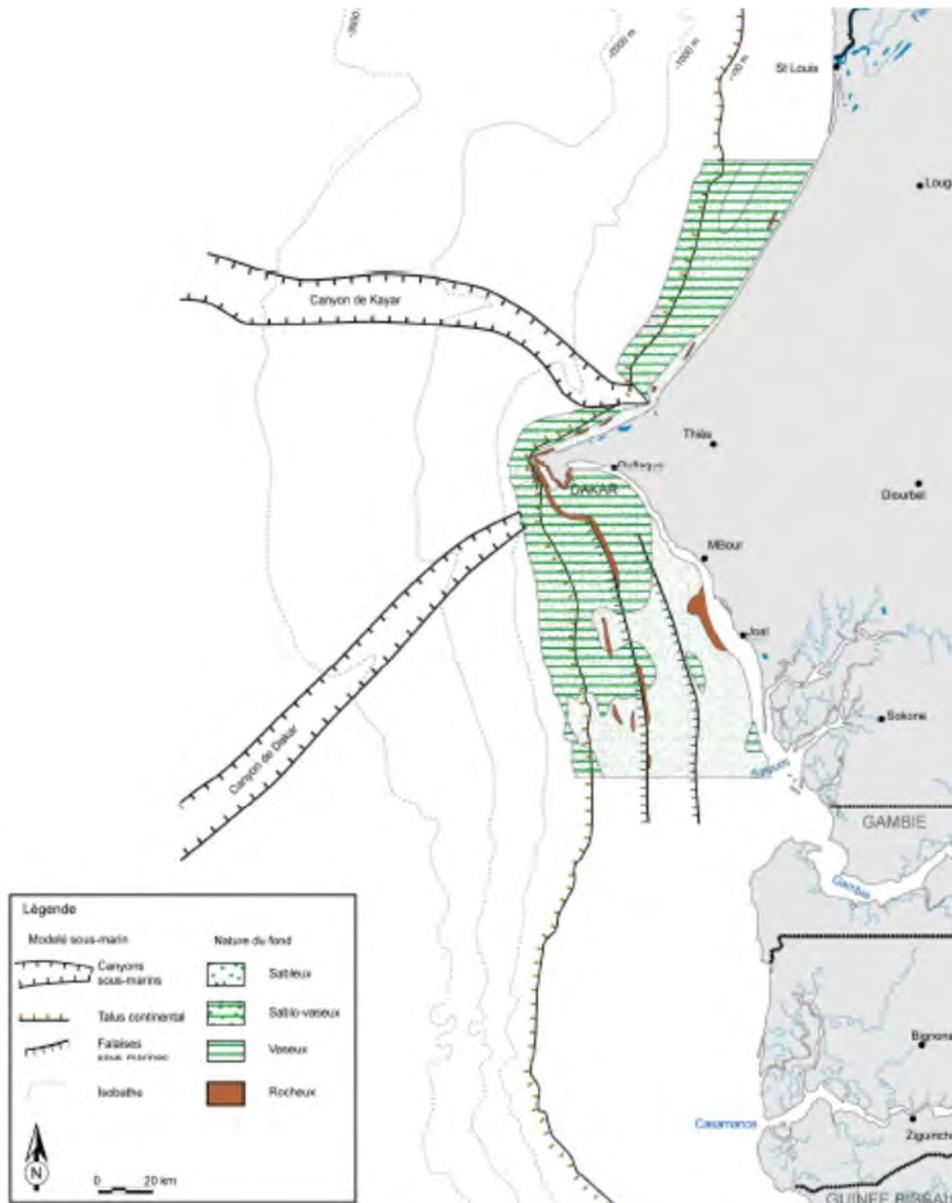


Figure 16. Morphologie du plateau continental sénégalais (d'après Turmine, 2001 in Niang, 2003)

Le plateau continental est caractérisé par deux falaises sous-marines au niveau de la Petite Côte : avec des sommets de - 35 m à - 45 m de profondeur. La première est située entre la pointe des Almadies et la hauteur de Mbour. La seconde se situe vers -70 m et semble se limiter à la Presqu'île du Cap-Vert. Le plateau continental est aussi caractérisé par quelques bancs rocheux du nord au sud en relation avec le relief continental (Domain, *op.cit.*).

Le littoral sénégalais présente une prédominance des côtes sableuses au nord, sur la Grande Côte, des côtes rocheuses au sud sur la Petite Côte et vaseuses dans les Îles du Saloum. Il existe aussi quelques flèches littorales à Saint-Louis, Mbodiène et Djifère formées en relation avec le courant de houle (Domain, 1976).

Du 17°00 Nord (au niveau de la Mauritanie) à la Presqu'île du Cap-Vert, la côte est formée d'une suite de dunes et de cordons littoraux dont le plus important est la langue de Barbarie qui

dévie, vers le sud-est, le cours inférieur du Sénégal sur environ 20 km au niveau de l'embouchure.

La presqu'île du Cap-Vert possède un littoral de type rocheux, avec des falaises constituées de matériaux volcaniques. Elles sont généralement bordées par un éboulis chaotique sous-marin ou une plate-forme d'abrasion marine (la chaussée des Almadies). Les rentrants de la côte rocheuse sont occupés par de petites plages formées de sables grossiers biogènes. Les Îles de la Madeleine et de Gorée présentent le même type de côtes (Niang, *op. cit.*).

De Dakar à Joal, on remarque une alternance de zones basses et sableuses et de falaises (grès et calcaires), les plates-formes d'abrasion sont peu développées. Les plages présentent un cordon sableux qui isole, de la mer, une lagune, ou reposent sur un "bed rock" (calcaires paléocènes) affleurant largement parfois sur les petits fonds bordant la plage (écueils) (Masse, 1968, cité par Domain, 1980).

De Joal au Cap Roxo, à part les quelques petites falaises au Sud-Ouest de Banjul, la côte est formée de dunes littorales isolant la mer d'une zone marécageuse à mangrove. On y trouve du nord au sud : les bras de mer du Sine-Saloum, l'estuaire de la Gambie et l'embouchure de la Casamance.

2.3.2 TYPES DE FOND

D'après Domain (1976, 1977, 1980), le littoral sénégalais est caractérisé par les types de fonds suivants (figures 17 et 18) :

- les sables vaseux se rencontrent sur la Petite Côte, de la Presqu'île du Cap-Vert à Mbour. Ils sont composés de nombreux débris de coquilles et sont présents plus au sud à des profondeurs supérieures à 50 m ;
- les sables au niveau de la presqu'île du Cap-Vert jusqu'à Mbour sur des fonds de 50 m. C'est un milieu pauvre en matière organique où ne vivent que très peu d'organismes du benthos, on y remarque aussi l'absence de concentration de poissons démersaux ;
- les bancs rocheux «sont en relation avec le relief continental. Au sud de la fosse de Kayar, jusqu'à la latitude de Popenguine et principalement au niveau de la presqu'île du Cap-Vert, existent des formations rocheuses qui seraient le prolongement du relief volcanique de la presqu'île. Au sud de Banjul, également, en liaison avec le relief continental, existe une petite plate-forme d'abrasion marine qui s'étend jusqu'aux fonds de -10m » (ibid.). Ces bancs rocheux constituent un habitat important pour les poissons marins ;
- les autres formations rocheuses observées sur le littoral sont sédimentaires : sur la côte nord de Kayar vers St-Louis, avec une série de petits bancs rocheux, parallèles à la côte. Sur la côte Sud entre Mbour et Joal, nous avons un banc rocheux entre la côte et 7 à 8 m de profondeur.

Le benthos (ensemble des organismes végétaux et animaux qui vivent au fond d'un milieu aquatique naturel) apparaît plus abondant sur deux types de fonds : les fonds de sables grossiers situés de 0 à 40 m entre Dakar et la Gambie et, les fonds de vase, riches en matière organique.

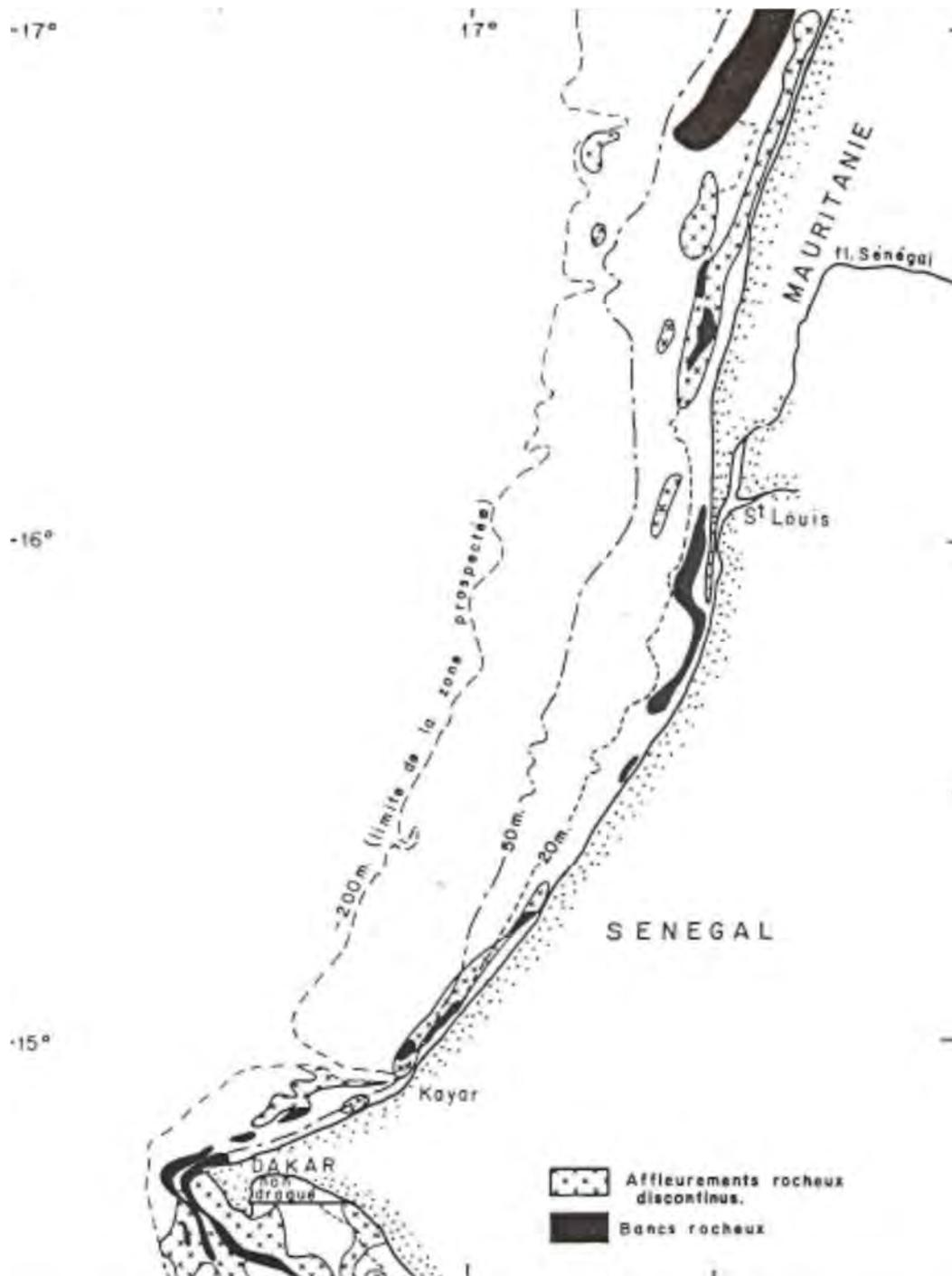


Figure 17. Types de fond du plateau continental sénégalais (littoral Nord)
(d'après Domain, 1980)

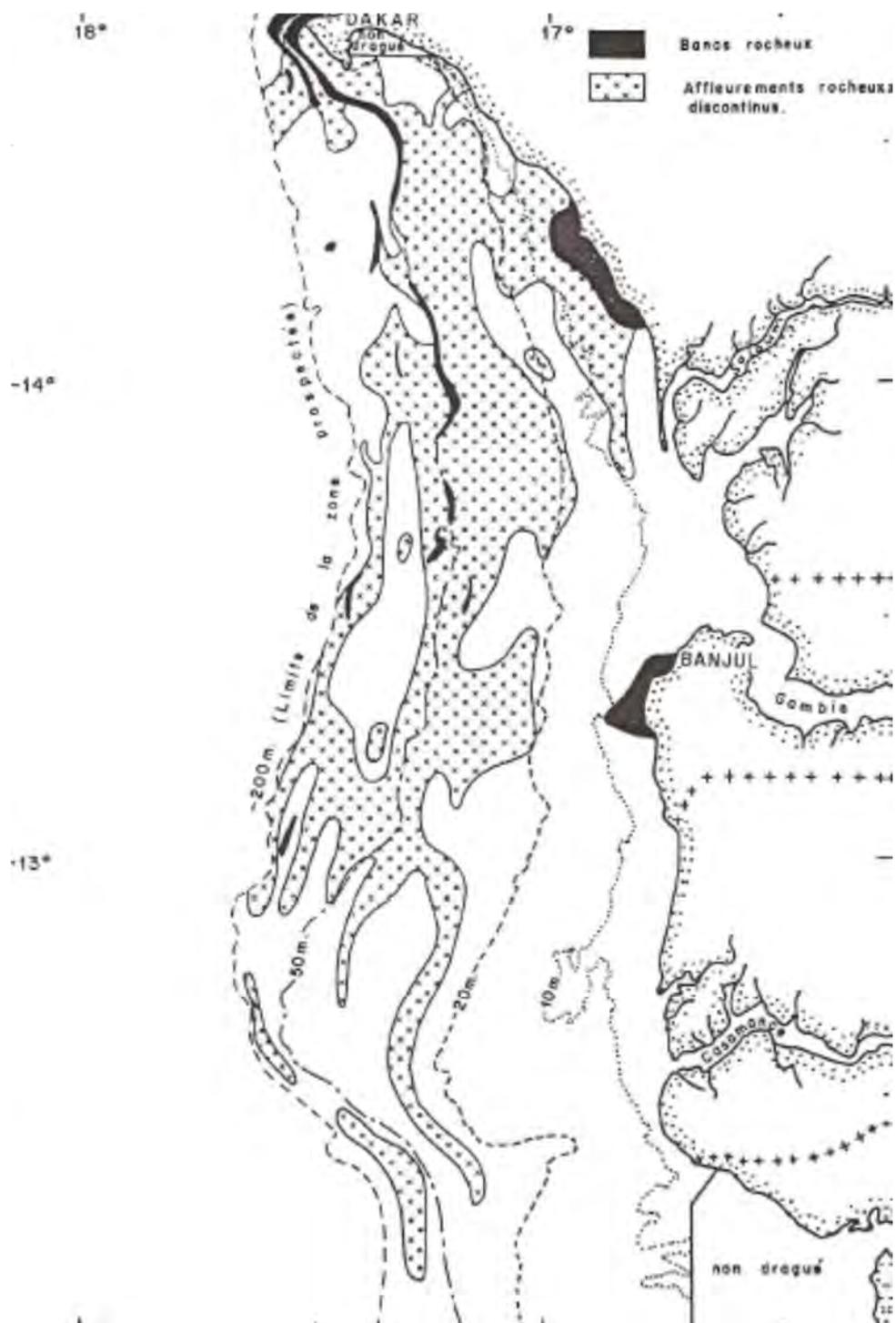


Figure 18. Types de fond du plateau continental sénégalais (littoral Sud)
(d'après Domain, 1980)

2.3.3 REPARTITION DES ALGUES MACROPHYTES LE LONG DU LITTORAL

La répartition des algues, le long du littoral, dépend d'un certain nombre de facteurs écologiques que l'on peut grouper en facteurs physiques (substrat, température, lumière) ; facteurs chimiques (salinité, pH, l'oxygène, sels nutritifs) ; facteurs dynamiques (agitation de l'eau, émergence) ; facteurs biotiques (association avec d'autres espèces). Les façades maritimes du

littoral du Sénégal ont des profils côtiers variables et des caractéristiques physico-chimiques et dynamiques différentes.

Généralement, c'est pendant la saison froide que les algues, arrachées par les courants marins, se déposent sur le rivage en quantité estimée à 10.000 tonnes (poids sec) par an (Dème-Nging, 1985). Les algues rouges colloïdophytes sont prédominantes et plus diversifiées. Parmi elles, l'espèce *Hypnea musciformis* représente, à elle seule, 50 à 60% de cette biomasse en dépôt sur les plages. Elle est aussi trouvée fixée toute l'année avec deux périodes de reproduction : l'une en mars et l'autre en juin et novembre.

La répartition de ces algues est très variable et change en fonction des facteurs climatiques. Les algues vertes sont surtout localisées au niveau de la Presqu'Île où *Ulva lactuca* et *Cladophora dalmatica* constituent, surtout pendant la saison chaude, des marées vertes assez remarquables. Cette « marée verte » serait aussi occasionnée, entre autre, par l'apport d'engrais chimiques des cultures maraîchères régulièrement pratiquées sur la presqu'île, et par les rejets directs dans la mer des eaux usées. Les autres espèces d'algues vertes les plus connues sont *Enteromorpha sp.*, *Codium guineensis*, *Caulerpa taxifolia* et *Bryopsis sp.*, (Dème-Nging, 1985). Les algues brunes sont nettement minoritaires et peu diversifiées, représentées essentiellement par *Fucus vesiculosus*, *Dictyota dichotoma* et *Sargassum sp.*

2.4 PRESENTATION DES ZONES D'ETUDE

2.4.1 PRESENTATION DU LITTORAL CENTRE

Les travaux ont été réalisés le long du littoral qui va de la presqu'île du Cap-Vert (Yoff) à la Petite Côte (Joal). Cette bande côtière a une morphologie complexe, elle est constituée principalement de roches volcaniques d'extrusion autour de la presqu'île du Cap-Vert. La Petite-Côte, qui constitue la section du littoral sénégalais située au sud de Dakar, entre la presqu'île du Cap-Vert (Rufisque) et le Sine-Saloum, est, en revanche, une côte sablo-rocheuse alternant avec de petits affleurements rocheux et de baies sableuses où s'observent quelques lagunes (figure 19). Les baies sont en général des zones abritées (baie de Hann, Anse Bernard, baie de Sarène). Les pointes et les caps correspondent aux zones de mode très battu (Pointe des Almadies, Cap-Manuel, Pointe-Sarène). Les courants marins déterminent les zones d'échouages des algues. Selon Fostier *et al.* (1992), ces courants ont une influence sur la qualité et la quantité des dépôts d'algues rejetées par la mer, le long des plages. De plus, il existe une relation étroite entre le régime de la houle et des vagues, la morphologie des algues et leur répartition (Gayral, 1958 ; Cabioc'h *et al.*, 2006).

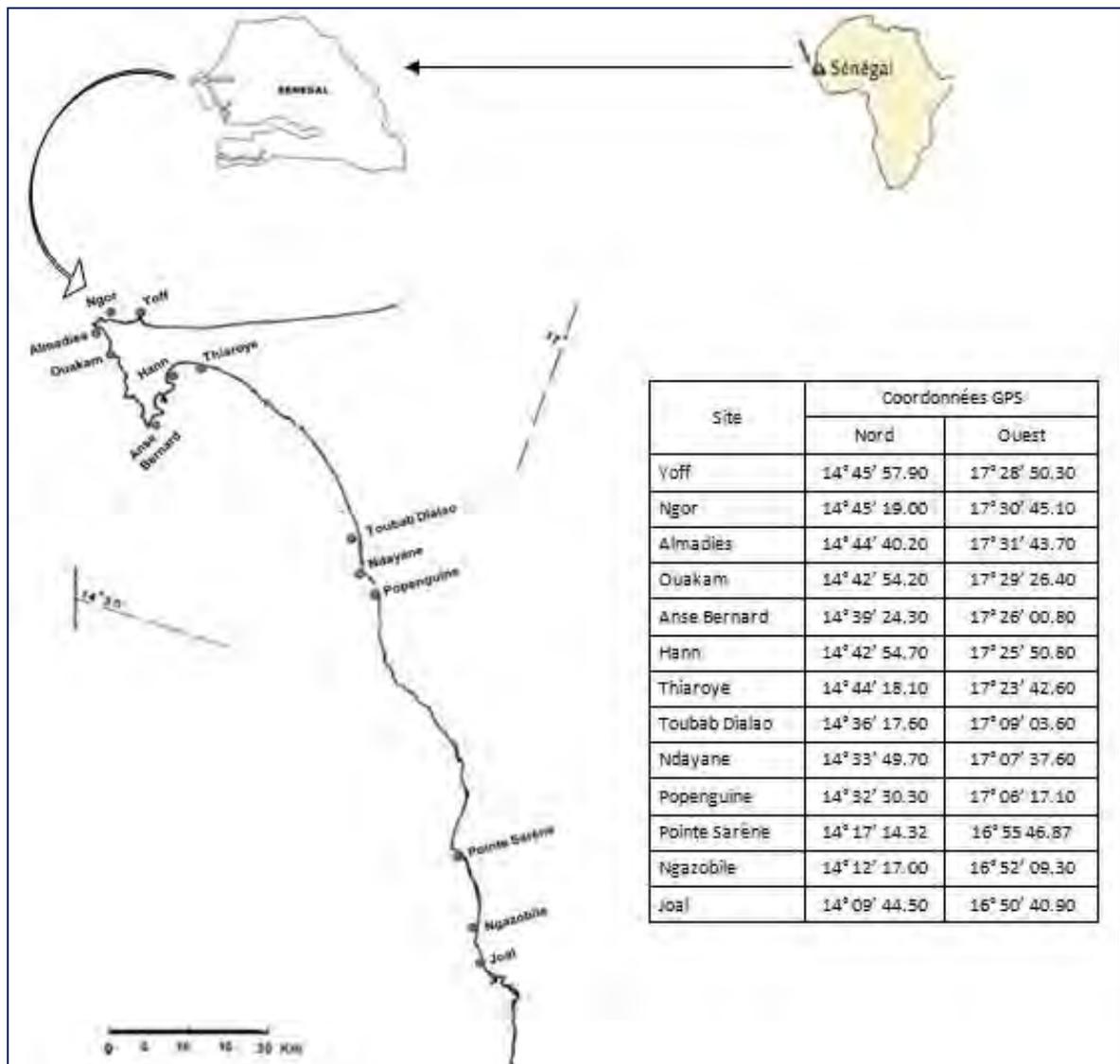


Figure 19. Littoral centre du Sénégal et la localisation des sites échantillonnés

2.4.2 PRESENTATION DES SITES D'ETUDE D'INTERET ECOLOGIQUE

2.4.2.1 Site de Ngor (presqu'île du Cap-Vert)

Le site de Ngor (14°45'30" N et 17°30'56" O), situé au nord de la presqu'île du Cap-Vert (figure 20), est constitué par les coulées d'hawaïte à texture doléritique du volcanisme basaltique quaternaire des Mamelles. Cette région rocheuse appartient à la zone micro-climatique de la Grande Côte sénégalaise qui, au sein du domaine intertropical présente des particularités qui la différencient de l'intérieur du pays. Cette zone est soumise aux effets de masses d'airs (alizé, mousson, harmattan) déterminées par les champs de pressions (les anticyclones des Açores, de Sainte-Hélène et de Libye et de la dépression saharienne). Elle bénéficie, du fait de sa situation côtière, de températures idéales (25 °C) pendant presque toute l'année avec des pointes de 18 °C mini en février et de 32 °C maxi en Octobre (Guèye *et al.*, 2014).

2.4.2.2 Site de Thiaroye (presqu'île du Cap-Vert)

Le site de Thiaroye ($14^{\circ}44'33''$ N et $17^{\circ}22'46''$ O) est situé au sud de la presqu'île du Cap-Vert (figure 20). Dans l'anse de Thiaroye, les fonds marins sont sablo-coquilliers à des profondeurs de 10 m, beaucoup plus vaseux au voisinage de la ligne de côte. L'anse s'étend jusqu'à Mbao. Une plage de sable fin, riche en vase et matières organiques aux niveaux inférieurs, occupe le fond de l'anse vers l'Hydrobase. L'eau de la zone littorale est constamment chargée de suspensions fines et d'algues. Cette partie du littoral est soumise au climat soudanien, mais du fait du conditionnement par la mer, elle bénéficie de conditions particulièrement adoucies que l'on pourrait qualifier de climat littoral. La pluviométrie est d'environ 565 à 575 mm sur une période de 43 jours, ce qui correspond à un climat tropical, à deux saisons, de la zone sahélo-soudanienne (Seck, 1996).

2.4.2.3 Site de Pointe-Sarène (Petite Côte)

La zone littorale de Pointe-Sarène ($14^{\circ}17'14''$ N et $16^{\circ}55'46''$ O) forme une baie en demi-lune et est située sur la Petite Côte sénégalaise, longue d'environ 100 kilomètres qui va de Rufisque à Joal-Fadiouth (figure 20). La Petite Côte présente une succession très variée de formes littorales : plages sableuses, falaises, lagunes à mangroves, cordons et flèches. Les plages sont constituées de sables et de débris coquilliers avec quelques endroits à faciès rocheux (Diop *et al.*, 1999). Le climat est de type sahélien avec une saison sèche (de novembre à juin) et une saison des pluies (de juillet à octobre). La zone maritime bénéficie d'un climat côtier avec comme vents dominants, l'Alizé, la brise maritime et l'harmattan en saison sèche. La mousson ne souffle qu'en saison des pluies.

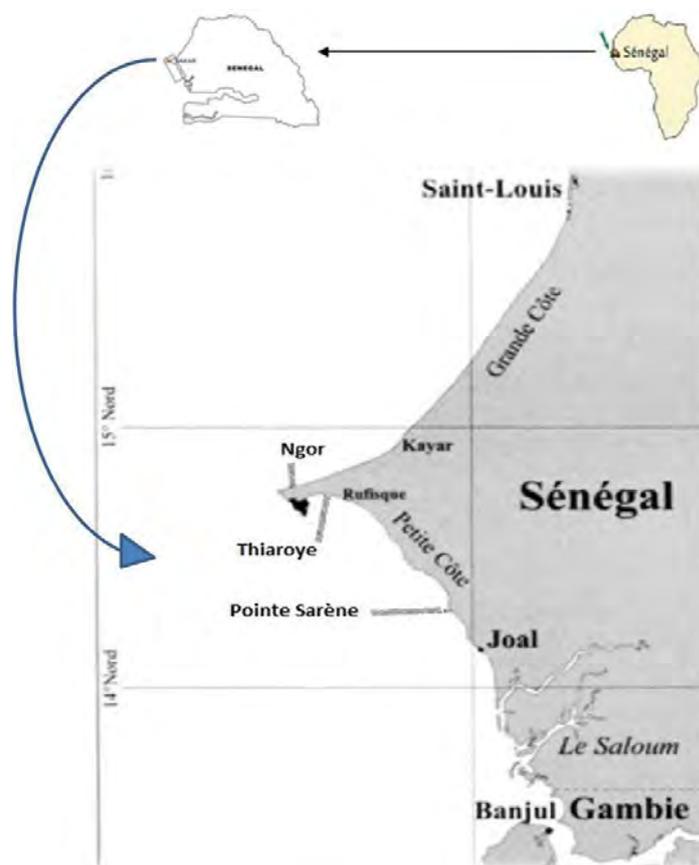


Figure 20. Localisation des trois sites d'étude (Ngor, Thiaroye et Pointe-Sarène)

Chapitre 3

DIVERSITE DES ALGUES MACROPHYTES MARINES DU LITTORAL CENTRE

3.1 INTRODUCTION

Malgré une façade maritime longue de plus de 700 km, une position géographique avantageuse (ensoleillement, zone d'upwelling, côtes rocheuses diversifiées) et malgré l'importance et l'intérêt que suscitent les algues marines (Blunt *et al.*, 2007 ; Floc'h *et al.*, 2010 ; Brownlee *et al.*, 2012), peu de travaux ont été réalisés sur ce groupe floristique le long des côtes sénégalaises (Trochain, 1940 ; Dangeard, 1952 ; Sourie, 1954 ; Bodard, 1971 ; Bodard et Mollion, 1974 ; Mollion, 1975 ; Harper et Garbary, 1997 ; Bodian, 2000 ; Diédhiou, 2011 ; Guèye, 2016). Les informations scientifiques obtenues, jusqu'à présent, restent approximatives et fragmentaires et il n'existe que peu de données de base précises et approfondies sur des zones circonscrites et caractéristiques du littoral.

L'objectif de ce chapitre est de combler, en partie, cette lacune et cherche à caractériser la diversité et la structure taxonomique des algues macrophytes sur la zone du littoral centre du Sénégal qui va de la Presqu'île du Cap-vert (Yoff) à la Petite Côte (Joal). Cette bande côtière est caractérisée par une diversité d'écosystèmes riches mais menacée par une combinaison de phénomènes naturels (changement climatiques, érosion côtière) et anthropiques (démographie, concentration d'activités économiques). Nous nous proposons de faire une description morphologique, un inventaire systématique et une classification des taxons rencontrés.

3.2 METHODOLOGIE

3.2.1 PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS

Un navigateur GPS de type Garmin a servi à la localisation des sites d'échantillonnage. Les échantillonnages ont été faits entre août 2013 et Juillet 2014. La récolte concerne aussi bien les algues fixées que celles en dérive ou échouées sur la plage. Elles ont été prélevées au niveau de la zone côtière comprise entre le médiolittoral et l'infralittoral supérieur. Les récoltes se sont déroulées durant les périodes de basses marées, correspondant au temps favorable pour explorer, au maximum, l'espace pourvu de végétation et accessible à pied. Les récoltes ont été réalisées à l'aide de matériel de collecte composé de couteaux ou de raclours pour récolter les espèces fixées aux rochers, de loupe pour identifier les espèces sur le terrain, de glacières, de sacs et de sachets. Lors de la collecte des espèces, tous les renseignements observables sur le terrain, ont été notés (date, heure, habitat, température de l'eau, vent, pH, humidité, salinité, plantes et animaux associés).

3.2.2 IDENTIFICATION DES SPECIMENS

Après la récolte, les spécimens d'algue sont montés avec soin sur papier Canson pour constituer un herbier. Avant l'opération de séchage, les algues sont recouvertes avec un carré de tissu blanc prévu à cet effet. Ce tissu isolant permet d'avoir des échantillons entiers une fois secs et empêche au papier d'adhérer aux thalles. Après le séchage à l'étuve, les échantillons sont introduits à l'herbier où ils sont conservés. Le traitement des échantillons collectés consiste à une identification taxonomique jusqu'au niveau du genre, voire de l'espèce. Cette identification

a été effectuée selon les techniques des références (Dangeard, 1952 ; Gayral, 1958 ; Cabioc'h *et al.*, 1992 ; Van Den Hoek *et al.*, 1995 ; De Reviere 2002 - 2003 ; Cabioc'h *et al.*, 2006).

3.3 RESULTATS

3.3.1 IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES TAXONS RECOLTES

En se référant à Lamouroux (1813), Harvey (1836), Pascher (1931), Van Den Hoek *et al.* (1995), De Reviere (2002, 2003) ; la distinction des principaux embranchements d'algues est essentiellement basée sur la coloration (composition pigmentaire) et sur les caractères morphologiques du thalle. Il s'agit là d'un ensemble de caractères utilisés comme critère de diagnose dans les méthodes systématiques de morphologie comparée, soit au niveau spécifique, soit au niveau des subdivisions supérieures.

Les taxons récoltés sont présentés dans les pages qui vont suivre où, pour chaque espèce, nous donnons les caractères de diagnose majeurs qui résument, à la fois, les observations personnelles et les emprunts effectués dans les traités classiques d'algologie (tableaux 3.1 – 3.6). Au niveau spécifique, nous précisons le binôme internationalement reconnu par les systématiciens et adopté par la base de données internationale : le *World Register of Marine Species : WoRMS*. Concernant les illustrations, nous nous sommes limités à en donner que quelques-unes en annexe, généralement, les plus importantes qualitativement et quantitativement (Annexe 1).

La distinction des 3 embranchements d'algues marines est basée essentiellement sur la composition pigmentaire. Ainsi, selon la couleur, nous distinguons les 3 phylums suivants :

- algues colorées en vert vif, jaune-vert, bleu-vert ou vert foncé Chlorophyta
- algues colorées en vert, vert-olive, brun jaunâtre, brun moyen, marron Ochrophyta
- algues colorées en rose, rouge, violet-rouge, brun-rouge ou presque noir Rhodophyta

La distinction des différentes classes, ordres et familles qui fait fréquemment appel aux caractéristiques de la structure et de la croissance (souvent observables au microscope) et à celles qui sont liées à la cytologie ou à la reproduction (qui ne sont analysables qu'au microscope), n'a pas été utilisée dans ce travail. D'ailleurs les clés de détermination que nous avons utilisées n'ont abordé que très partiellement ces différentes subdivisions. La distinction des genres et espèces se focalisent principalement sur les caractéristiques morphologiques de l'appareil végétatif et parfois de l'appareil reproducteur (tableaux 5 à 10).

3.3.1.1 Phylum des Chlorophyta

L'analyse des caractères végétatifs stables des taxons permet de réaliser les clés de détermination des genres et des espèces de ce groupe.

3.3.1.1.1 Clé des genres des Chlorophyta

1a	Thalle allongé, constitué de filaments unisériés, simples de grandes cellules, non ramifiés. <i>Chaetomorpha</i>
1b	Thalle constitué de filaments unisériés, simples de grandes cellules, ramifiés..... <i>Cladophora</i>
	Thalle ne se présente pas comme ci-dessus 2
2a	Thalle vert-pâle en feuille mince ou en tube creux 3
2b	Thalle vert foncé ne se présentant pas en lame plate ou en tube creux 4
3a	Thalle en lame entière, mince, formé de deux couches de cellules <i>Ulva</i>
3b	Thalle en tube creux à paroi mince, souvent ramifié près de la base, tube parfois aplati <i>Enteromorpha</i>

4a	Thalle à branches dressées (à partir de stolons horizontaux), branches à nombreuses protrusions appelés ramules, le ramule peut être fin et pointu ou vésiculaire <i>Caulerpa</i>
4b	Thalle à branches dressées (sans stolons), branches avec beaucoup de ramules, le ramule est fin et mince avec des extrémités arrondies <i>Bryopsis</i>
4c	Thalle à tiges dressées et ramifiées, presque globuleuses apposées sur des roches, constituées de filaments entrelacés fins se terminant par de petits « bulbes » gonflés à la surface <i>Codium</i>

3.3.1.1.2 Clé des espèces des Chorophyta

Genre Bryopsis

Thalle filamenteux, ramification dichotomique, axe principal de 1 mm de diamètre environ *B. plumosa*
 Thalle filamenteux, ramifié radialement, ramifications irrégulières *B. corymbosa*
 Thalle filamenteux. Filaments courts fins ramifiés avec de courtes ramifications latérales *B. duplex*
 Thalle formant des touffes denses, siphons principaux à rameaux latéraux disposés en biais, orientés vers le haut et incurvés vers l'intérieur *B. setacea*
 Thalle filamenteux de consistance molle, ramifié. Plumule de 3 cm environ à l'extrémité du rameau *Bryopsis sp.*

Genre Caulerpa

Thalle avec des grappes de rameaux ressemblant à du raisin, non aplaties ni peltées *C. racemosa*
 Thalle à axe principal rampant, branchettes aplaties, cylindriques ou en forme de disque. Derniers rameaux sous forme de massue portant des boulettes aplaties *C. peltata*
 Branchettes aplaties ou cylindriques, pas en forme de disque - Branchettes en forme de plumes ou à bords dentelés avec des ramules disposés de manière opposée - Rameaux secondaires non courbés vers le haut, resserrés à la base *C. taxifolia*
 Les dernières branchettes plus épaisses au sommet qu'à la base, à pointe ronde ou comprimée *C. Chemitzia*
 Les branchettes érigées ont une variété de formes *Caulerpa sp1*
 Base des axes légèrement gonglée, branches avec une variété de formes..... *Caulerpa sp2*

Genre Codium

Thalle à structure siphonnée, formé de filaments tubulaires donne une texture comparable à du feutre ou à du velours *C. decorticatum*
 Thalle épais, formant des sortes de cordons, de cylindres tubulaires se ramifiant et se terminant par des pointes arrondies. Consistance ressemblant à de l'éponge *C. tomentosum*
 Thalle velouté, branches cylindriques fourchues, couleur vert foncé *Codium sp1*
 Thalle velouté, branches cylindriques fourchues, couleur vert brun près prononcé *Codium sp2*
 Thalle veonté, branches cylindriques fourchues, couleur vert foncé tirant sur le noir *Codium sp3*

Genre Chaetomorpha

Thalle sous forme de touffe de filaments fins, non ramifiés à articles visible à l'œil nu. Filaments en masses enchevêtrées, longues. Cellule basale du filament grande. Consistance rigide *Chaetomorpha sp.*

Genre Cladophora

Thalle avec filaments libres formés de grandes cellules, ramifiés avec des cellules apicales arrondies *C. albida*
 Thalle avec filaments ramifiés. Ramifications fines et articulées. Axe principal dégagé à sa base (sans ramifications). Rameaux groupés en bouquets distincts et à extrémités droites *C. pellucida*
 Thalle avec filaments ramifiés, à parois transversales sur le filament primaire et à la base de la branche. Branches courbées en forme de faucilles. La ramification varie du bas irrégulier au haut unilatéral *Cladophora sp.*

Genre Enteromorpha

Filaments de plantes tubulaires (bien que souvent aplaties), surface des filaments recouverte d'une seule assise de petites cellules *E. fasciculata*

Genre Ulva

- Corps de la plante profondément et irrégulièrement lobé pour former des rubans étroits *U. fasciata*
Thalle non ramifié, tubulaire près de la base et s'élargissant au niveau distal, ondulé au niveau de la marge, avec 2 couches de cellules complètement jointes ou avec une marge creuse *U. Linza*
Lames relativement rigides ou profondément divisées, planes à légèrement ondulées *U. rigida*
Thalle en lame plate entière à marge festonnée, avec ou sans perforations *U. lactuca*
Thalle en forme de tubes plus ou moins boursoufflés, ayant l'aspect de boyaux, s'élargissant vers le haut. Les tubes sont monostomatiques (une seule couche de cellules). *U. intestinalis*
Thalle foliacé, épais, couleur vert vif *Ulva sp1*
Thalle foliacé, vaporeux, vert brillant *Ulva sp2*

Tableau 5. Principaux caractères des espèces de Chlorophyta

Espèce	Couleur	Forme	Consistance	Organe de fixation	Taille (cm)
<i>Bryopsis corymbosa</i>	Vert foncé	Thalle à structure siphonné, formé de filaments ramifiés radialement. Ramification irrégulière.	Molle	Crampons	2 à 10
<i>Bryopsis duplex</i>	Vert foncé	Thalle à structure siphonnée, formé de filaments courts, fins, ramifiés latéralement. Ramification irrégulière.	Molle	Crampons	
<i>Bryopsis plumosa</i>	Vert foncé	Thalle à structure siphonnée, formé de filaments à base nue avec des tiges sous forme de plumules et des rameaux distiques, constants à aspect triangulaire. Ramification dichotomique.	Molle	Crampons	4 à 10
<i>Bryopsis setacea</i>	Vert foncé	Thalle à structure siphonnée. Forme plus robuste que les autres espèces avec des touffes plus volumineuses et plus hautes.	Molle	Crampons	3 à 8
<i>Bryopsis sp.</i>	Vert clair	Thalle à structure siphonnée avec filaments à base peu ramifiée. Ramules à disposition distique. Filaments en forme de plume, avec des tiges centrales portant de fines branches latérales touffues.	Molle	Crampons	10
<i>Caulerpa chemnitzia</i>	Vert vif	Thalle en fronde élancée, avec de fins rhizoïdes répartis sur le stolon. Le stolon porte des axes dressés cylindriques couverts de rameaux latéraux courts, simples et orientés vers le haut. La base des axes est légèrement gonflée juste au-dessus du stolon.	Rigide	Rhizoïdes	2 à 19
<i>Caulerpa racemosa</i>	Vert vif à vert foncé	Thalle avec des grappes de rameaux ressemblant à du raisin. Stolon avec des rhizoïdes et des frondes dressées portant des rameaux en forme de vésicules.	Rigide	Rhizoïdes	1 à 11
<i>Caulerpa sp1</i>	Vert vif	Thalle avec de nombreuses branches droites et robustes. Rameaux de forme sphérique à forme de club. Stolon proéminent. Rhizoïdes traqués et ramifiés en apex filiforme.	Rigide	Rhizoïdes	
<i>Caulerpa sp2</i>	Vert vif	Thalle stolonifère avec de nombreuses branches droites et robustes. Derniers rameaux sous forme de massue portant des vésicules aplaties.	Rigide	Rhizoïdes	
<i>Caulerpa taxifolia</i>	Vert vif	Thalle formé de branches aplaties, comprimées latéralement. Rameaux opposés, resserrés à la base (où elles se fixent à la nervure médiane de chaque fronde).	Rigide	Rhizoïdes	3 à 15
<i>Codium decorticatum</i>	Vert vif à vert foncé	Thalle épais, dressé, cylindrique plus ou moins comprimé, ramifié. Texture comparable à du feutre ou à du velours. Branches cylindriques à fourches répétées.	Ferme spongieuse	Rhizoïdes	10 à 30
<i>Codium sp1</i>	Vert à vert foncé	Thalle ferme, velouté, grand. Branches cylindriques fourchues dichotomiques, en forme de coussin ou de balle.	Ferme, spongieuse	Rhizoïdes	40
<i>Codium sp2</i>	Vert foncé à noirâtre	Thalle ferme, fait de branches cylindriques fourchues. Ramification dichotomique.	Ferme, spongieuse	Rhizoïdes	
<i>Codium sp3</i>	Noirâtre	Thalle épais. Branches cylindriques fourchues de manière dichotomique.	Ferme, spongieuse	Rhizoïdes	
<i>Codium tomentosum</i>	Vert foncé	Thalle épais, spongieux, ramifié à plusieurs reprises dichotomiquement, sans aplatissement distinct au niveau des fourches des branches.	Ferme, spongieuse	Rhizoïdes	10 à 30

<i>Chaetomorpha sp.</i>	Vert clair	Thalle formé de touffe de filaments fins, articulés. Pas de ramifications. Les filaments forment des masses enchevêtrées, assez longues. Les articles sont visibles à l'œil nu.	Rigide	Disque basal	10 à 25
<i>Cladophora albida</i>	Vert pâle à vert foncé	Thalle formé de touffe de filaments libres, fortement ramifiés. Les différents filaments, densément réunis à la base, diminuent très graduellement d'épaisseur en remontant vers leur extrémité.	Rigide	Rhizoïdes	1 à 15
<i>Cladophora pellucida</i>	Vert clair	Thalle constitué de filaments souples ramifiés et intriqués. La cellule basale d'une ramification est de très grande dimension, jusqu'à 1 cm de hauteur.	Rigide	Rhizoïdes	
<i>Cladophora sp.</i>	Vert clair	Thalle est formé de filaments libres, très ramifiés. Les Branches sont incurvées en forme de faucille.	Rigide	Rhizoïdes	
<i>Enteromorpha fasciculata</i>	Vert vif	Thalle en lame étroite, tubulaire, creux à l'intérieur, avec un stipe. Surface des filaments recouverte d'une seule assise de petites cellules.	rigide	Disque	0,5 à 30
<i>Ulva intestinalis</i>	Vert	Thalle formé d'une lame monostratifiée, tubuleuse. Lamé fine à sa base puis s'élargit vers l'apex, où elle peut être aplatie. Elle présente des constriction formant des bourrelets contenant de l'air, qui lui donnent l'aspect d'un intestin.	rigide	disque	1 à 20
<i>Ulva lactuca</i>	Vert vif	Thalle en lame foliacée, plate ou ondulée. Plante ressemblant à la laitue	rigide	Disque	4 à 25
<i>Ulva linza</i>	Vert-herbe	Thalle fortement comprimée en forme de ruban, avec généralement une marge frettée ou festonnée ; creux au-dessus mais se rétrécissant progressivement en un stipe distinct et solide en dessous. Le thalle s'élargit vers l'apex.	rigide	Disque	1 à 30
<i>Ulva rigida</i>	Vert vif à vert foncé	Thalle en lame foliacée est plus ou moins bleutée à la base, il est divisé, lobé, ferme et rigide.	Rigide	Disque	2 à 25
<i>Ulva sp1</i>	Vert foncé	Thalle en lame foliacée épais comme une feuille de laitue très fine.	Rigide	Disque	2
<i>Ulva sp2</i>	Vert brillant	Thalle vert brillant, vaporeux, épais comme une feuille de laitue.	molle	Disque	1 à 2

Tableau 6. Classification des espèces de Chlorophyta

PHYLUM	CLASSE	ORDRE	FAMILLE	GENRE	ESPECE
Chlorophyta	Ulvophyceae	Bryopsidales	Bryopsidaceae	Bryopsis	<i>Bryopsis corymbosa</i>
					<i>Bryopsis duplex</i>
					<i>Bryopsis plumosa</i>
					<i>Bryopsis setacea</i>
					<i>Bryopsis sp.</i>
			Caulerpaceae	Caulerpa	<i>Caulerpa chemnitzia</i>
					<i>Caulerpa racemosa</i>
					<i>Caulerpa sp1</i>
					<i>Caulerpa sp2</i>
					<i>Caulerpa taxifolia</i>
		Codiaceae	Codium	<i>Codium decorticans</i>	
				<i>Codium sp1</i>	
				<i>Codium sp2</i>	
				<i>Codium sp3</i>	
				<i>Codium tomentosum</i>	
		Cladophorales	Cladophoraceae	Chaetomorpha	<i>Chaetomorpha sp.</i>
					Cladophora
				<i>Cladophora pellucida</i>	
				<i>Cladophora sp.</i>	
		Ulvales	Ulvaceae	Enteromorpha	<i>Enteromorpha fasciculata</i>
Ulva	<i>Ulva intestinalis</i>				
	<i>Ulva lactuca</i>				
	<i>Ulva linza</i>				
	<i>Ulva rigida</i>				
	<i>Ulva sp1</i>				
<i>Ulva sp2</i>					

3.3.1.2 Phylum des Ochrophyta

L'analyse des caractères végétatifs stables des taxons inventoriés a permis de réaliser les clés de détermination des genres et des espèces de ce groupe.

3.3.1.2.1 Clé des genres des Ochrophyta

1	Thalle globuleux, ferme, cassant, fixé par des rhizoïdes <i>Colpomenia</i>
	Thalle lamelleux à ramification dichotomique 2
2a	Thalle lamelleux à ramifications dichotomiques avec nervure centrale <i>Dictyopteris</i>
2b	Thalle lamelleux à ramifications dichotomiques sans nervures <i>Dictyota</i>
3	Thalle lamelleux large, dressée à ramifications irrégulières, marge entière <i>Spatoglossum</i>
4	Thalle lamelleux pourvu de ligne concentrique, en forme d'éventail rigide et fixé par des rhizoïdes. <i>Padina</i>
5	Thalle ayant une courte tige d'où partent des rameaux portant des expansions en forme de feuille à marge dentée, présence de flotteurs (aérocystes) <i>Sargassum</i>

3.3.1.2.2 Clé des espèces des Ochrophyta

Genre Padina (plante à feuilles arrondies)

- Thalle en éventail, zoné, marges distales enroulées incrusté de calcaire *P. pavonica*
Thalle en éventail pourvu de ligne concentrique et fixé par des rhizoïdes *P. gymnospora*
Thalle à lobes rugueuses et épaisses dans la partie basale, lisses dans la partie supérieure. La marge du thalle est entière ou profondément divisée en plusieurs lobes, marge involutée au sommet *P. antillarum*
Thalle flabelliforme, généralement divisé en plusieurs petits lobes, régulièrement et distinctement concentriquement en zonate en raison de la rangée régulière des organes fructifères *P. tetrastromatica*

Genre Dictyota (plante en lanières plates et étroites)

- Thalle en lanière, sans nervure, fixé par un disque. A la loupe, le thalle laisse apparaître une bordure marginale garnie de petits denticules *D. ciliolata*
Thalle en lanière à ramification dichotomique, sans nervure, sommets des branches arrondis, branches souvent contorsionnées (en spirale) chez les spécimens plus étroits *D. dichotoma*
Thalle en lanière, sans nervure, brun clair avec tâches noirâtres *Dictyota sp1*
Thalle en lanière, sans nervure, brun clair *Dictyota sp2*

Genre Dictyopteris (plante en lanière plates et étroites)

- Thalle en lanière à ramification dichotomique, présence d'une nervure médiane, fixé par un disque basal *D. delicatula*

Genre Spatoglossum

- Thalle large, foliacé, ramifications irrégulières. De nombreuses petites taches brunes plus foncées visibles constituant le seul signe distinctif caractéristique du thalle. Pas de stipe, nervures ou stries *S. solieri*

Genre Sargassum (plante avec vessies ou flotteurs ; plantes à pales, flotteurs ronds)

- Thalle avec tige lisse, cylindrique, constitué d'une série de branches primaires minces et lisses, très ramifiées latéralement, « feuilles » à bords lisses ou dentés ; vésicules clairsemées, sphériques lisses ou quelque peu mucronées *S. ramifolium*
Thalle court à nombreux rameaux. Rameaux primaires portant des rameaux secondaires plus courts, diamétralement opposés de part et d'autre de l'axe, dans le même plan. Les "feuilles" sont allongées, à "nervure" médiane bien visible. A la base des feuilles se trouvent des vésicules sphériques ou flotteurs, creuses portées par un court pédicelle *S. vulgare*
Thalle avec stipe cylindrique. Rameaux alternes avec des expansions en forme de feuilles à apex plus ou moins pointu, marge peu dentelée. Vésicules sphérique, pédonculé *Sargassum sp1*
Thalle cylindrique allongé buissonneux. Stipe dur, penné avec des spires de feuilles nettement aplaties à la base. Flotteurs arrondis *Sargassum sp2*

Genre Colpomenia

- Thalle globuleux à contours irréguliers, ferme, cassant et fixé par des rhizoïdes *C. sinuosa*

Tableau 7. Principaux caractères des espèces d'Ochrophyta

Espèce	Couleur	Forme	Consistance	Organe de fixation	Taille (cm)
<i>Dictyota ciliolata</i>	Brun clair	Thalle lamelleux divisé en lanière, dépourvu de nervure. Ramification régulièrement dichotome. Extrémité arrondie, bordure marginale garnie de petits denticules.	Rigide, cartilagineuse	Disque	2 à 4
<i>Dictyota dichotoma</i>	Olive à brun doré	Thalle lamelleux divisé en lanière, mince et translucide, plus ou moins fourchue dichotomiquement, mais sans nervure médiane. Branches souvent contorsionnées (en spirale).	Rigide, cartilagineuse	Disque	10 à 14
<i>Dictyota sp1</i>	Brun vert	Thalle lamelleux divisé en lanières. Absence de nervures. Lanières minces, brun vert.	Rigide cartilagineuse	Disque	
<i>Dictyota sp2</i>	Brun noirâtre	Thalle lamelleux divisé en lanières. Absence de nervures. Lanière minces, brun noirâtre.	Rigide cartilagineuse	Disque	
<i>Dictyopteris delicatula</i>	Brun foncé	Thalle lamelleux divisé en lanière, pourvu d'une nervure médiane. Ramification régulièrement dichotome. Lames en forme de sangle. Des faisceaux épars de poils hyalins, en touffes denses, apparaissent le long de la nervure centrale, sur une seule surface de la nervure médiane.	Rigide	Rhizoïdes	2 à 8
<i>Padina antillarum</i>	Jaune pâle à brun rougeâtre	Thalle en forme d'éventail, rugueux, épais en bas à cause des rhizoïdes, lisse au-dessus, lâchement tordu, avec un stipe attaché par un discoïde. La marge du thalle est entière ou irrégulièrement divisés en plusieurs lobes avec une marge involuée au sommet. La surface ventrale du thalle est de couleur jaune pâle à brun rougeâtre.	Rigide	Disque portant des rhizoïdes	
<i>Padina gymnospora</i>	Brun olive	Thalle en forme d'éventail, composé de plusieurs lobes avec les marges enroulées. La surface supérieure (le côté vers lequel la marge est enroulée) est légèrement à modérément calcifiée. Des rangées de cheveux sont présentes des deux côtés du thalle, mais plus visibles sur le côté inférieur.	Rigide	Disque portant des rhizoïdes	1 à 6
<i>Padina pavonica</i>	Olive à brun jaune	Thalle en forme d'éventail, court, souvent enroulé en cornet. Les lobes minces et translucides, plus sombre près de la base. Le larcin irrégulièrement fourchu, sans nervure médiane avec des bandes concentriques argentées de dépôt de carbonate de calcium, attaché par une masse persistante enchevêtrée de rhizoïdes d'attachement.	Rigide	Rhizoïdes	1 à 10
<i>Padina sp.</i>	Brun foncé	Touffe de lames en forme d'éventail coupée en lanière. Lanières baguées de dépôts calcaires	rigide	Rhizoïdes	5 à 7
<i>Padina stromatica</i>	Jaune brunâtre	Thalle en éventail, divisé en lobes minces. Les extrémités sont découpées et souvent plus claires que le reste de la plante. Du stipe nettement visible, se détachent des segments bien visibles.	rigide	Rhizoïdes	
<i>Spatoglossum solieri</i>	Brun clair à brun foncé	Thalle large, foliacé, aux extrémités arrondies. Les ramifications sont irrégulières. De nombreuses petites taches brunes plus foncées sont visibles, et constituent le seul signe distinctif caractéristique du thalle. De petits sores visibles à la surface des thalles	Rigide	Disque basal	10 à 30

		fertiles. La base de la fronde est formée par une large expansion discoïde que constitue un ensemble de rhizoïdes émis par la région inférieure.			
<i>Sargassum ramifolium</i>	Brun foncé à brun clair	Thalle avec tige et rameaux en forme de feuilles. Tige lisse, cylindrique, très ramifiée latéralement. Vésicules clairsemées, sphériques. Les conceptacles composés en grappes, siliceuses, filiformes, cylindriques, ramifiées dichotomiquement.	rigide	crampons	10 à 25
<i>Sargassum sp1</i>	Brun foncé	Thalle avec tige et rameaux en forme de feuilles. Feuilles aplaties. Vésicules creuses remplies d'air.	rigide	Crampons	20 à 30
<i>Sargassum sp2</i>	Jaunâtre à brun foncé	Thalle avec tige allongée dur, cylindrique. Des spires de feuilles sculptées nettement aplaties à la base avec des vessies d'air elliptiques arrondies caractéristiques.	rigide	crampons	2 à 8
<i>Sargassum vulgare</i>	Brun foncé à brun clair	Thalle avec une tige et rameaux primaires portant des rameaux secondaires plus courts. Feuilles à marge dentée. Des vésicules sphériques à la base des feuilles. Vésicules creuses, remplies d'air et portées par un pédicelle arrondi.	rigide	crampons	
<i>Colpomenia sinuosa</i>	Brun jaunâtre	Thalle de forme globuleuse. Il s'agit de vésicules creuses, en groupes avec une surface bosselée donnant l'aspect d'un cerveau. Surface du thalle garnie de faisceaux de poils prenant naissance à la base de la couche cellulaire externe.	rigide	Rhizoïdes filamenteux	3 à 5

Tableau 8. Classification des espèces d'Ochrophyta

PHYLUM	CLASSE	ORDRE	FAMILLE	GENRE	ESPECE
Ochrophyta	Phaeophyceae	Dictyotales	Dictyotaceae	Dictyota	<i>Dictyota ciliolata</i>
					<i>Dictyota dichotoma</i>
					<i>Dictyota sp1</i>
					<i>Dictyota sp2</i>
				Dictyopteris	<i>Dictyopteris delicatula</i>
				Padina	<i>Padina antillarum</i>
					<i>Padina gymnospora</i>
					<i>Padina pavonica</i>
					<i>Padina sp.</i>
					<i>Padina tetrastrumatica</i>
		Spatoglossum	<i>Spatoglossum solieri</i>		
		Fucales	Sargassaceae	Sargassum	<i>Sargassum ramifolium</i>
					<i>Sargassum sp1</i>
					<i>Sargassum sp2</i>
<i>Sargassum vulgare</i>					
Scytosiphonales	Scytosiphonaceae	Colpomenia	<i>Colpomenia sinuosa</i>		

3.3.1.3 Phylum des Rhodophyta

L'analyse des caractères végétatifs stables des taxons inventoriés a permis de réaliser les clés de détermination des genres et des espèces de ce groupe.

3.3.1.3.1 Clé des Genres des Rhodophyta

- 1 Thalle foliacé mince, aplati en lame au bord entier, non ramifiée formé d'une seule couche de cellules. Pas de nervure médiane ni de veines *Porphyra*
- 2 Thalle cartilagineux, cylindrique, légèrement effilé, saxicole *Gelidium*
- Thalle ramifié, axe cylindrique ou aplati 3
- 3a Thalle cartilagineux, cylindrique, légèrement effilé. Axes principaux aplatis et apex obtus *Pterocliadiella*
- 3b Plante ramifiée, aplatie, structurellement composée de médulla central entouré de cortex *Gracilaria*
- 3c Thalle à branche principale cylindrique ou légèrement aplatie avec de fines branches latérales ressemblant à des cheveux, petits renflements arrondis et sombres (cystocarpes) sur tous les côtés des branches. Absence de cellules nutritives tubulaires *Gracilariopsis*
- 3d Thalle érigée, irrégulièrement articulées, résultant d'un support encroûtant ou d'un système de rhizomes rampants *Hydropuntia*
- 3e Thalle cartilagineux, ramifié dichotomiquement. Branches plates. Segments avec rameaux prolifératifs peu fréquents *Gymnogongrus*
- Thalle cylindrique, ramifiée abondamment, portant de courtes branches alternes aiguës 4
- 4 Thalle érigée radialement, cylindrique, souvent assemblée avec de nombreuses ramifications épineuses. Présence de rameaux particuliers en crosse *Hypnea*

- 5 Thalle dressé, sub-dichotomique à irrégulièrement ramifié, habituellement ferme et cartilagineux. Structure multiaxiale, médullaire étroite à large, formée de filaments fortement enchevêtrés *Sarcodia*
- 6 Thalle à rameaux supérieurs cylindriques, ceux inférieurs aplatis, pourpre foncé à rouge noir. Ramifications irrégulières, pennées. Branches latérales distantes, pointues, les petites sections terminales épineuses. Base discoïde *Chandracanthus*
- Thalle formés d'articles rigides calcifiés, séparées par des articulations 7
- 7a Thalle calcifié, sauf au niveau des articulations légèrement gonflées, couleur crème *Amphiroa*
- 7b Thalle formé d'articles rigides et calcifiées, séparées par des articulations souples *Corallina*
- 7c Thalle calcifiée, fortement ramifié ; les derniers articles se développent latéralement, présence de conceptacles à cornes *Ellisolandia*
- Thalle cylindrique légèrement effilé, aplatie, solide ou creuse 8
- 8 Thalle cylindrique légèrement conique, aplati, ramifié latéralement, fréquemment lobé. Rhizoïde en forme de disque *Rhodymenia*
- Thalle aplati, segmenté 9
- 9a Thalle ramifié, aplati, parfois moniliforme, segmenté par un diaphragme *Champia*
- 9b Branches non moniliformes, presque non segmentées *Lomentaria*
- 10 Thalle cartilagineux, non étiré par intervalle, à ramifications régulières, opposées ou alternes. Plante épaisse et charnue, ramifications dans un seul plan *Osmundea*
- 11 Plante érigée, cartilagineuse, branches déterminées avec une excroissance ressemblant à des rameaux *Laurencia*
- 12 Plante érigée, axe et branche monosiphonnés au départ de la cellule apicale, la face latérale se développe en plusieurs cellules péricentrales *Polysiphonia*
- 13 Thalle polysiphonné avec des frondes aplaties, branchettes en forme de peigne. Alternance de séries de 3 à 6 branchettes de chaque côté, selon un motif très caractéristique. Organe de reproduction sur le bord des frondes ou des petites ramifications *Plocamium*
- 14 Thalle cylindrique, gélatineux, structure multiaxiale, ramifiée de manière dichotomique à partir de la petite base discoïde *Sciniaia*
- 15 Thalle cylindrique à légèrement conique, dichotomique, nettement articulé, segment gonflé, cortex constitué d'une couche parenchymateuse *Dichotomaria*
- 16 Thalle en lame. Petite lame délicate la plupart du temps lancéolée. Une à plusieurs cellules épaisses au niveau des nervures et des veines. Une cellule épaisse près des marges *Hypoglossum*
- 17 Thalle en frondes pourpres membraneuses et brillantes, à stipe ramifié, cartilagineux, cylindrique, à partir de renforts discoïdes épaissis. Branches portant des limbes disposés en spirale *Delesseria*
- Plante cylindrique ou légèrement aplatie, filamenteuse, ramifiée de manière dichotomique. 18
- 18a Thalle dressé, ramification dichotome, filaments axiaux cortiqués. Extrémités des filaments souvent recourbées en pince *Ceramium*
- 18b Plante dressée, filamenteuse. Ramifications alternées, rhizoïdes unicellulaires provenant de cellules périaxiales *Gayliella*
- Plante dressée, aplatie à foliacée 19

- 19a Plante érigée, aplatie avec la lame glissante, branches pennées à irrégulières, texture ferme, couleur pourpre foncé *Grateloupia*
- 19b Plante largement foliacée, lobé, texture charnue et cartilagineuse. Bords avec de nombreux rameaux de longueurs inégales. *Meristotheca*
- 19c Plante cylindrique à foliacée, simple ou diversement ramifiée, tétrasporange couramment présent *Solieria*
- 20 Thalle à plusieurs lames dressées, allongées-ovales ou orbiculaires, émergeant d'un talon discoïde. Les lames dressées simple ou à lobes irréguliers avec souvent des bords dentés, s'étalent à partir d'un stipe court *Anatheca*
- 21 Thalle à structure gazonnante formée de rameaux cylindriques étroitement enchevêtrés avec des ramules épineuses *Caulacanthus*

3.3.1.3.2 Clé des espèces des Rhodophyta

Genre Porphyra

Thalle foliacé, mince et légèrement élastique, sans sections divisées bien que la fronde principale puisse parfois être scindée. Système de fixation basé au centre de la fronde *P. umbilicalis*

Genre Gelidium

Thalle cartilagineux en forme d'arbuscule, presque plate, ramifiée de manière distillée, branches linéaires, atténuées à chaque extrémité, pennées et bipennées, pinnules pour la plupart opposées, obtuses, portant dans leurs apex des capsules elliptiques *G. corneum*

Thalle cartilagineux en forme d'arbuscule formé d'axes grêles, rampants desquels partent des frondes ramifiées, formées de rameaux aplati irrégulièrement disposés et portant des rameaux secondaires opposées ou alternes *G. latifolium*

Thalle cartilagineux robuste en forme d'arbuscule aplati avec des rameaux pennés. Rameaux secondaires minces, aplatis, nus à la base, généralement opposés, fixé à l'aide d'un stolon *G. sesquipedale*

Thalle cartilagineux en forme d'arbuscule, fortement ramifiée souvent opposée mais non évidente, téréte dans la partie inférieure mais souvent plus large et aplatie vers les extrémités *Gelidium sp.*

Genre Pterocladia

Thalle cartilagineux, touffu, comprenant un système basal stolonifère portant de nombreux axes verticaux souples. Axes prosternés cylindriques, attachés par des touffes de rhizoïdes *Pterocladia sp.*

Genre Gracilaria

Thalle cartilagineux élastique, longue et épaisse, ramifiée très irrégulièrement devenant parfois touffue *G. gracilis*

Thalle cartilagineux, plus ou moins souple, fortement ramifié. Branches un peu comprimées mais pas plates, fourchues, simples ou alternées mais rarement opposées. Consistance variant de cartilagineuse à succulente *G. bursa-pastoris*

Thalle cartilagineux, profondément divisée en lanières épaisses. Stipe comprimé s'élargit progressivement. Marges du thalle prolifères. Cystocarpes proéminents, coniques, sessiles, disséminés à la surface du thalle *G. multipartita*

Thalle cartilagineux, en lanières en forme de sangle. Lames à 1 à 2 couches de petites cellules corticales externes, irrégulièrement disposées en une couche continue. Cystocarpes hémisphériques, en forme de mamelles *G. mammillaris*

Thalle avec de nombreuses branches dures et glissantes. Extrémités des branches très effilées et pointues. *Gracilaria sp1*

Thalle cartilagineux érigé, ramifié irrégulièrement. Thalle plus ou moins comprimé. Couleur parfois verdâtre à brun-noirâtre *Gracilaria sp2*

Thalle cartilagineux, érigé, ramifié sub-dichotomiquement. Axes et branches térétes à aplatis *Gracilaria sp3*

Genre Gracilariopsis

Thalle à branches principales cylindriques ou légèrement aplaties, avec de fines branchettes latérales ressemblant à des cheveux, petits renflements arrondis et sombres (cystocarpes) sur tous les côtés des branches chez les plantes matures *G. lemaneiformis*

Genre *Hydropuntia*

Thalle cartilagineux mince, cylindrique, ramifiés dichotomiquement à l'état adulte. La ramification sous forme d'éventail, longue ou étroite *H. rangiferina*

Genre *Gymnogongrus*

Thalle cartilagineux, ramifié dichotomiquement dans un plan. Couleur assez caractéristique tirant sur le noir. Fronde linéaire, très étroite, aplatie. *G. nigricans*

Genre *Hypnea*

Thalle cartilagineux, ramifié irrégulièrement, branches à spinules en forme de colonne vertébrale. Extrémités de branches un peu aplaties et en forme de crochet *H. musciformis*

Thalle cartilagineux, ramifié, branches habituellement divaricato-dichotomiques. Extrémités de branches cervicornes (comme des bois de cerf) *H. spinella*

Thalle cartilagineux, ramifié irrégulièrement, branches à spinules en forme de colonne vertébrale. Ressemble à *H. musciformis* *Hypnea sp.*

Genre *Sarcodia*

Thalle dressé, sub-dichotomique, rigide. Structure multiaxiale, formée de filaments fortement enchevêtrés. *Sarcodia sp.*

Genre *Chondracanthus*

Thalle filiforme, cartilagineuse, constituée d'axes cylindriques, comprimés, diversement ramifiés en rameaux souvent arqués et terminés par des ramules aigues et courbes *C. acicularis*

Genre *Amphiroa*

Thalle buissonnant fortement imprégné de calcaire, rigide, cassante dont le thalle forme des touffes de filaments articulés se divisant régulièrement par 2 *Amphiroa sp1*

Thalle buissonnant, imprégné de calcaire, formé de rameaux dichotomes avec des articles séparés par des joints minces *Amphiroa sp2*

Genre *Corallina*

Thalle petit, rigide, constituée d'un système vertical calcaire articulé ressemblant à de petits os, ramifié en articulations symétriques en éventail *C. officinalis*

Genus *Ellisolandia*

Thalle comprimé, fortement incrusté de calcaire ; ramifications opposées donnant un aspect penné. Filaments sont formés d'articles ramifiés. Rameaux souvent renflés à leur extrémité par un conceptacle clair. La structure est multiaxiale *E. elongata*

Genre *Rhodymenia*

Thalle multiaxial, érigé. Stipe complètement ou légèrement aplati. Ramification dichotomique à frondes aplaties, palmées ou irrégulières. Couleur rouge vif, parfois rouge violacé *R. caespitosa*

Thalle multiaxial, érigé. Stipe légèrement aplati. Frondes à plusieurs reprises lobées de manière dichotomique, aisselles larges, apex arrondis, bord lisse *R. pseudopalmata*

Genre *Champia*

Thalle dressé ou rampant, axes segmentés, peu ou pas comprimés. Thalle creux, rempli de mucus, divisé par des cloisons à intervalles réguliers. L'apex est conique, le support discoïde. *C. parvula*

Genre *Lomentaria*

Thalle aplati, à section creuse et mucilagineuse, régulièrement en segments ovoïdes par des constriction assez fortes qui lui donnent un aspect articulé. L'axe, divisé de façon dichotome, porte des groupes de rameaux souvent terminés par deux ramules, dont la disposition rappelle celle des oreilles de lapin *L. articulata*

Genre Osmundea

Thalle aplati sur toute sa longueur, épais et charnu avec des ramifications alternées se produisant dans un seul plan. Ramifications, en languettes étroites, disposées symétriquement de chaque côté de l'axe principal comme les barbes d'une plume *O. pinnatifida*

Genre Laurencia

Thalle cylindrique ayant la forme d'un arbuscule avec des rameaux ultimes pourvu de 2 à 3 diverticules.

Rameaux très courts aux extrémités renflées en ampoules *L. obtusa*

Thalle cylindrique ayant la forme d'un arbuscule avec des rameaux obtus, de consistance charnue

..... *Laurencia sp1*

Thalle cylindrique en forme d'arbuscule avec des rameaux courts tronqués, avec des extrémités plus petites,

arrondies *Laurencia sp2*

Genre Polysiphonia

Thalle formé d'axes cylindriques, abondamment ramifiés dans tous les plans. Les rameaux sont de calibre constant, les plus jeunes, effilés, formant des pelotes terminales denses très caractéristiques..... *P. elongata*

Genre Plocamium

Thalle en touffes assez fines et délicates. Ramifications régulières, rameaux secondaires alternes divisés et portant des rameaux secondaires arqués, pointus, disposés unilatéralement comme les dents d'un peigne

..... *P. cartilagineum*

Genre Scinia

Thalle à axe dressée, à ramification dichotomique. Branches turgescentes, glissantes, lisses, téréte à légèrement aplaties *S. complanata*

Thalle à axes dressé. Stipe court et légèrement cylindrique Branches flasques ramifiées 5 à 8 fois selon 2

dimensions, avec des aisselles étroites *S. latifrons*

Thalle à axe dressé tubuleux et épais. Axe présentant des ramifications dichotomiques gélatineuses mais fermes.

Cystocarpes visibles par transparence *S. furcellata*

Thalle érigé, téréte à légèrement comprimé, ramifié sub-dichotomiquement, multiaxial, à noyau médullaire

composé de nombreux filaments minces et ramifiés *Scinia sp1*

Thalle érigé, téréte à légèrement comprimé, ramifié sub-dichotomiquement, multiaxial, à noyau médullaire

composé de nombreux filaments minces, ramifiés. Couleur rouge-brun *Scinia sp2*

Genre Dichotomaria

Thalle brun rouge foncé, très ramifiée de manière sub-dichotomique. Rameaux plats, superficiellement lisses, sans joint, mais souvent avec une bande transversale et un bord plus épais. Système de branchettes apparaissant sur des branches ramifiées, souvent avec une touffe de filaments plus longs au sommet des apex et sous les branches plates

..... *D. marginata*

Genre Hypoglossum

Thalle en lame pointue à son extrémité, parcourue sur toute sa longueur par une nervure médiane bien visible d'où partent des lames de même forme qui, à leur tour, portent, le long de leur nervure médiane, des proliférations ovales allongées. L'ensemble a un aspect touffu *H. hypoglossoides*

Genre Delesseria

Thalle avec un stipe cylindrique et constitué de lames ovales ramifiées irrégulièrement, légèrement hérissée ressemblant à des feuilles de hêtre, avec des pseudo-nervures

..... *D. sanguinea*

Genre Ceramium

Thalle dressé, filamenteux à ramifications dichotomes. L'apex fourchu des filaments montre deux pointes caractéristiques en forme de cornes ou de pince

..... *C. cornutum*

Thalle dressé, filamenteux à ramification dichotomique. Filaments axiaux cortiqués. Sommet des rameaux enroulés

..... *C. tenerrimum*

Thalle dressé en touffes de quelques centimètres de haut, de couleur rouge foncé, les entre-nœuds sont presque

nuls. Ramification dichotome. Branches à extrémité droite *Ceramium sp.*

Genre Gayliella

Thalle dressé, en touffes filamenteuses. Ramifications alternées à irrégulières. Rameaux unisériés avec de petites cellules corticales aux articulations *Gaylliella flaccida*

Genre Grateloupia

Thalle érigé, lamelleux, aplati avec 1 à 6 lames glissantes partant d'une même base. Lames lancéolées, longues et étroites avec des apex rétrécis et pointus. Branches pennées à irrégulières, texture ferme, couleur pourpre foncé *G. doryphora*

Thalle érigé, aplati avec une lame divisée en lanières de consistance gélatineuse. Des proliférations marginales presque toujours présentes *G. lanceolata*

Genre Meristotheca

Thalle foliacé, procumbent, très divisé, aminci à la base. Stipe court. Base non ramifié avec de nombreuses proliférations marginales *M. senegalense*

Genre Soliera

Thalle cylindrique, légèrement comprimé, ferme et cartilagineux. Axes sont ramifiés avec des bouts pointus *S. filiformis*

Genre Anatheca

Thalle en lames dressées, allongées-ovales ou orbiculaires, émergeant d'un talon discoïde. Lames simples ou à lobes irréguliers avec souvent des bords dentés, s'étalant à partir d'un stipe court *A. montagnei*

Genre Caulacanthus

Thalle gazonnant formant de petites touffes frisées, très ramifié avec des rameaux intriqués les uns dans les autres. Les derniers rameaux apicaux, courts et épineux, sont très caractéristiques de l'espèce. L'extrémité des rameaux laisse voir une organisation uniaxiale avec une cellule apicale à cloisonnement oblique *C. ustulatus*

Tableau 9. Principaux caractères des espèces de Rhodophyta

Espèce	Couleur	Forme	Consistance	Organe de fixation	Taille (cm)
<i>Porphyra umbilicalis</i>	brun-rougeâtre	Thalle en lame orbiculaire mince, membraneuse légèrement élastique, plus ou moins déchiquetée sur les bords de façon irrégulière. La lame ne présente qu'une seule couche de cellules.	Molle	Crampons	20
<i>Ceramium cornutum</i>	rouge clair à rouge bordeaux	Thalle filamenteux à ramifications dichotomes. L'apex fourchu des filaments montre deux pointes caractéristiques en forme de cornes ou de pince.	Rigide	Rhizoïdes	30
<i>Ceramium sp.</i>	Rose foncé	Thalle dressé en touffes de quelques centimètres de haut, de couleur rouge foncé, les entre-nœuds sont presque nuls. Ramification dichotome. Branches à extrémité droite	Rigide	Rhizoïdes	
<i>Ceramium tenerrimum</i>	Rouge rosé	Thalle filamenteux dressé. Branches dichotomes, les dichotomies sont plus proches dans la partie supérieure de la fronde. Apex de la fronde légèrement enroulé, à bord lisse.	Rigide	rhizoïdes	1 à 3
<i>Gayliella flaccida</i>	rose clair à rose-rouge	Thalle en touffes filamenteuses, fines et denses. Ramifications irrégulières. Rameaux unisériés avec de petites cellules corticales aux articulations. Sommets le plus souvent droits, quelquefois un peu incurvés.	Rigide	Rhizoïdes	10
<i>Delesseria sp.</i>	rouge à rouge rosé	Thalle membraneux, fixé avec un petit disque basal. Stipe cylindrique, cartilagineux. Lame parcourue en son milieu par une nervure visible. Marges des lames plus ou moins dentées.	Rigide	Disque	
<i>Hypoglossum hypoglossoides</i>	Rouge vif	Thalle en frondes membraneuses issues d'une base discoïde. Fronde de forme ovale et lancéolée, à nervure médiane bien marquée et mince membraneuse, souvent ondulée. Marges ramifiées de manière irrégulière à plusieurs reprises depuis la nervure médiane. Fronde à apex pointu.	Rigide	Disque	2 à 30
<i>Laurencia obtusa</i>	Rouge à rouge violacé	Thalle en touffes. Chaque fronde comprend un axe principal légèrement aplati d'où partent des rameaux latéraux presque horizontaux, opposés ou alternés qui diminuent de longueur de la base au sommet. Rameaux latéraux portant des ramules plusieurs fois divisés, généralement opposés.	Rigide	Encroûtement basal	8 à 12
<i>Laurencia sp1</i>	rouge violacé	Thalle cylindrique ayant la forme d'un arbuscule avec des rameaux obtus, de consistance charnue.	Rigide	Crampons	10
<i>Laurencia sp2</i>	Rouge violacé	Thalle cylindrique ayant la forme d'arbuscule. Fronde épaisse et charnue à extrémités arrondies.	Rigide		
<i>Osmundea pinnatifida</i>	Rouge foncé à noir	Fronde charnue, fortement aplatie, pourvue d'un axe plusieurs fois divisé en rameaux comprimés, eux-mêmes à ramifications pennés, aplatis, toutes dans le même plan. Fronde est fixée par un disque où sont implantées plusieurs frondes et d'où partent des rameaux stolonifères.	Rigide	Disque	3 à 10
<i>Polysiphonia atlantica</i>	rouge brun foncé	Thalle filamenteux formé de petites touffes. La plante présente des axes principaux nets et des rameaux latéraux abondantes et effilés, disposés en pinceaux.	Rigide	Crampons	1 à 3

<i>Amphiroa sp1</i>	Rose pâle	Thalle calcaire ressemblant à un buisson, cylindrique de couleur rose pâle tirant vers le violet et est formé de rameaux dichotomes articulés à extrémité arrondie.	Rigide		
<i>Amphiroa sp2</i>	rouge à rougeâtre	Thalle calcaire en buisson, cylindrique avec des articles allongés, séparés par des joints très minces.	Rigide		
<i>Corallina officinalis</i>	Rose pâle	Thalle petit, rigide. Système vertical calcaire articulé ressemblant à de petits os. Articles aplatis, successifs de façon à constituer un axe à partir duquel partent des rameaux généralement opposés. Rameaux très souvent renflés à leurs extrémités par des conceptacles.	Rigide	Crampons	3 à 12
<i>Corallina sp.</i>	Rose à rouge	Thalle dressé raide, stipe non ramifié. Ramifications denses, irrégulièrement simples à composées. Les articles généralement plus longs que larges, cylindriques à la base de la fronde, devenant comprimés, cunéiformes vers l'apex.	Rigide	Crampons	4 à 10
<i>Ellisolandia elongata</i>	Rose-blanchâtre à rouge-lilas	Thalle imprégné de calcaire, rose-blanchâtre à lilas rougeâtres, articulé, minuscule arrangement de type os de poisson. Axe comprimé à ramifications opposées donnant un aspect penné. Rameaux renflés à leur extrémité par un conceptacle.	Rigide	Disque	50
<i>Anatheca montagnei</i>	Rose à rouge violacé	Thalle en plusieurs lames érigées, allongées, ovales ou orbiculaires, provenant d'une fixation discoïde. Lames érigées se développant à partir d'un court stipe. Lames simples ou irrégulièrement lobées, souvent avec des marges dentées.	Rigide	Disque	
<i>Caulacanthus ustulatus</i>	Violet foncé à brunâtre	Frondes cylindriques cartilagineuses denses, touffues, ramifiées abondamment et irrégulièrement, se rétrécissant de manière assez abrupte vers les apex, donnant un aspect de corne. Attaché par des stolons rampants produisant des rhizoïdes multicellulaires.	Rigide	Rhizoïdes	2 à 5
<i>Hypnea musciformis</i>	Rose à rouge sombre	Thalle en touffes de rameaux de consistance ferme, cylindriques et inextricables. Rameaux portant des ramifications simples ou enroulés en crosse à leur extrémité. Ce dernier aspect est très caractéristique et permet de reconnaître sans ambiguïté l'espèce.	Rigide	Rhizoïdes	
<i>Hypnea spinella</i>	Rose à rouge sombre	Thalle présentant des extrémités pourvus d'un chevelu très dense de petites ramifications divergentes les uns des autres. Ces ramifications forment généralement, entre elles, des angles presque droits.	Rigide	Rhizoïdes	
<i>Hypnea sp.</i>	Rose à rouge	Thalle formé de branches cylindriques, très ramifiées. Extrémités des branches aplaties.	Rigide	Rhizoïdes	
<i>Chondracanthus acicularis</i>	Rouge –pourpe à noirâtre	Thalle constitué de branches cartilagineuses, cylindriques, irrégulièrement bifurquées. Branches courbées, pointues. La base est discoïde, souvent stolonifère.	Rigide	disque	10
<i>Gymnogongrus nigricans</i>	Rouge –pourpe à noirâtre	Thalle en fronde linéaire, très étroite, aplatie, présentant un aspect assez régulière, ramifié par dichotomie. Ramification dans un plan, le plus souvent.	Rigide	Disque basal	
<i>Sarcodia sp.</i>	Rouge à rouge foncé	Thalle dressé, sub-dichotomique, rigide. Structure multiaxiale, formée de filaments fortement enchevêtrés.	Rigide	Rhizoïdes	
<i>Meristotheca senegalense</i>	Rouge foncé	Thalle foliacé, très divisé, aminci à la base, fixé au stolon par l'intermédiaire d'un stipe. Base non ramifiée portant de nombreuses proliférations marginales.	Rigide	Rhizoïdes	
<i>Soliera filiformis</i>	Rose à rouge foncé	Thalle formé d'axes solides et cylindriques. Habituellement les axes sont fortement ramifiés avec des bouts pointus.	rigide	Rhizoïdes	

<i>Gelidium corneum</i>	Rouge à rouge foncé	Thalle à aspect robuste, trapu et de consistance cartilagineuse. Les rameaux principaux minces, aplatis. Rameaux secondaires généralement opposés.	Rigide	Rhizoïdes	
<i>Gelidium sp1</i>	Rouge vif	Thalle dur, légèrement cartilagineux, ramification irrégulière, larges bouts aplatis mais section inférieure cylindrique	Rigide	Rhizoïdes	
<i>Gelidium sp2</i>	Rouge foncé	Thalle dur, charnu et cartilagineux, cylindriques avec des ramifications disposées en deux rangées opposées	Rigide	Rhizoïdes	
<i>Gelidium sp3</i>	Rouge	Thalle cylindrique, cartilagineux, comprimé avec des ramifications variables	Rigide	Rhizoïdes	
<i>Pterocladia sp1</i>	Rouge noirâtre	Thalle formé d'un axe principal aplati, portant à partir de son tiers inférieur une abondante ramification disposée dans un plan. Les rameaux secondaires sont bien visibles.	Rigide	Disque	20
<i>Pterocladia sp2</i>	Rouge violacé	Thalle cartilagineux, cylindrique. Les parties inférieures aplaties, les pointes cylindriques sont ramifiée, pennée, formant généralement une fronde à contour triangulaire.	Rigide	Disque	30
<i>Gracilaria bursa-pastoris</i>	Rose à rouge parfois brunâtre	Thalle cartilagineux, érigé. Branches alternativement ramifiées, longues, sub-dichotomiques, mais souvent simples, cylindriques, aplaties dans les parties plus jeunes. De courts rameaux peuvent être présents ou non.	Rigide	Disque	13
<i>Gracilaria gracilis</i>	Rouge pourpre	Thalle cartilagineux, cylindrique, dressé. Ramification très irrégulière, clairsemée ou abondante, rameaux de 2 mm de diamètre. Apex pointu.	Rigide	Disque	10 à 50
<i>Gracilaria mammillaris</i>	Rouge foncé à brun rouge	Thalle touffu et dur. Branches principales aplaties et ressemblant à des sangles, avec des pointes divisées en deux ou plusieurs sections en forme de corne.	Rigide	Disque	
<i>Gracilaria multipartita</i>	Rouge-brun	Thalle épaisse, cartilagineuse, ramifié de façon irrégulière. Stipe comprimé, s'élargissant progressivement. Marges du thalle prolifères, lisses et entières. Cystocarpes gros et coniques, très proéminents et dispersés sur la fronde.	Rigide	Disque	10 à 30
<i>Gracilaria sp1</i>	Rouge à brunâtre	Thalle avec de nombreuses branches dures et glissantes. Extrémités des branches très effilées et pointues.	rigide	Rhizoïdes	
<i>Gracilaria sp2</i>	Brun foncé	Thalle cartilagineux érigé, ramifié irrégulièrement. Thalle plus ou moins compressé. Couleur parfois verdâtre à brun-noirâtre	Rigide	Rhizoïdes	
<i>Gracilaria sp3</i>	Rouge brunâtre	Thalle cartilagineux, érigé, ramifié sub-dichotomiquement. Axes et branches térétes à aplatis.	Rigide		
<i>Gracilariopsis lemaneiformis</i>	Rouge à brunâtre	Thalle mince, avec un axe principal distinct et peu ou plusieurs longues branches cylindriques. Ramifications irrégulières à alternes. filiformes, légèrement resserrées au niveau de la partie inférieure.	Rigide	Rhizoïdes	40
<i>Hydropuntia rangiferina</i>	Rouge brun	Thalle dichotomiquement ramifié. Ramification du thalle laciniée, terminale ou en position latérale. Thalle constitué d'un disque basal, d'un stipe, et se termine par une fronde peu ou fortement ramifiée.	Rigide	Disque basal	5 à 20
<i>Grateloupia doryphora</i>	Rouge foncé	Thalle formé de 1 à 6 lames partant d'une même base. Lames lancéolées longue et étroites présentant des extrémités pointues. Apex nettement rétrécis et pointus, simples	Rigide	Petit disque basal	8 à 50

		ou avec de nombreuses lames secondaires poussant depuis la lame primaire, généralement beaucoup plus étroites lorsqu'elles rejoignent la lame primaire.			
<i>Grateloupia lanceolata</i>	Rouge foncé à brun	Thalle formant une lame divisée en lanières irrégulières de consistance gélatineuse. Des proliférations marginales sont presque toujours présentes.	rigide	Disque basal	
<i>Dichotomaria marginata</i>	Rouge crème	Thalle touffu, hémisphérique présentant une calcification modérée. Ramifications dichotomiques.	rigide		5 à 20
<i>Scinaia complanata</i>	Rose rouge	Thalle érigée. Sept à neuf branches dichotomiques à maturité sexuelle, émergeant de petites pattes discoïdes. Branches turgescentes, glissantes, lisses, térétes à légèrement aplaties. Les entre-nœuds quatre à sept fois plus longs que larges, les apex obtus, le segment ultime fusiforme, plus large à l'extrémité distale.	Molle	Disque basal	1 à 8
<i>Scinaia latifrons</i>	Rose rouge	Thalle à axes dressé. Stipe court et légèrement cylindrique Branches flasques ramifiées 5 à 8 fois selon 2 dimensions, avec des aisselles étroites	Molle	Disque basal	3 à 5
<i>Scinaia furcellata</i>	Rose à rouge	Thalle formé d'un axe dressé tubuleux et épais, fixé par un disque. Axes présentant des ramifications dichotomes, gélatineuses mais fermes. Thalle pouvant porter des cystocarpes visibles par transparence.	Molle	Disque	2 à 5
<i>Scinaia sp1</i>	Rose à rouge	Thalle érigé, téréte à légèrement comprimé, ramifié sub-dichotomiquement, multiaxial, à noyau médullaire composé de nombreux filaments minces et ramifiés.	Molle	Disque	10
<i>Scinaia sp2</i>	Rouge à brunâtre	Thalle érigé, téréte à légèrement comprimé, ramifié sub-dichotomiquement, multiaxial, à noyau médullaire composé de nombreux filaments minces, ramifiés.	Molle	Disque	7
<i>Plocamium cartilagineum</i>	Rouge vif à rouge foncé	Thalle constitué de frondes étroites, comprimées, cartilagineuses, effilées, touffues très divisées. Pinnules alternes irrégulières ramifiées alternativement deux à deux ou cinq apex aigus, les plus bas de chaque ensemble un épi simple, les autres augmentant fortement pectiné.	rigide	Rhizoïdes se terminat par un disque	30
<i>Plocamium sp.</i>	Rouge	Thalle est constitué frondes sont aplaties, cartilagineuses, avec des rameaux semblables, disposés en groupes alternés.	Rigide		
<i>Champia parvula</i>	Rouge rosé	Thalle en frondes très ramifiées, densément emmêlées, avec des apex contondants. Axes segmentés, perlés, à diaphragmes nodaux, segments à peu près aussi longs que larges, remplis d'un mucilage aqueux. Axes se ramifiant sur le mode alterne ou opposé ou même verticillé en donnant des rameaux.	Molle gélatineuse		10 à 25
<i>Lomentaria sp.</i>	Rouge vif	Thalle ramifié dichotomiquement, formé d'articles vésiculeux ovoïdes et mous.	Rigide		5 à 10
<i>Rhodymenia caespitosa</i>	Rouge à brunâtre.	Thalle foliacé, à stipe, discoïde ou stolonifère de taille petite à saillante et plates, à lames complanates, avec ou sans proliférations de surface. Structure multiaxiale, avec cortex à petites cellules et moelle à cellules plus grandes.	Rigide		5 à 10
<i>Rhodymenia pseudopalmata</i>	Rose à rouge	Thalle lamelleux, aplati sans stipe distinct ou très court. Lames grandes avec des lobes dichotomiques. Plusieurs excroissances des branches. Les lamelles s'élargissent progressivement vers le sommet et se terminent en lobes arrondis ou tronqués. Spores en plaque près de l'apex. Apex arrondis, marge lisse.	Rigide	Disque	10

Tableau 10. Classification des espèces de Rhodophyta

PHYLUM	CLASSE	ORDRE	FAMILLE	GENRE	ESPECE
Gracilariaceae	Bangiophyceae	Bangiales	Bangiaceae	Porphyra	<i>Porphyra umbilicalis</i>
	Florideophyceae	Ceramiales	Ceramiaceae	Ceramium	<i>Ceramium cornutum</i>
					<i>Ceramium sp.</i>
					<i>Ceramium tenerrimum</i>
					<i>Gayliella flaccida</i>
			Delesseriaceae	Delesseria	<i>Delesseria sp.</i>
				Hypoglossum	<i>Hypoglossum hypoglossoides</i>
			Rhodomelaceae	Laurencia	<i>Laurencia obtusa</i>
					<i>Laurencia sp1</i>
					<i>Laurencia sp2</i>
				Osmundea	<i>Osmundea pinnatifida</i>
		Polysiphonia	<i>Polysiphonia atlantica</i>		
		Corallinales	Corallinaceae	Amphiroa	<i>Amphiroa sp1</i>
					<i>Amphiroa sp2</i>
				Corallina	<i>Corallina officinalis</i>
					<i>Corallina sp.</i>
		Ellisolandia	<i>Ellisolandia elongata</i>		
		Gigartinales	Areschougiaceae	Anatheca	<i>Anatheca montagnei</i>
			Caulacanthaceae	Caulacanthus	<i>Caulacanthus ustulatus</i>
			Cystocloniaceae	Hypnea	<i>Hypnea musciformis</i>
					<i>Hypnea spinella</i>
	<i>Hypnea sp.</i>				
	Gigartinaceae		Chondracanthus	<i>Chondracanthus acicularis</i>	
	Phyllophoraceae		Gymnogongrus	<i>Gymnogongrus nigricans</i>	
	Sarcodiaceae		Sarcodia	<i>Sarcodia sp.</i>	
	Solieriaceae	Meristotheca	<i>Meristotheca senegalense</i>		
		Soliera	<i>Soliera filiformis</i>		
	Gelidiales	Gelidiaceae	Gelidium	<i>Gelidium corneum</i>	
				<i>Gelidium sp1</i>	
				<i>Gelidium sp2</i>	
				<i>Gelidium sp3</i>	
	Pterocladaceae	Pterocladia	<i>Pterocladia sp1</i>		
<i>Pterocladia sp2</i>					
Gracilariales		Gracilaria	<i>Gracilaria bursa-pastoris</i>		
			<i>Gracilaria gracilis</i>		
			<i>Gracilaria mammillaris</i>		
			<i>Gracilaria multipartita</i>		
			<i>Gracilaria sp1</i>		
			<i>Gracilaria sp2</i>		
<i>Gracilaria sp3</i>					

			Gracilariopsis	<i>Gracilariopsis lemaneiformis</i>
			Hydropuntia	<i>Hydropuntia rangiferina</i>
	Halymeniales	Halymeniaceae	Grateloupia	<i>Grateloupia doryphora</i> <i>Grateloupia lanceolata</i>
	Nemaliales	Galaxauraceae	Dichotomaria	<i>Dichotomaria marginata</i>
		Scinaiaceae	Scinaia	<i>Scinaia complanata</i>
				<i>Scinaia latifrons</i>
				<i>Scinaia furcellata</i>
				<i>Scinaia sp1</i> <i>Scinaia sp2</i>
	Plocamiales	Plocamiaceae	Plocamium	<i>Plocamium cartilagineum</i> <i>Plocamium sp.</i>
	Rhodymeniales	Champiaceae	Champia	<i>Champia parvula</i>
		Lomentariaceae	Lomentaria	<i>Lomentaria sp.</i>
		Rhodymeniaceae	Rhodymenia	<i>Rhodymenia caespitosa</i> <i>Rhodymenia pseudopalmata</i>

3.3.2 ANALYSE FLORISTIQUE

Au total, 98 espèces ont été déterminées. L'analyse de la composition spécifique montre que les Rhodophyta sont les plus représentées (57,14%), suivies des Chlorophyta (26,53%) et des Ochrophyta (16,33%) (figure 21). La cartographie de la répartition de ces espèces le long du littoral est donnée en annexe 2.

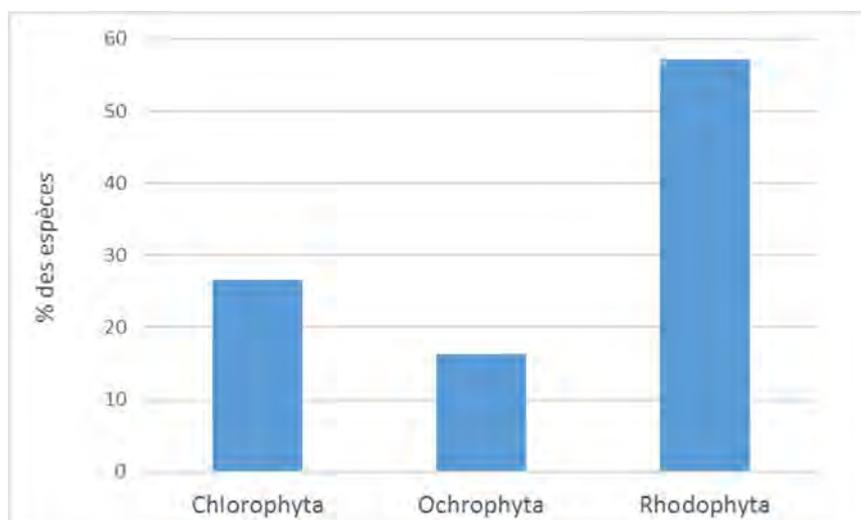


Figure 21. Représentativité des 3 groupes taxonomiques des algues macrophytes du littoral centre

L'analyse de la structure de la flore montre que, dans l'ensemble de ces 3 phylums, les espèces sont réparties en 4 classes, 16 ordres, 30 familles et 44 genres (tableau 11).

Tableau 11. Structure de la flore des algues macrophytes du littoral centre

	Chlorophyta		Ochrophyta		Rhodophyta	
	N	%	N	%	N	%
Classe	1	25,00	1	25,00	2	50,00
Ordre	3	18,75	3	18,75	10	62,5
Famille	5	16,67	3	10	22	73,33
Genre	7	15,91	6	13,64	31	70,45
Espèce	26	26,53	16	16,327	56	57,143

3.3.2.1 Phylum des Rhodophyta

Le phylum des Rhodophyta est le plus représenté dans nos échantillons avec 2 classes, 10 ordres, 22 familles, 31 genres et 56 espèces, Hormis la classe des Bangiophyceae qui compte un seul représentant (*Porphyra umbilicalis*) toutes les autres espèces appartiennent à la classe des Florideophyceae. Les familles les plus représentées sont celles des Gracilariaceae (16,07%) suivies des Rhodomelaceae (8,93%), des Corallinaceae (8,93%), des Scinaiaceae (8,93%), des Ceramiaceae (7,14%) et des Gelidiaceae (7,14%). Les familles des Bangiaceae, Areschougiaceae, Caulacanthaceae, Gigartinaceae, Phyllophoraceae, Sarcodiaceae, Galaxauraceae, Champiaceae et Lomentariaceae ne sont, en revanche, représentées que par une seule espèce. Pour ce qui des genres, le genre *Gracilaria* est le plus représenté avec 7 taxa suivi des genres *Scinaia* et *Gelidium*.

3.3.2.2 Phylum des Chlorophyta

Pour ce phylum des Chlorophyta, nous avons identifié 26 espèces réparties en une seule classe (celle des Ulvophyceae), 3 ordres, 5 familles et 7 genres. La famille la plus diversifiées est celle des Ulvaceae (25%), suivie des Bryopsidaceae (17,85%), des Caulerpacae (17,85%) des Codiaceae (17,85%) et des Cladophoraceae (14,28%). A part les genres *Chaetomorpha* et *Enteromorpha* qui comptent une seule espèce chacun, tous les autres genres sont bien représentés par, au moins, 3 taxa.

3.3.2.3 Phylum des Ochrophyta

Le phylum des Ochrophyta est le moins représenté dans nos échantillonnages avec 16 espèces réparties en une seule classe (celle des Phaeophyceae), 3 ordres, 3 familles et 6 genres. Les familles les plus diversifiées sont celles des Dictyotaceae (68,75%) et des Sargassaceae (25%). La famille des Scytosiphonaceae n'est représentée que par une seule espèce. Les genres *Padina*, *Sargassum* et *Dictyota* sont les plus représentés avec, au moins, 3 taxa chacun.

3.4 DISCUSSION

L'analyse de la structure de la flore et de l'importance relative des familles, les unes par rapport aux autres, montre que plus de la moitié des familles rencontrées dans le littoral est représentée par au moins deux espèces. Ces familles comptent pour 67% de cette flore marine. Les Dictyotaceae (11,22%), les Gracilariaceae (9,18%), et les Ulvaceae (7,14%) sont les plus diversifiées. Les familles représentées par une seule espèce totalisent 10,20% de l'échantillon et revêtent une importance particulière, surtout celle des Scytosiphonaceae qui, dans toute la

flore marine du Sénégal (Bodian, 2000), n'est représentée que par une seule espèce. Sa présence constitue un argument de taille qui justifie la protection et la conservation de ces ressources dans les zones maritimes du Sénégal. Les genres *Gracilaria* (7 taxa) chez les algues rouges, *Ulva* (6 taxa) chez les algues vertes et *Padina* (5 taxa) chez les algues brunes sont les plus représentés.

Il ressort, également, de cette présente étude que les Floridophyceae (algues rouges) constituent la classe la plus importante, du point de vue diversité spécifique, et la plus importante du point de vue intérêt économique, du fait de leur richesse en phycocolloïdes (Bodian *et al.*, 2017 ; Fostier *et al.*, 1992).

On note, toutefois, un caractère épisodique des études scientifiques portant sur la systématique et la diversité de la flore algale des côtes sénégalaises. Si un certain nombre de publications, monographies, articles, mémoires et thèses ont eu à traiter des algues au Sénégal, l'approche taxonomique a été souvent négligée. Nous retiendrons, cependant, quelques figures dans l'algologie systématique (Dangeard, 1952 ; Chevalier, 1920 ; Trochain, 1940 ; Bodard, 1966 ; Bodard, 1971 ; Bodard et Mollion, 1974 ; Mollion, 1975a ; Mollion, 1975b ; Mollion, 1979 ; Harper & Garbary, 1997).

Les premières explorations portant sur la diversité des algues marines des côtes sénégalaises remontent aux alentours des années 1920 avec Chevalier. Vingt ans plus tard Trochain (1940), publie une liste de 22 espèces, cependant, la véritable étude systématique est abordée par Dangeard (1952) qui décrit près de 100 espèces d'algues marines. Vingt-deux ans plus tard, les auteurs Bodard & Mollion (1974) effectuent des travaux de vaste envergure à travers des dragages et chalutages à Gorée, Bargny et le long de la Petite côte et publient une liste de 113 espèces. Ce nombre passe, 24 ans après à 242 avec Harper & Garbary (1997). L'auteur Bodian (2000) estime à près de 260 espèces d'algues marines existant sur la côte atlantique sénégalaise. C'est le plus grand nombre d'espèces cité, à ce jour ! Les 98 taxa répertoriés dans cette étude constitue, déjà, près de 33,7% du nombre d'espèces citées, avec une large dominance des algues rouges.

John *et al.* (2004) fournissent une liste systématique de toutes les algues marines des côtes de l'Afrique de l'Ouest, dans un ouvrage de base : "*A taxonomic and geographical catalogue of the seaweeds of the western coast of Africa and adjacent islands*". Cette liste concerne toutes les algues marines macrophytes observées dans les aires marines qui s'étendent des côtes marocaines aux côtes de l'Angola. Au total, 1.195 espèces ont été recensées dont 202 espèces d'algues vertes, 200 espèces d'algues brunes et 793 espèces d'algues rouges. Notre contribution est de toute évidence plus modeste puisqu'elle n'inclut que 98 espèces de ce groupe végétal. Ceci s'explique par le fait que notre champ d'investigation est plus réduit dans le domaine spatio-temporel car il a été cantonné à une frange étroite du cadre maritime sénégalais.

Sur les 260 espèces citées par Bodian (2000), 48 ont été retrouvées dans notre étude. L'étude de Bodian (2000) constitue, à nos yeux une certaine référence, mais ne fait pas entièrement autorité et date déjà de plus de 16 ans. L'auteur lui-même mentionnait un nombre important d'espèces non encore déterminées, voire incertaines ou douteuses. En outre, il mentionnait que des familles entières méritaient, comme nous l'avons noté dans cette étude, une profonde révision systématique. A ce propos, nous avons d'ailleurs été confrontés à certaines difficultés dans la diagnose des familles des Codiaceae, des Gelidiaceae et des Gracilariaceae. Les caractères utilisés par les auteurs (Cabioc'h *et al.*, 2006 ; Gayral, 1958 ; Dangeard, 1952 ; Van den Hoek *et al.*, 1995 ; De Reviers 2002 ; De Reviers 2003 ; Cabioc'h *et al.*, 1992)

n'apparaissant pas toujours de manière évidente. Les références bibliographiques (Gayral, 1958 ; Bodian 2000 ; Bodard, 1967 ; Harper et Garbary, 1997) révèlent d'une part, des espèces désignant probablement les mêmes types mais portant des noms d'auteurs différents, d'autre part, une même espèce est décrite de façon tout à fait différente suivant les auteurs, d'où une absence vraisemblable de description typique.

Par ailleurs, les convergences morphologiques ou les plasticités phénotypiques, rendent, parfois, difficile la détermination de la diversité spécifique à partir d'observations morpho-anatomiques seules et dressent un enjeu majeur dans le domaine de l'identification (Saunders, 2005 ; Saunders *et al.*, 2005 ; Saunders *et al.*, 2010). Il nous est arrivé d'observer des individus d'une même espèce qui présentaient des apparences très différentes en fonction des conditions biotiques et abiotiques locales. Ces individus pourraient être considérés à l'œil nu comme des espèces différentes alors qu'il ne s'agit que d'un phénomène de plasticité phénotypique (cas des espèces du genre *Grateloupia*). Goeffroy (2012) souligne également, que des individus de genres ou d'espèces distincts peuvent, sous des pressions environnementales identiques, s'adapter de manière similaire et ainsi converger morphologiquement par homoplasie, les rendant similaires à l'œil nu alors que leur origine phylogénétique est bien distincte.

Tout ceci révèle l'extrême complexité de la systématique des algues macrophytes marines. Cette diversité ne peut être détectée que par des analyses de taxonomie moléculaire. Le développement d'outils moléculaires performants permet, actuellement, d'appréhender différemment l'identification ou la délimitation des espèces (Saunders, 2005 ; Saunders *et al.*, 2005 ; Saunders *et al.*, 2010 ; Goeffroy, 2012) et permet de montrer l'existence d'espèces cryptiques, espèces non distinguables morphologiquement mais génétiquement différentes (Bickford *et al.*, 2007).

En définitive, nous retiendrons que les algues macrophytes marines restent encore peu connues au Sénégal. Cette lacune pourrait être liée à la difficulté d'accès du milieu marin, à l'absence de moyens d'investigation, au manque d'intérêt aussi bien des populations côtières que des chercheurs botanistes pour la ressource algale. On peut noter la quasi-inexistence d'usage ethnobotanique connu des algues (Bodian, 2000).

3.5 CONCLUSION

Ce chapitre apporte des informations actualisées sur la systématique et la biodiversité des algues macrophytes marines des côtes du Sénégal. La description morphologique des taxons rencontrés sur le littoral centre a permis d'identifier les espèces, au moins, jusqu'au niveau du genre. A partir de cette description, une clé de détermination a été élaborée.

Il ressort de cette étude que le littoral centre du Sénégal possède une flore algale assez diversifiée et compte 98 espèces réparties en 4 classes, 16 ordres, 30 familles et 44 genres. Les algues rouges sont les mieux représentées et totalisent plus de la moitié des espèces inventoriées. Concernant les familles, les Dictyotaceae, les Gracilariaceae et les Ulvaceae sont les plus diversifiées. Les autres familles moins représentées participent toutefois à la diversité de cette flore, notamment les familles monospécifiques. Pour ce qui est des genres, les *Gracilaria*, *Ulva* et *Padina* sont les plus représentés.

Des explorations complémentaires devraient être menées sur les autres zones maritimes du littoral pour une meilleure connaissance de la biodiversité de cette flore marine. De telles études permettront éventuellement de lever les ambiguïtés portant sur l'identification de certaines espèces et de découvrir de nouvelles espèces. Par ailleurs, la relation entre la biodiversité floristique et le fonctionnement d'un écosystème marin étant une question écologique

fondamentale pour comprendre la structure et le fonctionnement de ce dernier, il est important de connaître la dynamique des différents éléments qui le composent, c'est-à-dire la distribution de la flore marine dans l'espace et dans le temps. Ce qui va faire l'objet du chapitre qui va suivre.

Chapitre 4

VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DES ESPECES DANS LES SITES DE NGOR, THIAROYE ET POINTE-SARENE EN RAPPORT AVEC LES VARIATIONS DES PARAMETRES DU MILIEU

4.1 INTRODUCTION

Si la dynamique spatio-temporelle des ressources marines animales a fait l'objet de nombreuses études au Sénégal (FAO, 2014), pour les autres ressources marines végétales, comme les algues macrophytes, les connaissances scientifiques, sur ce thème, restent encore très insuffisantes (Ba et Noba, 2001). Ces dernières ne semblent pas susciter, un intérêt majeur de la part des chercheurs botanistes sénégalais. D'autre part, il n'existe que de rares indications sur la variabilité de cette flore algale dans les différentes régions maritimes et autres biotopes spécifiques du Sénégal, alors que cette composante est indispensable pour comprendre la structure et le fonctionnement des écosystèmes côtiers (Bengtsson, 1998). Cette variabilité spatio-temporelle semble être contrôlée par l'interaction des paramètres hydrodynamiques, physico-chimiques et biologiques du milieu (Gaihard, 2003).

Ainsi, l'objectif de ce chapitre est de suivre la dynamique spatio-temporelle des espèces d'algues macrophytes sur le littoral centre du Sénégal en ciblant des sites circonscrites aux caractéristiques hydrodynamiques, sédimentologiques et géomorphologique contractées sur la presqu'île du Cap-Vert et sur la Petite Côte, afin de disposer de données scientifiques de base précises et localisées. Cette dynamique spatio-temporelle est analysée avec les variations des paramètres physico-chimiques du milieu.

4.2 METHODOLOGIE

4.2.1 RECOLTE ET IDENTIFICATION DES ECHANTILLONS

Les échantillons d'algues ont été prélevés, lors de sorties mensuelles, au niveau de la zone côtière comprise entre le médiolittoral et l'infralittoral supérieur. Les sorties de terrain ont été faites sur une année, d'août 2013 à Juillet 2014. Les récoltes se sont déroulées durant les périodes de basses marées. La récolte concerne aussi bien les algues fixées que celles en dérive, ou échouées sur la plage. Concernant l'identification des espèces, nous avons utilisé la même méthodologie décrite dans le chapitre précédent.

4.2.2 DETERMINATION DE LA RICHESSE SPECIFIQUE

Pour apprécier la diversité floristique des groupements d'algues, l'indice de diversité de Shannon (H') a été utilisé. Il tient compte à la fois de la richesse et de l'abondance relative des espèces. Il est donné par la formule suivante :

$$H' = -\sum (n_i/N) \ln (n_i/N)$$

n_i étant le nombre d'individus pour l'espèce i et N l'effectif total (les individus de toutes les espèces).

4.2.3 MESURE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Un navigateur GPS de type Garmin a servi à la localisation des stations d'échantillonnage au niveau des sites. Les paramètres physico-chimiques tels que la température de l'eau, la température de l'air, la salinité, la conductivité électrique, le pH et l'oxygène dissous ont été mesurés, *in situ*, à l'aide d'une sonde multi paramètre de type YSI 556 MPS (multi probe system). A chaque sortie, un prélèvement d'eau de surface est effectué et conservé dans une bouteille de 0,33 litre à une température proche de 4°C. Le dosage des nitrites, nitrates, ions ammoniums et phosphates a été effectué à l'aide d'un spectrophotomètre de type HACH DR-2800.

4.3 RESULTATS

4.3.1 ANALYSE DU PEUPLEMENT ALGAL GLOBAL DES TROIS SITES

Quatre-vingt-un (81) taxons ont été recensés dans l'ensemble des trois sites (tableau 12). Soixante-et-une (61) ont été récoltées sur la Petite Côte (Pointe-Sarène) contre 60 espèces sur la presqu'île du Cap-Vert (Ngor + Thiaroye).

L'analyse de la composition spécifique montre que les Rhodophyta sont les plus représentées (56,8%), suivies des Chlorophyta (27,2%) et des Ochrophyta (16%).

Tableau 12. Liste totale des espèces récoltées dans les trois sites (Ngor, Thiaroye et Pointe-Sarène)

PHYLUM	CLASSE	ORDRE	FAMILLE	GENRE	ESPECE	Ngor	Thiaroye	Pointe Sarène	
Chlorophyta	Ulvophyceae	Bryopsidales	Bryopsidaceae	Bryopsis	<i>Bryopsis corymbosa</i>	X			
					<i>Bryopsis duplex</i>	X	X		
					<i>Bryopsis plumosa</i>	X			
					<i>Bryopsis setacea</i>	X			
			Caulerpaceae	Caulerpa	<i>Caulerpa chemnitzia</i>	X		X	
					<i>Caulerpa racemosa</i>	X		X	
					<i>Caulerpa sp1</i>	X		X	
					<i>Caulerpa taxifolia</i>	X		X	
			Codiaceae	Codium	<i>Codium decorticatum</i>	X		X	
					<i>Codium sp1</i>	X	X	X	
		<i>Codium sp2</i>				X	X		
					<i>Codium tomentosum</i>			X	
		Cladophorales	Cladophoraceae	Chaetomorpha	<i>Chaetomorpha sp.</i>				X
					Cladophora	<i>Cladophora albida</i>			X
				<i>Cladophora pellucida</i>			X	X	
				<i>Cladophora sp.</i>			X		
		Ulvales	Ulvaceae	Enteromorpha	<i>Enteromorpha fasciculata</i>		X	X	
<i>Ulva intestinalis</i>						X			
Ulva	<i>Ulva lactuca</i>			X	X	X			
	<i>Ulva linza</i>					X			
	<i>Ulva rigida</i>			X		X			
	<i>Ulva sp1</i>				X				
Ochrophyta	Phaeophyceae	Dictyotales	Dictyotaceae	Dictyota	<i>Dictyota ciliolata</i>	X		X	
					<i>Dictyota dichotoma</i>	X	X	X	
					<i>Dictyota sp1</i>		X	X	
				Dictyopteris	<i>Dictyopteris delicatula</i>	X		X	
				Padina	<i>Padina antillarum</i>			X	

				<i>Padina gymnospora</i>	X		X	
				<i>Padina pavonica</i>	X		X	
				<i>Padina tetrastromatica</i>			X	
			Spatoglossum	<i>Spatoglossum solieri</i>			X	
	Fucales	Sargassaceae	Sargassum	<i>Sargassum ramifolium</i>	X	X	X	
				<i>Sargassum sp1</i>	X		X	
				<i>Sargassum vulgare</i>			X	
	Scytosiphonales	Scytosiphonaceae	Colpomenia	<i>Colpomenia sinuosa</i>	X	X	X	
Rhodophyta	Bangiophyceae	Bangiales	Bangiaceae	Porphyra	<i>Porphyra umbilicalis</i>	X		
					<i>Ceramium cornutum</i>		X	
					<i>Ceramium sp.</i>		X	
					<i>Ceramium tenerrimum</i>		X	
					<i>Gayliella flaccida</i>		X	
					<i>Delesseria sp.</i>		X	
				Hypoglossum	<i>Hypoglossum hypoglossoides</i>	X	X	X
					<i>Laurencia obtusa</i>	X		X
					<i>Laurencia sp1</i>			X
				Osmundea	<i>Osmundea pinnatifida</i>	X		
				Polysiphonia	<i>Polysiphonia atlantica</i>			X
				Amphiroa	<i>Amphiroa sp1</i>	X		X
				Corallina	<i>Corallina officinalis</i>	X		
				Ellisolandia	<i>Ellisolandia elongata</i>	X		
				Areschougiaceae	Anatheca	<i>Anatheca montagnei</i>		X
				Caulacanthaceae	Caulacanthus	<i>Caulacanthus ustulatus</i>	X	
						<i>Hypnea musciformis</i>		X
						<i>Hypnea spinella</i>		X
						<i>Hypnea sp.</i>		X
				Gigartinaceae	Chondracanthus	<i>Chondracanthus acicularis</i>		X
				Phylloporaceae	Gymnogongrus	<i>Gymnogongrus nigricans</i>	X	
				Sarcodiaceae	Sarcodia	<i>Sarcodia sp.</i>		X
				Solieriaceae	Meristotheca	<i>Meristotheca senegalense</i>	X	
					Soliera	<i>Soliera filiformis</i>		X
						<i>Gelidium corneum</i>	X	
						<i>Gelidium sp1</i>		X
						<i>Pterocliadiella sp1</i>	X	
						<i>Pterocliadiella sp2</i>		X
						<i>Gracilaria gracilis</i>		X
						<i>Gracilaria mammillaris</i>		X
						<i>Gracilaria multipartita</i>		X
						<i>Gracilaria sp1</i>		X
						<i>Gracilariopsis lemaneiformis</i>		X
						<i>Hydropuntia rangiferina</i>		X
						<i>Grateloupia doryphora</i>	X	X
						<i>Grateloupia lanceolata</i>	X	X
						<i>Dichotomaria marginata</i>		X
						<i>Scinaia complanata</i>		X
						<i>Scinaia latifrons</i>		X
						<i>Scinaia sp1</i>		X
						<i>Scinaia sp2</i>		X
						<i>Plocamium cartilagineum</i>	X	
						<i>Champia parvula</i>	X	X
						<i>Lomentaria sp.</i>		X
						<i>Rhodymenia caespitosa</i>		X
						<i>Rhodymenia pseudopalmeta</i>		X

4.3.2 SPECTRE TAXONOMIQUE DES ECHANTILLONS

L'analyse de la structure de la flore dans l'ensemble des trois sites montre une biodiversité riche de 81 espèces réparties en 4 classes, 16 ordres, 30 familles, 44 genres (tableau 13). Les Chlorophyta comptent 22 espèces réparties en une seule classe, 3 ordres, 5 familles et 7 genres. Les Ochrophyta sont représentés par 13 espèces réparties en une seule classe, 3 ordres, 3 familles et 6 genres. Les Rhodophyta constituent le groupe le plus représenté avec 46 espèces réparties en 2 classes, 10 ordres, 22 familles et 31 genres.

Tableau 13. Structure de la flore de macroalgues dans l'ensemble des 3 sites (Ngor, Thiaroye, Pointe-Sarène)

	Chlorophyta		Ochrophyta		Rhodophyta	
	N	%	N	%	N	%
Classe	1	25	1	25	2	50
Ordre	3	18,75	3	18,75	10	62,50
Famille	5	16,67	3	10,00	22	73,33
Genre	7	15,91	6	13,64	31	70,45
Espèce	22	27,16	13	16,05	46	56,79

4.3.3 ANALYSE DE LA DIVERSITE SPECIFIQUE DANS LES TROIS SITES

En terme de diversité spécifique, le site de Ngor totalise 36 espèces (12 algues vertes, 08 algues brunes, 16 algues rouges), celui de Thiaroye, 32 espèces (7 algues vertes, 4 algues brunes, 21 algues rouges), enfin le site de Pointe-Sarène totalise le plus grand nombre d'espèces avec 61 taxa (17 algues vertes, 13 algues brunes, 31 algues rouges), (tableau 4.2).

4.3.3.1 Site de Ngor

Les Floridophycées sont les plus représentées à Ngor avec 44,4% des taxa, suivies des Ulvophycées (33,3%) et des Pheophycées (22,2%). Chez les algues vertes, les familles des Bryopsidaea et des Caulerpaceae sont les plus représentées. Chez les algues brunes, la famille des Dictyotaceae domine largement avec 5 espèces représentées sur un total de 8 espèces. Chez les algues rouges, les familles les plus représentées sont respectivement les Corallinaceae, les Rhodomelaceae et les Halymeniaceae (tableau 14).

Tableau 14. Structure de la flore de macroalgues à Ngor

	Chlorophyta		Ochrophyta		Rhodophyta	
	N	%	N	%	N	%
Classe	1	25	1	25	2	50
Ordre	2	15,38	3	23,07	8	61,54
Famille	4	21,05	3	15,79	12	63,16
Genre	4	16,00	5	20,00	16	64,00
Espèce	12	33,33	8	22,22	16	44,44

4.3.3.2 Site de Thiaroye

A Thiaroye, également, les Floridophycées sont les plus représentées (65,6%), suivies des Ulvophycées (21,8%). Chez les dernières, les familles des Codiaceae et des Ulvaceae sont les plus représentées. La famille des Dictyotaceae domine chez les Pheophycées. Les familles dominantes chez les algues rouges floridophycées sont les Gracilariaceae, les Ceramiaceae, les Cystocloniaceae et les Scinaiaceae (tableau 15).

Tableau 15. Structure de la flore de macroalgues à Thiaroye

	Chlorophyta		Ochrophyta		Rhodophyta	
	N	%	N	%	N	%
Classe	1	33,33	1	33,33	1	33,33
Ordre	3	23,08	3	23,08	7	53,85
Famille	4	21,05	3	15,79	12	63,16
Genre	5	25,00	3	15,00	12	60,00
Espèce	7	21,88	4	12,50	21	65,63

4.3.3.3 Site de Pointe-Sarene

A Pointe-Sarène aussi, la moitié des échantillons est représentée par les algues rouges (50,82%), suivie des algues vertes ulvophycées (27,87%) et des algues brunes pheophycées (21,31%). Les Chlorophyta sont représentées essentiellement par 4 familles : Ulvaceae, les Caulerpaceae, les Codiaceae et les Cladophoraceae. La famille des Dictyotaceae et celle des Sargassaceae dominant largement chez les algues brunes. En ce qui concerne les algues rouges, les familles des Gracilariaceae, des Cystocloniaceae et des Rhodomelaceae sont les plus représentées (tableau 16). Les espèces du genre *Hypnea* sont caractéristiques à cette zone maritime.

Tableau 16. Structure de la flore de macroalgues à Pointe-Sarène

	Chlorophyta		Ochrophyta		Rhodophyta	
	N	%	N	%	N	%
Classe	1	33,33	1	33,33	1	33,33
Ordre	3	20,00	3	20	9	60,00
Famille	4	14,81	3	11,11	20	74,07
Genre	6	15,79	6	15,79	26	68,42
Espèce	17	27,87	13	21,31	31	50,82

Dans les trois groupements d'algue, les indices de Shannon varient entre 0,9 et 1,5 (tableau 17). Les algues rouges sont les plus diversifiées suivies des algues vertes et des algues brunes.

Tableau 17. Calcul de l'indice de Shannon

Indice	Algues vertes	Algues brunes	Algues rouges
H'	1,1	0,9	1,5

4.3.4 VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DES ESPECES

4.3.4.1 Presqu'île du Cap-Vert

Sur le site rocheux de Ngor, situé au nord de la presqu'île du Cap-Vert, les espèces les plus présentes sont : *Dictyopteris delicatula*, *Dictyota spp.*, *Pterocliadiella sp.*, *Caulacanthus ustulatus* et *Caulerpa racemosa*. Les espèces les plus abondantes sont *Caulerpa spp.*, *Dictyota spp.*, *Dictyopteris délicatula*, *Meristotheca senegalense*, *Codium spp.*, et *Laurencia sp.*

Les mois correspondant à la période froide (novembre-mai) sont propices aux genres *Caulerpa*, *Dictyota*, *Colpomenia*, *Sargassum* et *Porphyra*. La période chaude est marquée par la forte occurrence des genres *Caulacanthus*, *Corallina*, *Gelidium*, *Pterocliadiella* et *Plocamium*.

Sur le site sableux de Thiaroye, au sud de la presqu'île du Cap-Vert, on observe toute l'année, une présence marquée des espèces *Cladophora pellucida*, *Ulva lactuca*, *Anatheca montagnei* et *Rhodymenia pseudopalmata*. Les genres *Cladophora*, *Dictyota*, *Codium*, et *Ulva* dominent dans les échouages et constituent près de 70% des biomasses de dépôt.

Les genres *Cladophora*, *Codium*, *Enteromorpha*, *Codium* et *Scinaia* sont surtout présentes durant la période froide. Pendant la période chaude, on note l'apparition de l'espèce *Colpomenia sinuosa*.

Les genres *Bryopsis*, *Porphyra*, *Osmundea*, *Meristotheca*, *Corallina*, *Ellisolandia*, *Lomentaria* n'ont été observés que sur la presqu'île du Cap-Vert.

4.3.4.2 Petite Côte

Le site sablo-rocheux de Pointe-Sarène est la zone par excellence des *Hypnea* qui dominent par leur présence et abondance durant toute l'année. Au-delà de ce taxon, les espèces les plus fréquemment observées sont *Cladophora pellucida*, *Sargassum vulgare*, *Sargassum ranifolium* et *Ulva lactuca*, suivies du groupe représenté par *Enteromorpha fasciculata*, *Laurencia spp.*, *Caulerpa spp.* et *Codium spp.* Ces espèces sont observées durant les deux saisons maritimes.

Les genres *Chaetomorpha*, *Gracilariopsis*, *Hydropuntia*, *Polysiphonia*, *Rhodymenia* et *Soliera* n'ont été observés que sur la Petite Côte où l'essentiel de la biomasse des dépôts est constitué par les *Hypnea spp.*

4.3.5 EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES VARIABLES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX MARINES

4.3.5.1 Température

Sur la Presqu'île du Cap-Vert (Ngor) comme sur la Petite Côte (Pointe-Sarène), les températures de l'eau de mer évoluent de la même manière. Les températures les plus basses sont observées durant la saison dite froide, elles varient alors entre 15 et 25°C. Elles sont au-delà de 25°C durant la période chaude de l'année, mais ne dépassent pas les 35°C (figure 22).

4.3.5.2 Salinité

Comme la température, l'évolution de la salinité est analogue pour les deux zones géographiques et varie entre 30 et 40 g/litre. Elle évolue, en moyenne, autour de 35 g/litre. Les salinités les plus élevées sont observées durant la période froide (décembre-février) (figure 22).

4.3.5.3 pH

Les courbes de l'évolution du pH de l'eau de mer présentent les mêmes tendances dans les deux régions maritimes. Le pH de l'eau est légèrement plus alcalin dans la presqu'île du Cap-Vert (Ngor). Dans les deux sites, il est compris entre 7,8 et 8,8. Des pics sont observés durant la période froide (novembre – janvier) et pendant la période de chaude du mois de juin 2014 (figure 22).

4.3.5.4 Oxygene Dissous

Les valeurs de l'oxygène dissous (DO) mesurées sont plus stables dans le site de Ngor où elles tournent en moyenne autour de 10 mg/litre. A Pointe-Sarène, les variations sont plus importantes (6 mg/l en août 2013 et plus de 16 mg/l en Juillet 2014) (figure 22).

4.3.5.5 Nitrates et Phosphates

Les valeurs des substances dissoutes (nitrate, phosphate), obtenues dans les deux zones géographiques, sont variables sur une année (surtout pour les phosphates). Ces valeurs sont plus constantes pour les nitrates. Pour les phosphates, les pics les plus élevés (> 1,5 mg/l) sont observées, sur la Petite Côte, durant la période estivale, correspondant à la période des pluies (juin-août) (figure 22).

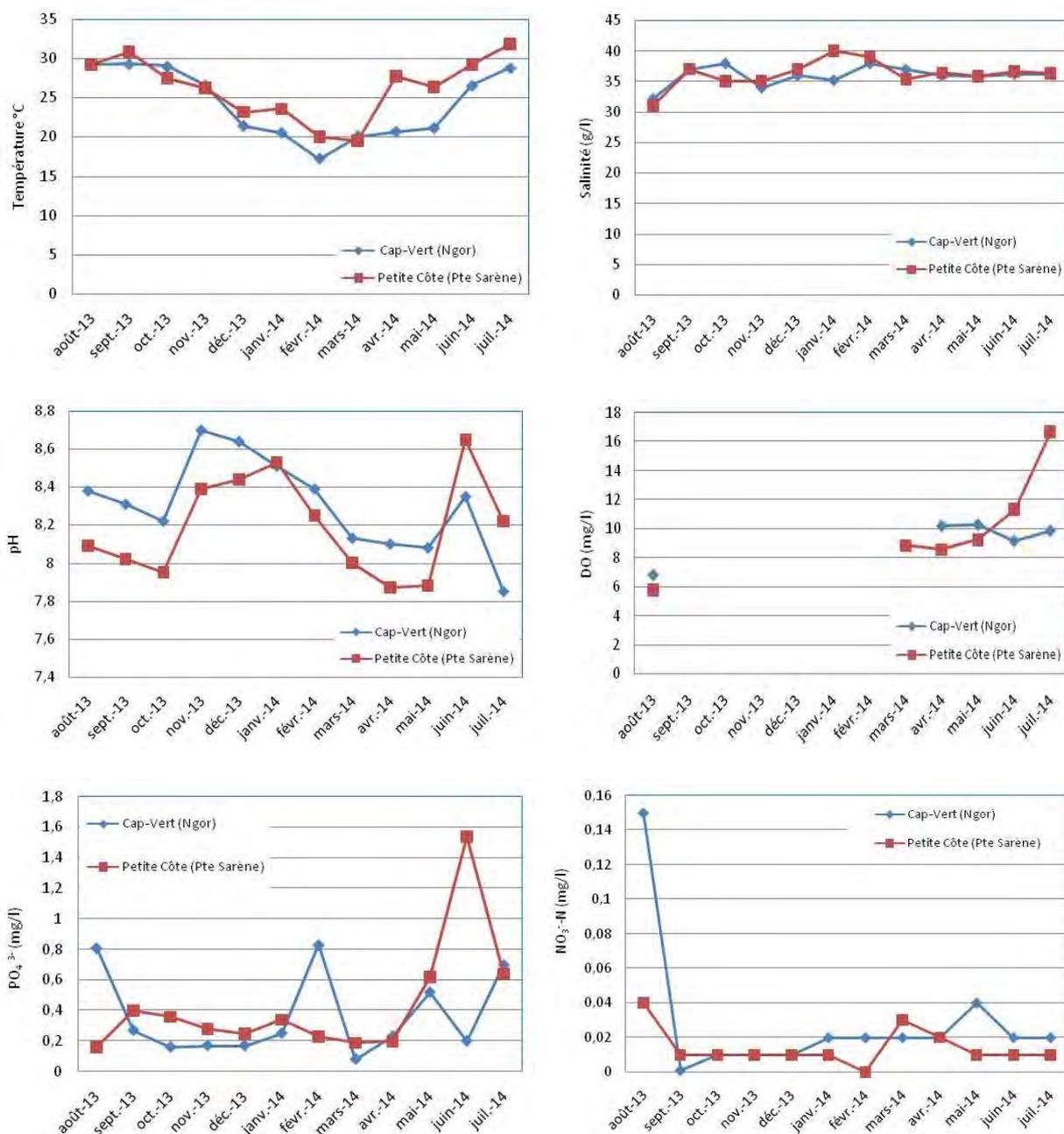


Figure 22. Evolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques (température, salinité, pH, DO, phosphates et nitrates) de l'eau de mer dans la Presqu'île du Cap-Vert (Ngor) et sur la Petite Côte (Pointe Sarène).

4.4 DISCUSSION

Si la côte maritime sénégalaise est réputée être riche en algues macrophytes, peu de travaux ont porté sur la dynamique spatio-temporelle de ces espèces (Ba et Noba, 2001). Du point de vue diversité spécifique, les 3 sites présentent à eux seuls 31,15% des espèces listées par Bodian (2000). La biodiversité spécifique est légèrement plus importante sur la Petite Côte (61 espèces) que sur la presqu'île du Cap-Vert (60 espèces).

On note, toutefois, quelques rares travaux portant sur la répartition spatio-temporelle de ces macrophytes réalisés par certains auteurs dont Dangeard (1952) ; Mollion (1986) ; Bodard (1966) ; Bodard et Mollion (1974) ; Mollion (1975) ; Harper et Garbary (1997), dans certaines zones maritimes comme Gorée, Bargny et sur l'axe Mbour-Joal.

Sur la presqu'île du Cap-Vert Dangeard (1952) et Mollion (1986) ont montré la présence d'un potentiel assez intéressant d'algues macrophytes. Une liste de plus de 100 espèces a été publiée par Dangeard (1952). Les investigations plus récentes de Diédhiou (2011) et Fall-Guèye (2015) ont contribué à la connaissance de la biodiversité et de la répartition spatio-temporelle des algues sur quelques zones spécifiques et îles qui jouxtent cette région maritime.

Sur la Petite Côte, Bodard et Mollion (1974) ont travaillé sur la végétation infralittorale et ont pu décrire 134 espèces. Auparavant, Harper et Garbary (1997) avaient signalé, sur cette même zone géographique, l'existence de près de 242 espèces de macroalgues.

La structure de la flore montre que les rhodophytes et les chlorophytes sont les plus représentées comme le montre l'indice de Shannon. Les rhodophytes sont caractérisées par une abondance de Gracilariales, de Géliidiales et de Gracilariales et les Chlorophyta par une abondance d'Ulvacées et de Bryopsidées. La classe des Floridophyceae constituent le groupe le plus important du point de vue diversité spécifique (56,8%) et le plus important du point de vue intérêt économique (Bodain 2000, Ndao *et al.*, 2017a). Cette forte représentativité de ces Rhodophytes, par rapport aux autres taxa, reflète la plus forte diversité de ce groupe taxonomique observée, de manière générale, à l'échelle du globe (Guiry et Guiry, 2014).

Concernant les familles, les Gracilariaceae, Cystocloniaceae, Ulvaceae, Codiaceae, Dictyotaceae, Ceramiaceae, et Scinaiaceae prévalent fortement sur les autres. Cette prédominance a été constatée par Ndao *et al.*, (2017b). Les auteurs Gayral (1958) et De Reviers (2003) signalent que ces groupes sont bien représentés dans les mers tropicales.

Nos observations montrent, aussi, que sur l'ensemble des 3 sites d'étude, les espèces sont pratiquement présentes quelle que soit la période maritime (période froide - période chaude). Toutefois, Mollion (1986) n'a rencontré les espèces suivantes qu'en saison froide : *Caulerpa taxifolia* (janvier, février) ; *Champia sp.* (janvier - avril) ; *Scinaia canalicula* (février - mai) ; *Bryopsis plumosa* (février), *Gelidium sp.* ; (novembre - décembre). Les genres *Bryopsis*, *Porphyra*, *Osmundea*, *Meristotheca*, *Corallina*, *Ellisolandia*, *Lomentaria* n'ont été observées que sur la presqu'île du Cap-Vert et le genre *Hypnea* sur la Petite Côte. Ce dernier abonde, particulièrement sur cette région maritime.

Les espèces sont soumises, actuellement, à d'importantes contraintes physiques (changement climatique) et anthropiques (exploitation de la ressource) qui peuvent modifier durablement leur pérennité, leur distribution et la biodiversité des communautés qui leurs sont associées.

S'il est communément reconnu que la température, la salinité, les radiations solaires, les marées, etc., sont les principaux facteurs physico-chimiques qui gouvernent la répartition géographique des algues (Dring, 1988 ; Delebecq, 2011 ; Pereira *et al.*, 2011 ; Engelen *et al.*, 2011 ; Oppliger *et al.*, 2012 ; Cavanaugh *et al.*, 2011 ; Bender *et al.*, 2014 ; Makhouh *et al.*, 2011), ces relations ne ressortent pas de manière évidente dans notre étude. Ceci peut être lié à la proximité des deux zones éco-géographiques.

Concernant la température et la salinité, Gayral (1958) ; Dring (1988) ; Pereira *et al.* (2011) ; Engelen *et al.* (2011) ; Oppliger *et al.* (2012), soulignent qu'elles influent beaucoup sur les processus métaboliques et reproducteurs des algues et joue un rôle important dans la distribution de celles-ci. Le manque de données sur la série annuelle pour l'oxygène n'a pas permis de tirer des analyses pertinentes. Cependant les valeurs mesurées durant la période de l'été (juin - septembre) pourraient s'expliquer par l'activité photosynthèse des algues soumises à un fort éclairage solaire, d'après Gayral (1958) et Cavanaugh *et al.* (2011). La grande variabilité du pH serait concourante avec cette forte influence biologique, d'après Bender *et al.*, (2014). Selon Pereira *et al.* (2011), l'oxygène est un élément particulièrement sensible et constitue un excellent indicateur de la qualité de l'eau. C'est un paramètre très utile dans le diagnostic biologique du milieu aquatique d'après Conrad et Hitchley (2011) et Levrey *et al.* (2010).

Mollion (1986) souligne que la prolifération des algues observée dans la baie de Hann-Thiaoroye (presqu'île du Cap-Vert), durant certaines périodes de l'année, serait particulièrement liée à l'augmentation de la teneur en nitrate des eaux issues des rejets provenant des effluents industriels et domestiques des localités environnantes. Les proliférations des algues vertes de type *Ulva*, *Enteromorpha* et *Cladophora* mais également brunes (*Dictyota*) et rouges (*Gracilaria*) sont observées à Thiaroye à l'état dérivant ou sous un état envasé sur le substrat meuble de la baie. Ces algues se développent de manière excessive surtout pendant la période estivale. Leur dégradation, quand elles échouent sur la plage, constitue une source de nuisance olfactive, visuelle et environnementale. Ce phénomène gêne particulièrement la pêche artisanale et contraint les populations côtières à des activités répétées de ramassage et d'élimination. La prolifération des algues du genre *Enteromorpha* constitue un indicateur d'une pollution certaine, causée par les effluents très riches en acide et en phosphore (Amade, 1977). D'après Berday (1989), une acidité élevée de l'eau de mer peut constituer un danger pour la faune et la flore marine. D'après Vivier (1954) et Ogaw (1983) un pH acide inhibe la germination des zygotes, chez les algues.

L'impact de ces échouages sur la biodiversité des milieux littoraux est évident Billen *et al.* (2011) ; Brush *et al.* (2010) ; et Vob *et al.* (2011). Nous pensons que les pics des substances nutritives (phosphates et nitrates) observés, aussi, sur la Petite Côte, durant les mois de juin à août, seraient liés à la saison des pluies drainant les eaux continentales vers le milieu marin. On assiste ainsi à un enrichissement de l'eau de mer par des apports terrigènes, signalé par Bodard (1966). Ce phénomène se développe préférentiellement en fond de baie, dans les sites comportant une plage sableuse en pente douce, comme celle de Pointe-Sarène. Les auteurs Gayral, (1958) et Bodard, (1966) soulignent, d'ailleurs, le caractère fondamental de ces substances dissoutes qui jouent un rôle important pour la croissance des algues qui les utilisent pour la synthèse des protéines.

On note, également, un gradient de diversité nord/sud de la répartition des algues qui pourrait être mis en relation avec les variations de salinité et des températures de surface (Pereira *et al.*, 2011 ; Engelen *et al.*, 2011 ; Oppliger *et al.*, 2012a ; Cavanaugh *et al.*, 2011). Cependant, Ramos *et al.* (2014) soulignent que l'identification de limite géographique dans la distribution des espèces peut s'avérer difficile à établir, au sein d'un environnement marin.

Cette étude montre, finalement, que la variabilité des espèces liée au facteur "site" est plus marquée que la variabilité liée au facteur "saison". Autrement dit, la répartition des macroalgues dans les sites d'étude semble être plus liée à la géographie qu'au temps. Ce même phénomène a été observé par Engelen *et al.* (2011). Cependant les auteurs Robuchon (2014) et Oppliger *et*

al. (2012b) soulignent que les communautés de macroalgues diffèrent à la fois, en fonction des sites, mais aussi, des saisons.

In fine, les valeurs des différentes variables physico-chimiques (traduites par l'observation des courbes d'évolution) montrent que les deux zones géographiques ont approximativement les mêmes caractères physico-chimiques. Cette ressemblance pourrait être liée aux caractéristiques des eaux marines du littoral centre du Sénégal qui sont assez homogènes.

4.5 CONCLUSION

Cette étude a permis de caractériser la répartition des espèces dans trois sites d'intérêt écologique (Ngor, Thiaroye et Pointe-Sarène) localisés du littoral sénégalais. Les résultats obtenus au niveau des zones circonscrites aux caractéristiques contrastées ont permis de dresser l'occurrence, la dominance et la répartition géographique des espèces. Les Floridophycées restent dominantes quel que soit la nature et le mode du site : rocheuse (Ngor), sableuse (Thiaroye) ou sablo-rocheuse (Pointe-Sarène) ; mode abrité (Ngor), mode semi-battu (Thiaroye) ou mode battu (Pointe-Sarène).

Ces deux zones (presqu'île du Cap-Vert et Petite Côte) recèlent un potentiel assez intéressant d'algues bien que la Petite Côte soit légèrement plus riche en diversité spécifique. Les algues rouges sont les plus représentées et dominent largement sur la Petite Côte. Les familles des Gracilariaceae, Cystocloniaceae, Ulvaceae, Codiaceae, Dictyotaceae, Ceramiaceae, et Scinaiaceae prédominent sur les autres. Une présence et une dynamique contrastées, en fonction de ces deux zones éco-géographique ont été observées au niveau des espèces les plus abondantes comme *M. senegalense* et *H. musciformis*.

L'étude a montré que la répartition des espèces est plus liée à la géographie qu'à la saison. Cette étude a permis, également, d'aborder les caractéristiques abiotiques de leurs milieux de vie. Une relation évidente entre la répartition des espèces et les variables physico-chimiques n'a pu être déterminée. Ces paramètres physico-chimiques sont assez homogènes et varient légèrement d'une zone à l'autre.

Des travaux complémentaires devraient être menés sur d'autres sites et zones maritimes d'intérêt écologique pour une meilleure connaissance de la diversité et de la dynamique spatio-temporelle de cette flore soumise, aujourd'hui, à d'importantes contraintes environnementales et anthropiques.

Par ailleurs, deux taxons présentent un intérêt particulier, par leur abondance et par l'exploitation dont elles font l'objet ; il s'agit de *M. senegalense* et *H. musciformis*. Il nous a paru intéressant, de nous focaliser sur elles et d'évaluer leur stock qui est, aujourd'hui, inconnu, dans la perspective de leur exploitation rationnelle.

Chapitre 5

ESTIMATION DE LA BIOMASSE DES PRINCIPALES ESPECES D'INTERET ECONOMIQUE

5.1 INTRODUSTION

Plus de quarante ans avant, en 1976, une étude réalisée par le Bureau d'Informations et de Prévisions économiques du Centre national pour l'Exploitation des Océans de Paris (CNEOP, 1976), estimait le potentiel de biomasse d'algues fraîches pouvant être récoltée par année, au Sénégal, à 50.000 tonnes. Les données de recherche les plus récentes disponibles indiquent, pour le Sénégal, une biomasse algale annuelle moyenne variant entre 1.100 tonnes et 9.700 tonnes, en poids sec, et une biomasse maximale pouvant être produite se situant entre 10.000 et 15.000 tonnes (Dème-Gningue, 1985). Depuis cette date, il n'existe pas de statistiques officielles mentionnant une production quelconque.

Les investigations menées sur le terrain montrent que deux espèces (*M. senegalense* et *H. musciformis*) sont parmi les plus importantes du point de vue économique et sont, aujourd'hui, les seules à faire l'objet d'une exploitation. Elles sont d'autant plus intéressantes qu'elles sont très répandues sur les côtes de la presqu'île du Cap-Vert et de la Petite Côte, où elles forment des peuplements denses qui permettent des volumes de récolte importants (Dème-Gningue 1985, Fostier, 1989, Ndao *et al.*, 2017a). La production de ces deux espèces se fait par un prélèvement direct sur le stock naturel. Or, sans la connaissance des stocks disponibles, il est difficile de prévoir l'évolution des biomasses dans le temps, de veiller à la durabilité de l'exploitation et de préserver la ressource.

Ainsi, l'objectif de ce chapitre est d'évaluer, pour ces deux espèces, la biomasse naturelle exploitable. Il s'agit plus spécifiquement d'évaluer, l'état et leur stock dans les sites de Ngor et de Pointe-Sarène.

5.2 METHODOLOGIE

La méthodologie utilisée, pour l'estimation du stock des espèces, s'appuie sur les supports de vues aériennes (image satellite et photographie aérienne). Pour le site de Ngor (figure 23), il s'agit d'une image satellite de DigitalGlobe (année 2014, résolution de 3m). Pour le site de Pointe-Sarène (figure 24), il s'agit d'une orthophotographie aérienne (orthomosaique de l'année 2007, résolution de 1m). Le suivi mensuel de la biomasse de ces espèces s'est déroulé d'août 2013 à juillet 2014.

Dans la baie de Ngor, les prélèvements de *Meristotheca* fixés ont été réalisés en plongée sur les substrats rocheux du fond marin (figures 25 et 26). A Pointe-Sarène, les prélèvements de *Hypnea* ont été effectués à pied. Ces différents prélèvements ont été effectués avec un quadrat carré de 30 cm de côté (figure 27). Les biomasses obtenues sont rapportées au m². Cette méthode des quadrats est bien adaptée à l'échantillonnage des compositions floristiques terrestres et aquatiques. Il est important, dans ce cas, que l'échantillonnage soit effectué au hasard, il est de ce point de vue, aléatoire. Les quantités exprimées sont données en poids humide.



Figure 23. Photo satellite de la baie de Ngor (Digital Globe, année 2014, résolution de 3m).

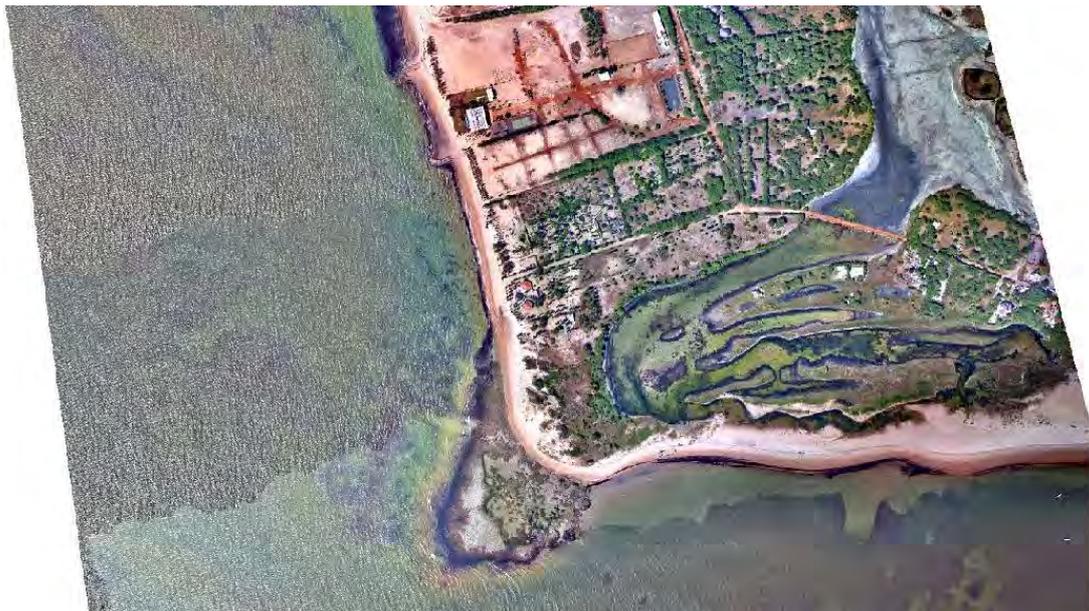


Figure 24. Photographie aérienne de la "pointe" de Pointe-Sarène (orthomosaique de l'année 2007, résolution de 1m).

5.2.1 METHODE D'ESTIMATION DE LA BIOMASSE DE *MERISTOTHECA SENEGALENSE* DANS LA BAIIE DE NGOR

Les fonds rocheux à *M. senegalense* ont été cartographiés à l'aide de l'image satellite. Cette cartographie a permis de préciser les contours des zones rocheuses. Les zones de collecte sont matérialisées par la figure 25. L'espèce est répartie sur les rochers de façon assez homogène

avec un taux de recouvrement de 10%. Au laboratoire, les échantillons ont été rincés à l'eau douce, essorés puis pesés.

La biomasse de l'espèce a été calculée en se référant à la surface d'extension des peuplements sur les zones rocheuses. La biomasse mensuelle a été estimée selon la méthode de Sato *et al.*, (2009 ; 2010) à partir de l'équation (1) :

$$Bz_1 = Bq \times Sz_1 \times Tc \quad (1)$$

Bz_1 (kg) étant la biomasse de la zone échantillonnée ; Bq (kg / m²) la biomasse prélevée à partir du quadrat ; Sz_1 (m²) la superficie des zones rocheuses (calculée à partir du logiciel ArcGis) et Tc (%) le taux de recouvrement des peuplements de *M. senegalense*.

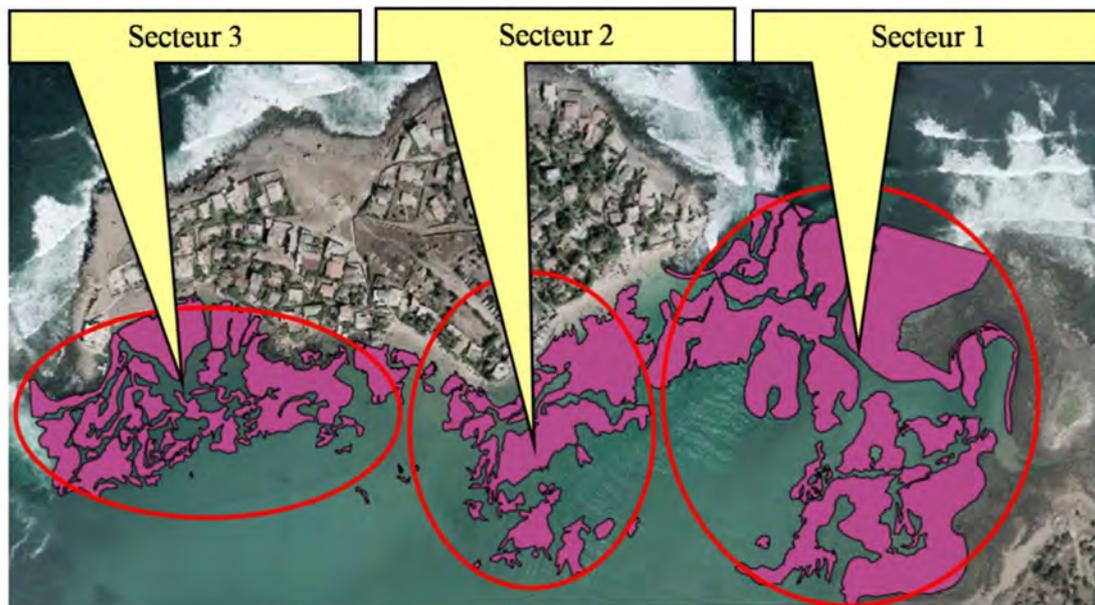


Figure 25. Zones de collecte des échantillons de *Meristotheca senegalense* dans la baie de Ngor



Figure 26. Récolte de *Meristotheca senegalense* en plongée dans la baie de Ngor



Figure 27. Pose de quadrat sur les rochers du fond marin de la baie de Ngor.

5.2.2 METHODE D'ESTIMATION DE LA BIOMASSE D'*HYPNEA MUSCIFORMIS* SUR LA PLAGE DE POINTE-SARENE

La méthode des quadras a également été utilisée pour la récolte des algues au niveau des zones rocheuses. Sur la plage, le prélèvement est effectué sur un transect de 10m. La superficie (m²) de la zone côtière (plage + zone rocheuse) a été calculée à partir de la photographie aérienne grâce au logiciel ArcGis. Les points de collecte sur les parties rocheuses sont représentés sur la figure 28). Le calcul de la biomasse mensuelle de la zone de collecte (B_{zone}) est fait à partir de la méthode de Sato *et al.* (2009 ; 2010) à partir des formules suivantes (2) :

$$B_{z_2} = B_q \times S_{z_2} (m^2) \times T_c (\%)$$

$$B_{bs} = [B_{10} (kg) \times L_{bc}(m)] / 10m$$

$$B_{zone} (kg) = B_{z_2} + B_{bs} (2)$$

B_{z_2} (kg) : biomasse de la superficie des zones rocheuses ; B_q (kg / m²) : biomasse prélevée à partir du quadrat ; S_{z_2} (m²) la superficie des zones rocheuses (calculée à partir du logiciel ArcGis) ; T_c (%) étant le taux de recouvrement des peuplements d'*Hypnea* ; B_{bs} (kg) étant la biomasse de la bande sableuse côtière ; B_{10} (kg) étant la biomasse de la bande des 10 m ; L_{bc} (m) étant la longueur de la bande côtière (calculée à partir du logiciel ArcGis) ; B_{zone} (kg) étant la biomasse mensuelle de l'ensemble de la zone échantillonnée.



Figure 28. Points de collecte des échantillons de d'*Hypnea musciformis* à Pointe-Sarène.

5.3 RESULTATS

5.3.1 ESTIMATION DE LA BIOMASSE DE *MERISTOTHEA SENEGALENSE* DANS LA BAIE DE NGOR

La biomasse annelle totale estimée pour l'ensemble de la zone s'élève à 17,17 tonnes de poids frais avec un rendement de 1,8 tonne par hectare (tableau 5.1). Elle est répartie de façon assez hétérogène dans les trois zones d'échantillonnage. La zone 1 concentre près de 67% de la biomasse, suivie de la zone 2 qui compte moins du cinquième de la biomasse (18,93%). Enfin, la zone 3 enregistre la biomasse la plus faible avec près de 14% (figure 29).

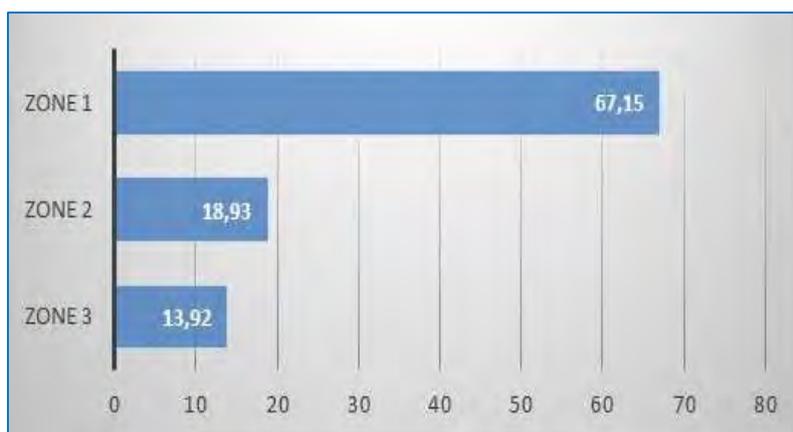


Figure 29. Pourcentage de la biomasse de *M. senegalense* en fonction des différentes zones de prélèvement à Ngor

La zone 1 correspond à la zone orientale de la baie. La concentration en *M. senegalense* y est la plus importante, elle atteint un maximum de 21,56 kg/m² et se situe en moyenne à 4,31 kg/m². La biomasse totale calculée par interpolation est de 11,53 tonnes et s'étend sur une surface de 5,35 ha. Le rendement est de 2,16 tonnes à l'hectare (tableau 17).

La zone 2 concerne le centre de la baie. La concentration en *M. senegalense* y est plus faible que dans la zone 1 avec un maximum de 17 kg/m² et une moyenne 3,40 kg/m². La biomasse totale obtenue est de 3,25 tonnes et s'étend sur une surface de 1,91 ha. Le rendement est de 1,70 tonne à l'hectare.

La troisième zone (secteur 3) concerne la partie occidentale de la baie. La concentration en algue y est la plus faible. Elle atteint une moyenne 2,22 kg/m² et un maximum de 11,11 kg/m². La biomasse totale calculée est de 2,39 tonnes et s'étend sur une surface de 2,15 ha. Le rendement est de 1,11 tonne à l'hectare.

Tableau 17. Répartition des biomasses de *M. senegalense* en fonction des différentes zones de prélèvement

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Total Baie
Superficie substrat rocheux (m ²)	53 489,12	19 140,97	21.536,68	94 166,76
Taux de recouvrement (%)	10	10	10	10
Biomasse moyenne annuelle (kg/m ²) Ecart-type	4,31 2,87	3,40 2,65	2,22 2,23	3,31 0,85
Biomasse moyenne maximale (kg/m ²)	21,56	17	11,11	49,67
Biomasse totale (tonne)	11,53	3,25	2,39	17,17
Rendement (tonne/ha)	2,16	1,70	1,11	1,8

5.3.2 ESTIMATION DE LA BIOMASSE DE *HYPNEA MUSCIFORMIS* A POINTE-SARENE

La biomasse annuelle totale estimée dans la zone d'étude de Pointe-Sarène s'élève à 166,82 tonnes de poids frais avec un rendement de 32,45 tonnes à l'hectare (tableau 18).

La plage concentre près de 80,7% de la biomasse, suivie de la zone 1 qui compte près de 18,17% de la biomasse. La zone 4 suit avec 0,55% de la biomasse totale de la zone. Enfin, les zones 2 et 3 enregistrent moins de 1% de la biomasse de la bande étudiée (figure 30).

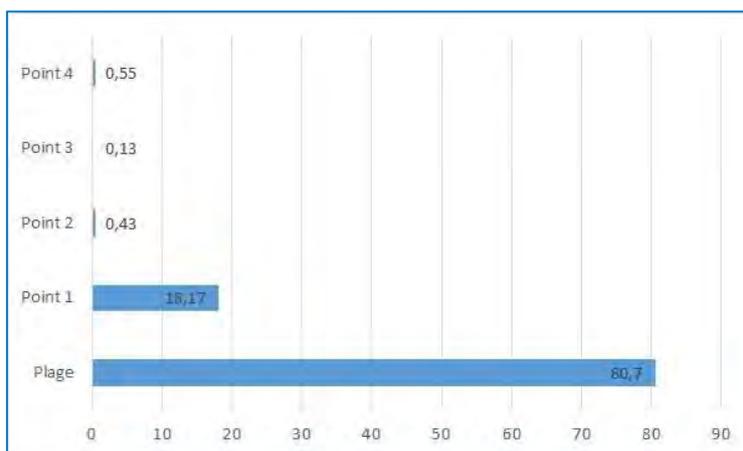


Figure 30. Pourcentage de la biomasse de *H. musciformis* en fonction des différentes zones de prélèvement à Pointe Sarène

Le point 1 correspond à la zone rocheuse la plus importante de la pointe de Pte-Sarène. La concentration en *H. musciformis* y est la plus importante, elle atteint un maximum de 16,42 kg/m² et se situe en moyenne à 1,81 kg/m². La biomasse totale calculée par interpolation est de 30,32 tonnes et s'étend sur une surface de 1,66 ha. Le rendement est de 18,26 tonnes à l'hectare (tableau 18).

La concentration d'*H. musciformis* atteint un maximum de 4,22 kg/m² au point 2, avec une moyenne 0,81 kg/m². La biomasse totale obtenue est de 0,73 tonnes. Le rendement est de 1220 tonnes à l'hectare.

Au point 3, la biomasse maximale d'*H. musciformis* est de 0,23 kg/m² avec une moyenne de 0,03 kg/m². La biomasse totale est de 0,23 tonne avec un rendement de 191,66 tonnes/ha.

La biomasse moyenne est de 2,42 kg/m² au point 4. La biomasse maximale est de 0,73 kg/m² avec une production maximale de 0,92 tonnes. Le rendement est de 460,5 tonnes à l'hectare.

Sur la plage, la biomasse moyenne est de 1,82 kg/m² avec une production maximale de 3,28 kg/m² et une biomasse totale de 134,62 tonnes. Le rendement y est de 38,79 tonnes/ha.

Tableau 18. Répartition des biomasses de *H. musciformis* en fonction des différentes zones de prélèvement

	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Plage	Total
Superficie substrat (m ²)	16616,1	6	12	20	34780	51434,1
Taux de recouvrement (%)	10	5	5	5		
Biomasse moyenne annuelle (kg/m ²)	1,82	0,81	0,03	2,42	1,82	1,14
Ecart-type	1,52	1,39	0,07	4,67	1,17	0,86
Biomasse moyenne maximale (kg/m ²)	16,42	4,22	0,23	0,73	3,28	24,88
Biomasse totale (tonne)	30,32	0,732	0,23	0,921	134,62	166,82
Rendement (tonne/ha)	18,26	1220	191,66	460,5	38,79	32,45

5.4 DISCUSSION

Les algues *M. senegalense* et *H. musciformis* constituent actuellement les seules ressources végétales marines exploitées dans le littoral centre du Sénégal, leur exploitation constitue une activité d'appoint qui contribue à l'amélioration des revenus des populations côtières (Ndao *et al.*, 2017a). Leurs potentialités attirent de plus en plus la communauté scientifique sénégalaise et commencent à faire l'objet de travaux scientifiques (Bodian *et al.*, 2017 ; Ndao *et al.*, 2017b).

Toutefois, si des études d'estimation des stocks naturels ont été entreprises pour *H. musciformis*, (Chopin *et al.*, 1993 ; Tamba, 1992), aucune estimation de biomasse de *M. senegalense* n'a été réalisée, à ce jour. Or, les recherches portant sur son exploitation, menées par Ndao *et al.* (2017c), montrent que les exploitants s'approvisionnent principalement en algues sauvages, en prélevant sur les champs naturels des fonds rocheux. Ces algues fixées tout comme les échouages d'algues sont aléatoires et varient d'une année à l'autre (Dème-Gningue, 1985).

La méthode de prélèvement, par arrachage totale du thalle, ne favorise pas la reconstitution du stock de l'espèce, selon (Philippe, 2013). Au fur et à mesure que les pêcheurs s'intéresseront à l'exploitation de l'algue, la recherche de profit va nécessairement occasionner une augmentation des capacités d'exploitation. L'algue marine, comme les autres ressources maritimes (poissons, crustacés, etc.) est vulnérable et ne supporte pas un effort de prélèvement excessif (MEMTMI, 2006). D'où l'intérêt de connaître les biomasses disponibles et exploitables.

Dans la baie de Ngor, la biomasse annuelle de *M. senegalense* se révèle assez importante et s'élève à 17,17 tonnes. Elle est distribuée de façons relativement hétérogène en trois secteurs et est localisée à des profondeurs de 3 à 5 m. Les biomasses les plus élevées sont observées durant la période qui va de mars à juillet. Durant cette période, l'espèce atteint son maximum de croissance. D'après Fostier *et al.* (1992). Au-delà de cette période, on note une forte réduction de sa biomasse dans les champs naturels certainement liée à la température de l'eau qui semble être, selon Fostier (1989), le premier facteur limitant le développement de l'espèce. D'après le même auteur, la répartition bathymétrique de l'espèce varie avec la saison. En début de saison froide elle est rencontrée à la limite inférieure de basse mer et à partir de mars-avril, elle descend et n'apparaît qu'à partir de 2 et 6 m de profondeur. Toujours selon (Fostier, 1989), après sa phase de croissance (mars-juillet), l'algue oriente son métabolisme vers la reproduction qui atteint son apogée en plein été et en automne.

Comme *M. senegalense* dans la presqu'île du Cap-Vert, *H. musciformis* est l'espèce la plus exploitée sur la Petite Côte. Les principaux peuplements de *H. musciformis* se rencontrent entre Mbour et Joal à des profondeurs allant de 0 à 8 m où ils forment de vastes prairies sous-marines (Mollion, 1977). La biomasse estimée sur la pointe de Pte-Sarène est très importante avec une production annuelle de 166,82 tonnes. Les algues de dérive se déposent sur le rivage surtout durant la saison froide (décembre à avril). Les algues fixées se rencontrent toute l'année, sur les pointes rocheuses. Chez *H. musciformis*, deux cycles de reproduction sexuelle sont distingués dans l'année : l'un en mars et l'autre, entre juin et novembre (Mollion, 1977). Ces alternances de cycles de reproduction sont responsables des variations quantitatives de la biomasse.

Les travaux d'estimation des stocks naturels portant sur le groupe des algues marines sont très rares au Sénégal. Ainsi, les seules études de biomasse d'algues fixées connues, concernent *H. musciformis*. Les travaux ont été effectués par Chopin *et al.* (1993) et Tamba (1992) sur la façade maritime de la Petite Côte qui jouxte le village de Pointe-Sarène. Les quantités de *H.*

musciiformis estimées par ces auteurs se situent entre 12.000 et 15.000 tonnes de poids frais par année. Nos estimations qui sont de 166,82 tonnes/an sur la pointe de cette même zone maritime sont plus modestes. Ceci s'explique par le fait que notre champ d'investigation est très réduit dans le domaine spatial car il a été cantonné à une frange étroite de la bande côtière.

Les autres travaux d'évaluation de stock d'algues marines connus, sur le littoral sénégalais, ont porté sur les algues d'échouage (Mollion, 1973 ; Dème-Gningue, 1985 ; LeClercq *et al.*, 1984). C'est ainsi que LeClercq *et al.* (1984) ont estimé la biomasse de dépôt de mélange d'*Ulva sp.* et de *Cladophora sp.*, sur la frange côtière allant de la baie de Hann à la zone maritime de Thiaroye-Rufisque (presqu'île du Cap-Vert), à environ 20 à 100 tonnes de matière sèche (selon les années).

Sur la Petite Côte, entre Mbodiène et Joal, ces mêmes auteurs ont estimé les biomasses d'échouage constituées de mélange d'*Hypnea sp.* et de *Cladophora sp.*, à 100 tonnes de matière sèche par an. Dème-Gningue (1985) a, quant à elle, évalué la production annuelle des dépôts d'algues (sans précision des espèces) sur la Petite Côte, comprise entre 1.100 et 9.700 tonnes en poids sec, durant les années 1982-1983. A cette même période, elle a évalué la quantité maximale d'algues annuellement disponible autour de 10.000 et 15.000 tonnes. Nous serions tentés d'émettre l'hypothèse que les variations de la production algale seraient liées aux phénomènes hydro-climatiques qui les régissent. Cet argument est également partagé par Dème-Gningue (1985), qui estime que la production annuelle de la biomasse algale est liée à l'intensité des upwellings. L'algue se retrouve souvent en dérive après arrachage par le courant marin. Ce phénomène semble être très fréquent dans les eaux courantes d'après Cazaubon (1990) ; Lavoie *et al.* (2003).

Selon ces mêmes auteurs, plus le courant est élevé, plus les algues sont détachées des substrats, réduisant la diversité des algues fixées. Il faut noter que les quantités d'algues obtenues dans les échouages ne représentent que la quantité d'algues rejetée à un moment donné. Pour pouvoir mesurer la quantité d'algues récoltables pendant un temps donné, il est indispensable de connaître l'origine et le mode de dépôt des espèces rejetées sur la plage.

D'après Tamba (1992), *H. musciiformis* reste quasiment sous exploitée au Sénégal, si l'on se réfère à la faible production moyenne annuelle récoltés face à ses énormes potentialités. Ce qui constitue un manque à gagner en termes d'avantage socio-économique susceptible d'être générés par son exploitation.

Concernant *M. senegalense*, les enquêtes portant sur son exploitation et menées par Ndao *et al.*, (2017a) ont montré que les exploitants s'approvisionnent principalement en algues sauvages, alors que les champs naturels sont aléatoires et varient dans l'espace et dans le temps (Dème-Gningue, 1985).

Etant donné que les quantités actuellement récoltées, par an, sur tout le long du littoral de la presqu'île du Cap-Vert, sont aux alentours de 10 tonnes de matière sèche, correspondant à environ 800 tonnes de matière fraîche sèche (Ndao *et al.*, 2017a), on pourrait considérer que le stock naturel n'est encore pleinement exploité. Sa récolte peut, pour l'instant, être envisagée pour garantir un approvisionnement en matière brute mais l'exploitation devrait être contrôlée afin qu'elle ne porte pas préjudice aux populations naturelles et assurer la préservation de cette ressource locale. Il est également important de faire le suivi de la croissance de cette algue et d'évaluer les impacts des récoltes sur le couvert végétal afin de s'assurer que l'exploitation respecte la capacité de support de l'espèce.

5.5 CONCLUSION

Ce chapitre a permis d'explorer les potentialités naturelles, en termes de biomasse, des deux rhodophycées *M. senegalense* et *H. musciformis* sur le littoral centre du Sénégal. Ces espèces constituent, actuellement, des ressources locales de valeur commerciale certaine. Les stocks naturels, pour ces deux espèces constituent des biomasses assez importantes. Le stock de *M. senegalense*, à Ngor est assez intéressant avec une biomasse annuelle de 17,17 tonnes. Celle de *H. musciformis*, à Pointe-Srène est beaucoup plus importante avec une biomasse annuelle de 166,8 tonnes et permet des volumes de récolte conséquents.

Ces deux espèces ne sont pas encore pleinement exploitées mais il faut, dès à présent, penser à contrôler l'effort de prélèvement car il est à craindre qu'au fur et à mesure que les exploitants s'intéresseront à l'algue, la recherche de profit va entraîner une augmentation des capacités d'exploitation. Il serait, également, important de mener des études sur les techniques de récolte qui puissent garantir un faible impact sur l'écosystème et qui soient adaptées à la bonne régénération de la ressource. Il serait, aussi, important de mener des études, à plus long terme, pour le suivi de l'évolution des stocks pour compléter les données des résultats préliminaires.

Enfin, le travail mené, dans ce chapitre, n'a de pertinence que s'il s'inscrit dans une suite logique de caractériser l'état initial et le suivi de l'activité de l'exploitation dans toute sa socio-économie (typologie des acteurs, modes de production, circuit de commercialisation, etc.) et dans l'objectif d'éclairer les gestionnaires et décideurs (l'administration de pêche) pour qu'ils puissent définir les politiques appropriées d'exploitation qui garantissent la gestion rationnelle de la ressource. Ces questions vont être abordées dans le chapitre qui va suivre.

Chapitre 6

ETUDE SOCIO-ECONOMIQUE DE L'EXPLOITATION ET POTENTIEL D'UTILISATION ET DE VALORISATION DES ESPECES D'INTERET ECONOMIQUE

6.1 INTRODUCTION

Aujourd'hui, la demande en algue dans le monde ne cesse de s'accroître et leur commercialisation génère des revenus importants (FAO, 2014). Cependant, cette ressource marine reste quasiment sous exploitée et peu valorisée au Sénégal, en dépit des potentialités pouvant faire l'objet d'une exploitation industrielle (Chopin *et al.*, 1993 ; Mc Hugh, 2002 ; MEMTMI, 2006).

Il ressort du rapport des journées de réflexion sur le développement de la filière algale que le Sénégal dispose d'atouts en ce qui concerne *M. senegalense* et *H. musciformis* (MEMTMI, 2006). Ces espèces constituent actuellement les points forts de la filière car elles sont les plus représentées dans la production naturelle et il existe des débouchés, pour l'utilisation locale et pour l'exportation. On note d'ailleurs, au niveau local, quelques débuts d'utilisations parmi lesquelles la fabrication de compost pour la fertilisation des sols, l'alimentation humaine et l'usage médicinal (Consultants associés, 2010). A ce jour, rares sont les informations scientifiques disponibles portant sur l'organisation de cette filière et les différentes utilisations possibles au Sénégal et plus précisément, au niveau des zones où les algues sont exploitées.

Ainsi, l'objectif de ce chapitre est de caractériser l'état de l'exploitation de *M. senegalense* et de *H. musciformis* respectivement sur la Presqu'île du Cap-Vert et sur la Petite Côte et d'évaluer leur potentiel d'utilisation de l'ensemble des espèces d'intérêt économique recensées. Plus spécifiquement, il s'agit de caractériser la typologie des exploitants et des pratiques, des lieux d'exploitations, de quantifier les productions, de déterminer le circuit de commercialisation et afin, d'évaluer la disponibilité des espèces qui présentent un potentiel d'utilisation et de la valorisation.

6.2 METHODOLOGIE

Les recherches bibliographiques, les enquêtes et les investigations de terrain se sont déroulées entre mars 2013 et septembre 2014. Les questionnaires ont permis de collecter des informations relatives à la connaissance des algues marines et à leur exploitation (annexe 3). Ces démarches ont réalisées en deux phases complémentaires : une pré-enquête fournissant les éléments de base de l'échantillonnage nécessaire pour la phase de l'enquête elle-même. La pré-enquête a permis de réajuster le questionnaire principalement orienté sur les activités de cueillette. Pour donner plus de fiabilité à l'étude, des discussions avec les autorités locales ont été entrepris pour avoir des renseignements généraux. L'échantillon a concerné 81 personnes sur la presqu'île du Cap-vert contre 12 personnes sur la Petite Côte (Pointe-Sarène).

6.3 RESULTATS

6.3.1 EXPLOITATION DE *MERISTOTHECA SENEGALENSE* SUR LA PRESQU'ILE DU CAP-VERT

Meristotheca senegalense (figure 31) est rencontrée tout le long du pourtour de la côte dakaroise, du Nord au Sud ; de la baie de Ngor à la baie de Hann où elle se développe dans une

zone comprise entre 0 et 6 m de profondeur selon Fostier (1989). On la trouve cependant plus en profondeur aux îles des Madeleines en raison sans doute d'une turbidité moins importante qu'à la côte (Dangeard, 1952 ; Dème-Gningue, 1985 ; Fostier, 1989 ; Harper et Garbary, 1997).



Figure 31. *Meristotheca senegalense* fraîchement récoltée à Ngor

6.3.1.1 Cadre humain

L'exploitation de *Meristotheca senegalense* concerne les communautés côtières de la région de Dakar (figure 32). Ces communautés sont formées principalement de pêcheurs artisans (tableau 6.1) utilisant de moyens traditionnels (pirogues en bois). L'activité est pratiquée habituellement par des hommes (92,6%) (figure 33). Le profil des personnes enquêtées est divers et constitué principalement de plongeurs et de pêcheurs (tableau 19). Les classes d'âge comprises entre 18-35 ans représentent la part la plus importante des personnes actives (54,1%), suivie de la classe des moins de 18 ans (37%) (figure 34).

La plupart des individus impliqués dans l'activité proviennent du village de Ngor (47%), du village de Ouakam (16%), du village de Diocoul (13,6%) et du village de Yoff (12,3%) (figure 35). Les plus anciens dans l'exploitation (4,7%) ont plus de 12 ans d'activité, la majorité (30,2%) ont 4 à 6 ans d'activité, les plus jeunes dans l'activité (1,6%) ont moins de deux ans d'activité (figure 36).

Plus de la moitié des exploitants sont motivés par l'attrait de gain, les autres, par le fait qu'ils habitent près des zones de récolte (38,7%) (figure 37). Ces exploitants en font une activité temporaire lors des périodes d'abondance de l'espèce. Les lieux de collecte, en mer, varient en fonction de l'embarcation utilisée et de l'importance accordée par les pêcheurs à l'activité.

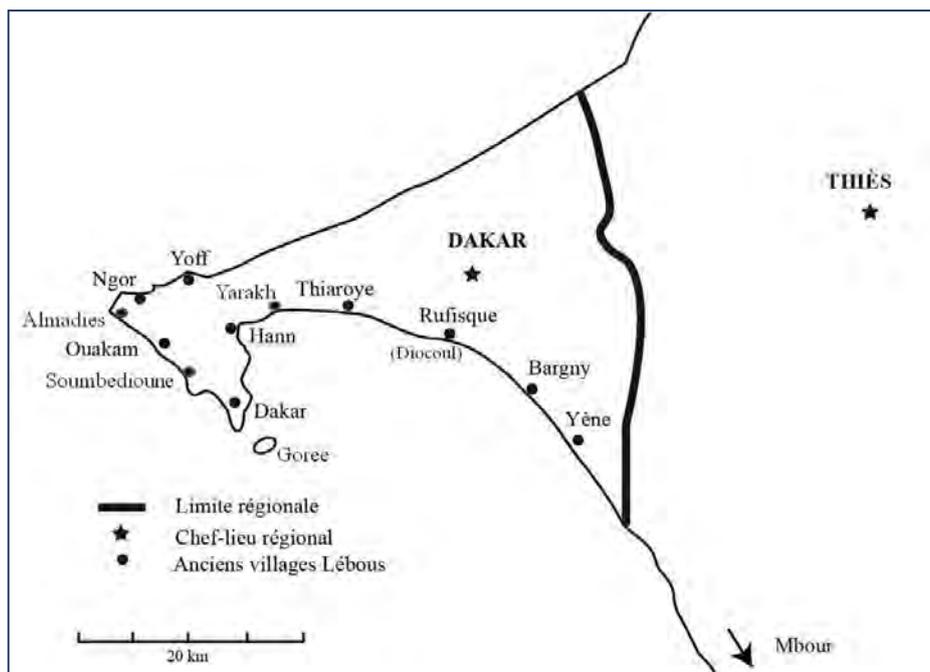


Figure 32. Presqu'île du Cap-Vert et la localisation des principaux sites concernés par l'enquête (source : Sidibé, 2013 modifiée)

Tableau 19. Statut socio-professionnel des personnes enquêtées

Statut socio-professionnel	Nombre	Pourcentage %
Plongeur	31	38.27
Pêcheur	22	27.16
Mareyeur	3	3.70
Guide touristique	6	7.41
Elève – étudiant	10	12.35
Ménagère	2	2.4
Autres	7	8.64
Total	81	100

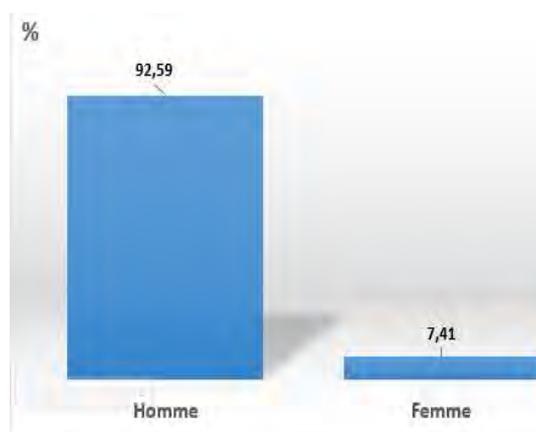


Figure 33. Répartition par sexe des exploitants d'algue

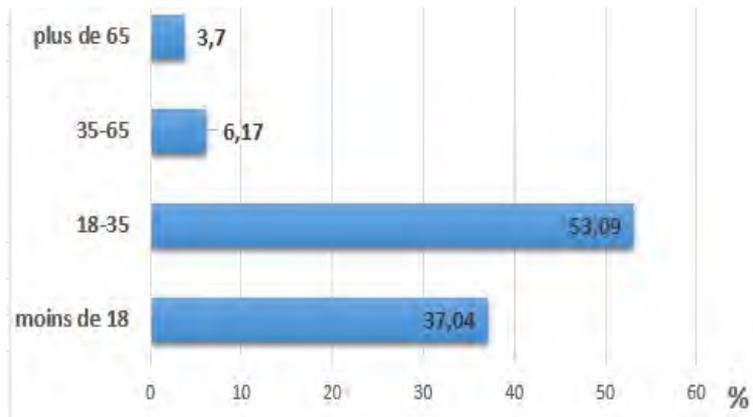


Figure 34. Age des exploitants

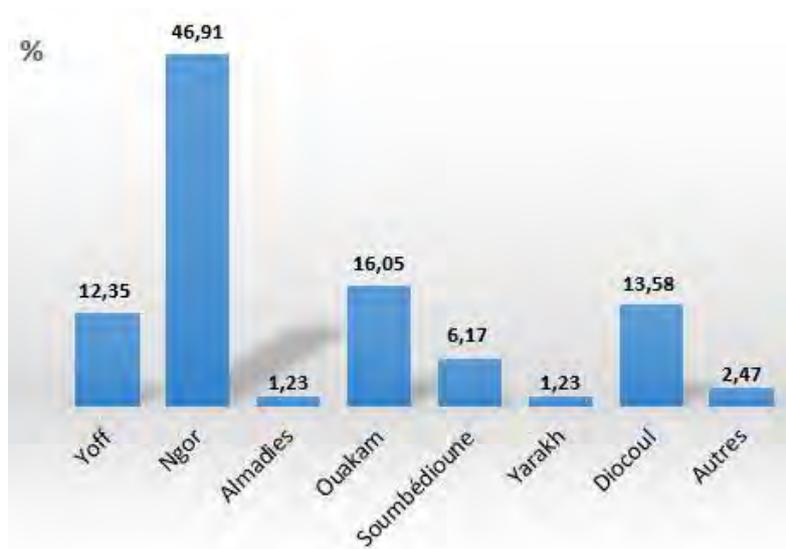


Figure 35. Lieux de provenance des exploitants

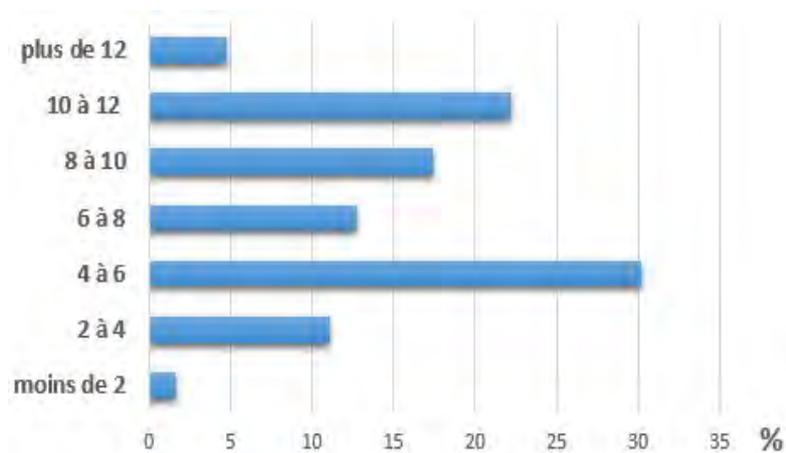


Figure 36. Années d'activité dans l'exploitation

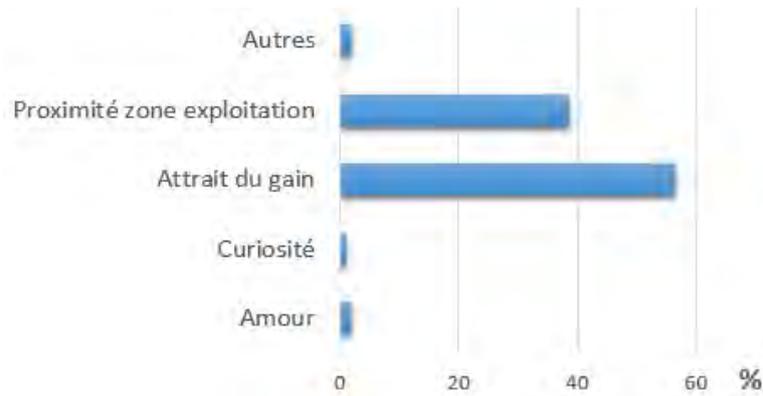


Figure 37. Motivation des exploitants

6.3.1.2 Activités d'exploitation et principaux opérateurs

6.3.1.2.1 Niveau pêcheur - récolteur

La récolte des algues se fait soit par plongée (41,5%), soit à pied lors des périodes de marées basses (25,2%), soit par ramassage sur la plage (31,3%) lorsqu'elles sont arrachées par la violence de la houle ou lors des périodes de fortes tempêtes (figure 38). Les lieux de récolte concernent le long de la frange côtière de la presqu'île du Cap-Vert, mais principalement dans les localités de Ngor et des Almadies (figure 39).

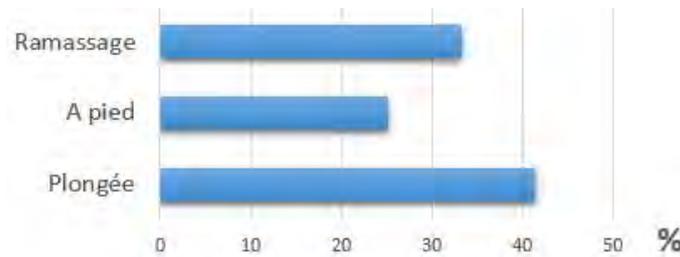


Figure 6.8. Modes de récolte de l'algue

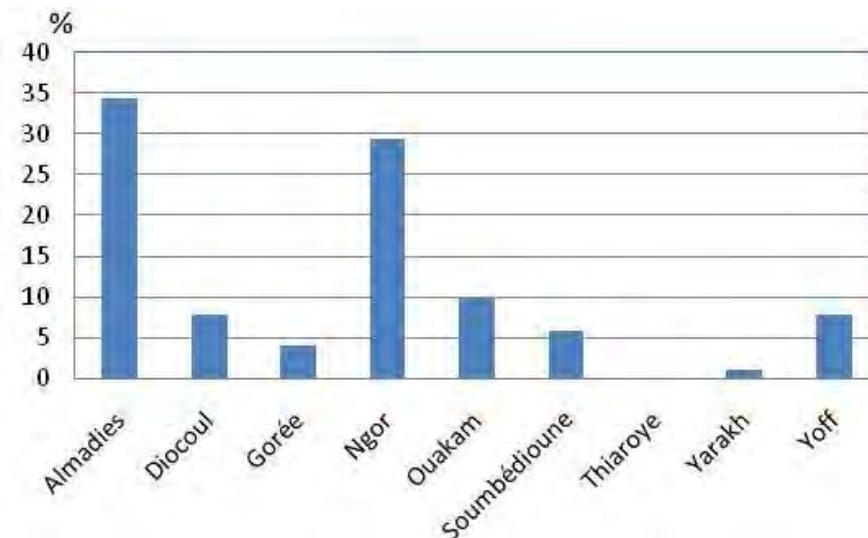


Figure 39. Lieux de récolte de l'algue le long des côtes de la presqu'île du Cap-Vert

La saison de l'algue se situe entre mars et septembre, mais la ressource est surtout abondante de mai à juillet. La récolte se fait avec un matériel constitué de couteaux, de sacs et de combinaisons de plongée. La technique de récolte la plus utilisée, en plongée, est l'arrachage total du thalle fixé sur le substrat rocheux.

La quantité journalière maximale récoltée peut être supérieure à une tonne. Quelques récolteurs seulement (1,7%) arrivent à cueillir ces quantités énormes mais, dans l'ensemble, les cueillettes moyennes journalières varient de 100 à 200 kg d'algue brute. Les algues récoltées sont triées et débarrassées de toutes sortes de débris et d'impuretés, elles sont mises à sécher sur des claies, au soleil, en vue de diminuer la teneur en eau. Une fois séchée et décolorée (figures 40 et 41), l'algue est mise en balles de 100 kg. Ces derniers sont solidement ficelés, emballés et stockés pour une expédition.



Figure 40. Séchage de *M. senegalense* aux Almadies



Figure 41. Décoloration de l'algue rouge *M. senegalense*

Les récolteurs vendent directement l'algue récoltée sur place. Leur prix de vente varie de 50 à 300 FCFA/kg, selon la qualité. La majeure partie d'entre eux (45,3%) vend le plus souvent le kg à 100 FCFA (figure 42). Avec ce prix de vente les revenus moyens journaliers des exploitants tournent, en moyenne, autour de 2.000 FCFA à 3.000 FCFA par jour. Le revenu tiré de l'exploitation varie suivant la saison de l'algue. Plus de 60% des exploitants disent que la contribution de ces revenus sur leurs charges est moyenne, 30% soutiennent que la contribution de ces revenus est importante (figure 43).

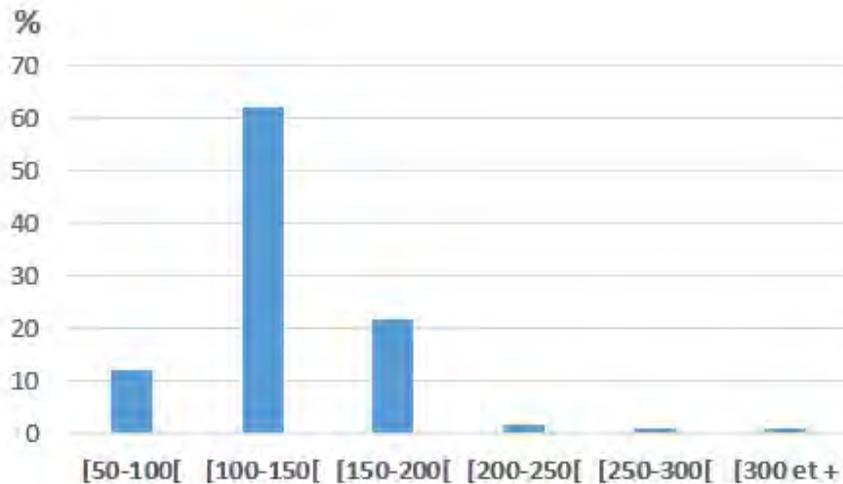


Figure 42. Prix de vente de l'algue

Le tiers des exploitants trouvent, dans l'exploitation de *Meristotheca*, une nette amélioration de leur niveau de vie durant la saison. De nouveaux emplois sont ainsi créés. D'ailleurs un certain nombre d'entre eux (6,84%) migrent dans les lieux de collecte durant cette période (figure 44). Le circuit de l'algue fait intervenir un ou plusieurs intermédiaires. Il peut s'agir d'une personne, d'un petit privé ou d'une entreprise.

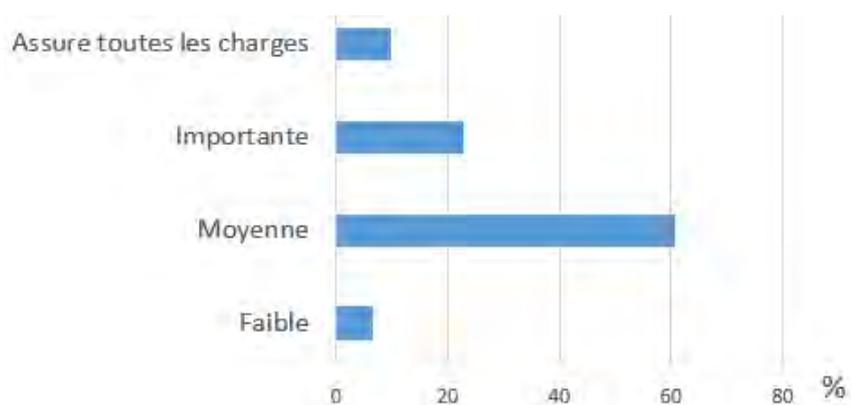


Figure 43. Contribution des revenus tirés de l'exploitation des algues aux charges des exploitants

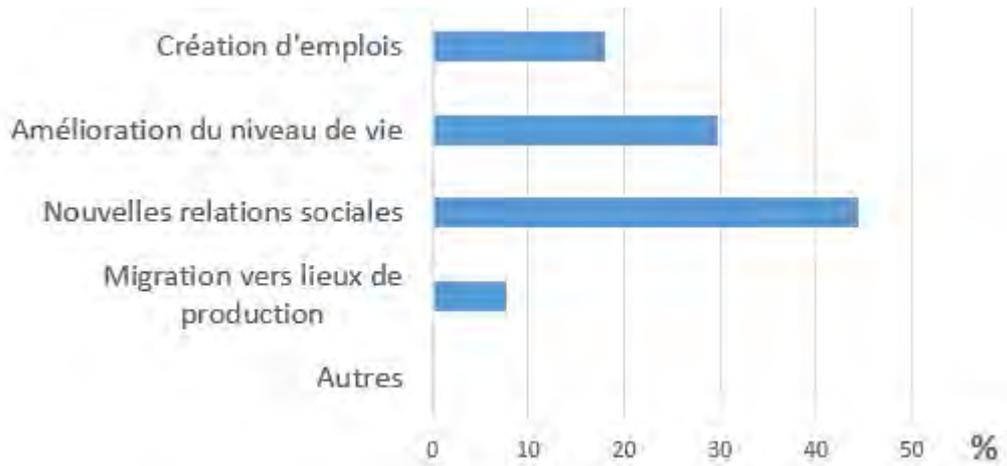


Figure 44. Impacts sociaux de l'exploitation des algues sur les communautés côtières

6.3.1.2.2 Niveau intermédiaire

La seule organisation jouant le rôle d'intermédiaire dans l'exploitation de *Meristotheca* est le Groupement d'Intérêt Economique (GIE) "Soukhaly Ndiabott". La zone d'activité de ce GIE se trouve aux Almadies, plus précisément dans le site dénommé "Nginguène". Le GIE a débuté l'exploitation de *Meristotheca* depuis plus de 10 ans. Selon le Président, ce groupement a été créé pour améliorer le niveau de vie des populations de Ngor.

Selon ce GIE, la pleine activité de la saison de l'algue se situe entre avril et août. Pendant ces mois, les biomasses achetées varient, en moyenne, de 10 à 15 tonnes d'algue fraîche par jour. La quantité d'algue brute (humide) qu'il faut pour obtenir un 1kg d'algue séchée et traitée varie entre 4 kg et 6 kg. Les techniques utilisées pour transformer l'algue sont : le salage, le séchage et la décoloration.

Le GIE emploie environ 50 à 100 personnes durant la saison. Cette équipe de travail est principalement composée d'hommes. La rémunération du personnel, l'approvisionnement, la transformation de l'algue (séchage, décoloration) et les dépenses diverses sont les principales charges du GIE. Le président du GIE affirme que toutes ces charges sont assurées par les revenus que génère l'exploitation de l'algue. La rémunération des exploitants peut aller jusqu'à 5.000 FCFA par jour.

6.3.1.2.3 Niveau société d'exploitation

Le GIE vend directement à une société dénommée Touba Delta Plus pour un prix qui varie, suivant la disponibilité et la qualité du produit, de 1.000 CFA à 5.000 FCFA le kilogramme d'algue séchée. La production, par saison, varie de 8 à 10 tonnes de biomasse sèche. L'entreprise se charge de l'expédition du produit vers le marché asiatique où il est destiné à la consommation humaine. Le Japon est le principal pays destinataire.

6.3.2 EXPLOITATION DE *HYPNEA MUSCIFORMIS* SUR LA PETITE COTE (POINTE-SARENE)

L'espèce *H. musciformis* est rencontrée sur tout le long de la bande côtière de la Petite Côte. Elle forme, en certains endroits, des prairies sous-marines recouvrant de larges superficies, à des profondeurs allant jusqu'à 8 m. L'algue est régulièrement arrachée par les courants et rejetés

sur certaines plages en grande quantité (Mollion, 1973 ; Dème-Gningue, 1985). Ces dépôts sont particulièrement importants entre Mbour et Joal.

6.3.2.1 Cadre humain

A l'inverse de la région de Dakar, la plus grande partie des personnes qui s'investissent dans l'exploitation des algues à Pointe-Sarène est constituée de femmes résidentes, mariées (83%), d'âge assez avancée (45 ans en moyenne) n'ayant reçus aucune scolarisation. La proportion des jeunes femmes (moins de 26 ans) est assez faible (16,7%). Les plus anciennes (41,7%) dans l'exploitation de l'algue totalise entre 12 à 16 ans d'activité (tableaux 20 et 21).

Tableau 20. Répartition par classe d'âge des exploitants d'algue

Age	Nombre de citations	Fréquence (%)
moins de 18	0	0
de 18 à 35	2	16,7
plus de 35	10	83,3

Tableau 21. Durée des acteurs dans l'exploitation d'algue

Année	Nombre de citations	Fréquence (%)
moins de 6	2	16,7
6 à 12	3	25
plus de 12	7	41,7

6.3.2.2 Activités d'exploitation et principaux opérateurs

La récolte des algues se fait à la fois, à pied, lors des périodes de marées basses et par ramassage sur la plage. Elle se déroule tout au long de l'année, tant que la ressource est présente. L'algue récoltée ne fait l'objet d'aucun traitement à part l'élimination des impuretés. L'algue brute est vendue directement aux exploitants agricoles au prix de 100 à 150 francs CFA par kilogramme. Cette activité constitue un appoint à l'activité de pêche et contribue à améliorer les revenus des femmes. L'exploitation se fait à l'échelle individuelle, aucune structure organisationnelle n'est notée.

6.3.3 DISPONIBILITE DES ESPECES D'INTERET ECONOMIQUE

La disponibilité des principales espèces d'intérêt économique donne les résultats présentés dans le tableau 22. Elle résulte d'observation directe sur le terrain et permet de déterminer dans quelle mesure la récolte de l'algue dans les populations naturelles peut être envisagée.

Tableau 22. Disponibilité des principales espèces d'intérêt économique récoltées sur le littoral centre du Sénégal

Algue	Disponibilité
CHLOROPHYTA	
<i>Bryopsis</i>	+
<i>Caulerpa</i>	++
<i>Codium</i>	++
<i>Enteromorpha</i>	++
<i>Ulva</i>	++++
OCHROPHYTA	
<i>Colpomenia</i>	+
<i>Dictyopteris</i>	+++
<i>Dictyota</i>	++++
<i>Padina</i>	+
<i>Sargassum</i>	++
RHODOPHYTA	
<i>Gelidium</i>	++
<i>Gigartina</i>	+
<i>Gracilaria</i>	+++
<i>Grateloupia</i>	+
<i>Gymnogongrus</i>	+
<i>Hydropuntia</i>	+++
<i>Hypnea</i>	++++
<i>Lomentaria</i>	+
<i>Meristotheca</i>	++++
<i>Porphyra</i>	+
<i>Pterocladia</i>	+

+ : présent ; ++ : fréquent avec une biomasse variable ; +++ : abondant ; ++++ : très abondant

6.4 DISCUSSION

6.4.1 EXPLOITATION DE *M. SENEGALENSE* ET *H. MUSCIFORMIS* SUR LE LITTORAL CENTRE

Malgré un faible niveau d'exploitation au plan national, les algues suscitent un intérêt croissant auprès d'un bon nombre d'opérateurs économiques. Les algues rouges *M. senegalense* et *H. musciformis*, présentent un intérêt avéré sur le plan commercial, elles sont bien connues des zones maritimes où elles sont présentes. Elles sont considérées comme sources de phycocolloïdes dont l'exploitation est à envisager (Mollion, 1973 ; Fostier, 1989 ; Fostier *et al.*, 1992). Avec la conjoncture économique dont fait face actuellement le secteur de la pêche artisanale avec la raréfaction du poisson, l'exploitation des algues attire, de plus en plus, l'attention des populations côtières dans la mesure où elle constitue une source de revenu additionnel.

Dans la presqu'île du Cap-Vert, la "saison de l'algue" requiert, chaque année, un nombre important de personnes et concourt à la création d'une nouvelle activité économique pour les villages côtiers. La campagne de collecte varie, selon les saisons, entre 3 et 5 mois. Cette activité s'adresse essentiellement aux jeunes hommes car la plongée et la récolte des algues nécessitent beaucoup d'énergie physique. Cependant, un nombre non moins important de femmes et d'enfants participe à la collecte. Ceci traduit le potentiel humain important pour l'avenir de cette filière pour la communauté littorale. Une seule entreprise monopolise l'activité d'exploitation et achète la totalité de la production. Cette dernière se réserve le privilège de fixer le prix d'achat de l'algue.

Sur la Petite Côte, l'exploitation quoique modeste comparée à celle de la presqu'île du Cap-Vert, est pratiquement annuelle et concerne le genre féminin. La production est généralement vendue aux exploitants agricoles qui utilisent la ressource comme engrais biologique.

Face à la faiblesse du prix de l'algue brute et à l'attrait du gain, les exploitants dakarois se voient obligés de récolter des quantités énormes. Malheureusement la récolte par arrachage total du thalle ne contribue pas à la préservation de la ressource naturelle. D'après Philippe (2013), les cellules reproductrices de l'algue ne peuvent se disperser loin. La recolonisation de la surface initialement occupée par la population algale ne se fait pas correctement si le pourcentage de thalles épargnés, après récolte, est très faible.

Par ailleurs, bien que la ressource ne soit pas actuellement menacée, il existe des risques de surexploitation. Au fur et à mesure que les acteurs s'intéresseront à l'exploitation de l'algue, la recherche de profit va entraîner une augmentation des capacités d'exploitation. Les algues, comme les autres ressources marines, sont vulnérables et ne supporteront pas un effort excessif (MEMTMI, 2006).

Un intérêt pourrait être accordé au développement de la culture (Mc Hugh, 2002). L'algoculture permettrait de maximiser la production de l'algue dans l'objectif d'augmenter et de pérenniser les retombées économiques (Person, 2010). L'avis des exploitants a été d'ailleurs recueilli sur cette question. La majorité n'a pas encore sentie la nécessité de la culture ainsi que la possibilité d'aller vers des exploitations industrielles. Si certains ont montré un certain optimisme quant à l'avenir de la culture de l'algue, ils veulent, cependant, être assurés que la maîtrise des techniques culturales garantissant un bon rendement, par rapport à la cueillette, soit prouvée.

Selon les quantités récoltées, l'exploitant de *M. senegalense* arrive à gagner un salaire moyen mensuel de près de 90.000 FCFA. Ce revenu lui permet d'assurer sa dépense personnelle et celle de sa famille. Avec le revenu tiré de l'activité, certains arrivent à acheter du matériel de pêche. Durant cette saison, qui correspond le plus souvent aux vacances scolaires, les élèves-étudiants arrivent à acheter leur fourniture scolaire et leurs habits. Les revenus tirés de l'algue impactent positivement sur les charges familiales des communautés villageoises et participent à l'amélioration de leur niveau de vie. De ce point de vue, son importance socio-économique est indéniable.

Il a été constaté aussi bien à Dakar que sur la Petite Côte que les producteurs ne sont pas organisés en association ou coopérative, comme pratiqué dans d'autres pays voisins comme le Maroc (ONEM, 1998 ; Hanif *et al.*, 2014). Il convient de les sensibiliser afin qu'ils puissent se regrouper et mieux défendre leurs intérêts, au sein de la filière. Une telle requête a d'ailleurs été adressée par les femmes de Pointe-Sarène qui ont émis le souhait d'être accompagnées par les autorités administratives pour la mise en place d'une entreprise qui pourrait les aider à traiter

et exporter les algues afin de pouvoir générer des revenus financiers plus consistants, puisque la pêche, à elle seule, ne suffit plus à assurer la dépense quotidienne.

S'agissant des problèmes rencontrés par les exploitants, le faible prix de l'algue est évoqué le plus souvent suivi des problèmes d'acquisition de matériel. Par ailleurs, les acteurs de Soumbédioune soulignent qu'ils sont confrontés à des problèmes de pollution liés au canal d'évacuation n° 4 qui déversent ses eaux usées directement dans leurs eaux marines.

Si, aujourd'hui, *H. musciformis* ne fait pas l'objet d'une exploitation importante, elle l'avait été dans le passé. L'utilisation industrielle de cette algue avait déjà commencé en 1971 avec une Société dénommée SénéAlgue. Les algues cueillies avec la participation des riverains de la Petite Côte (Joal) étaient expédiées vers les pays industrialisés comme la France pour l'extraction de carraghénane. Pour des raisons de déficit de qualité de la matière première, la SénéAlgue ne fut opérationnelle que jusqu'au début des années 1980. Aujourd'hui, d'autres entreprises comme Touba Delta Plus s'activent dans la collecte des algues qu'elles achètent auprès des pêcheurs et exportent vers le Japon. Dans les localités comme Ngaparou et Pointe-Sarène, on note, présentement, quelques utilisations locales des algues telles que la fabrication de compost pour la fertilisation des sols et l'usage médicinal.

L'évaluation régulière des stocks de *M. senegalense* et de *H. musciformis* permettra de déterminer le niveau du stock annuel exploitable et éventuellement, instaurer une réglementation appropriée (MEMTMI, 2006). Dans cette perspective, il est fondamental de conduire des études scientifiques sur la biologie et l'écologie de ces espèces et mettre en place un système fiable de collecte de données et de suivi de la ressource.

Des mesures d'aménagement doivent être aussi envisagées pour éviter les mauvaises pratiques de récolte et l'épuisement du stock au profit de l'augmentation de la production. L'arrachage de l'algue, par exemple est à proscrire, car il détruit le support de l'algue et compromet la repousse (Philippe, 2013).

La durabilité de l'exploitation des algues se conjugue aussi avec le problème de l'accès au foncier. Les sites de production sont situés sur le domaine public maritime. Ils offrent des facilités en matière de réception du produit et de disponibilité d'eau de mer pour le lavage de l'algue. Actuellement, les exploitants obtiennent des autorisations d'occuper auprès des collectivités locales. Cependant celles-ci sont précaires. Il serait nécessaire de les appuyer à disposer d'aires de production qui garantissent le long terme.

Par ailleurs, concernant la région de Dakar, les implantations d'exploitation des algues sont généralement constituées d'aires de séchage et de bassins pour le traitement de l'algue. Cependant, l'absence de normes de construction entraîne des risques sanitaires. Il convient alors de définir et d'appliquer des normes sanitaires pour la réalisation des infrastructures de transformation des algues.

La pollution s'installe progressivement dans les zones côtières de la presqu'île du Cap-Vert, du fait notamment des activités anthropiques (Amade, 1977 ; Diallo, 1989 ; Fofana, 1989). L'impact de la pollution sur le développement de l'activité d'exploitation de l'algue devra être cerné pour la mise en œuvre de mesures garantissant sa durabilité (MEMTMI, 2006 ; Philippe, 2013).

6.4.2 POTENTIEL D'UTILISATION DES ESPECES D'INTERET ECONOMIQUE

Concernant les possibilités d'utilisation des algues récoltées sur le littoral centre du Sénégal, le tableau 23 montre les espèces qui peuvent faire l'objet d'une valorisation. C'est ainsi que vingt-et-un (21) genres ressortent comme candidats intéressants pour supporter le développement d'une filière des algues marines. Chacun d'entre eux montre un potentiel de valorisation dans, au moins, un domaine d'application.

D'après Consultants associés (2006), les trois grandes catégories d'algues rouges, brunes et vertes connaissent déjà des débuts d'utilisation certes modestes mais promoteurs :

- parmi les algues rouges, *Hypnea musciformis* est la principale algue utilisée à la fois pour ses propriétés nutritionnelles dans les hôpitaux et pour son carraghénane. *Hydropuntia rangiferina* est utilisée dans les hôpitaux pour lutter contre le déficit d'iode. Enfin *Meristotheca senegalense* est très appréciée des asiatiques et présentement exportée vers le Japon ;
- parmi les algues brunes les genres *Sargassum*, *Padina*, *Dyctiota* sont exploitées pour produire de l'engrais biologique mélangés à d'autres algues rouges et vertes, et du fait de sa richesse en iode 300 mg pour 100g. Le genre *Sargassum* est utilisée comme additif alimentaire ;
- parmi les algues vertes deux espèces sont localement commercialisées ; il s'agit de *Ulva lactuca* et *Enteromorpha intestinalis*.

6.4.3 NICHES D'OPPORTUNITE EXPLOITABLES, A COURT TERME, AU SENEGAL

Les secteurs suivants sont considérés comme étant des niches d'opportunités pour le développement d'une filière basée sur les algues marines :

- le secteur laitier et fruitier : chaque année par défaut de moyens de conservation les éleveurs perdent leur lait. L'utilisation du carraghénane pour stabiliser le lait et les jus de fruits locaux pourrait constituer un débouché intéressant pour les populations rurales ;
- le secteur agricole où le compost à base d'algues peut jouer un rôle déterminant dans la fertilisation des sols dans la gestion de l'eau en rapport avec la quantité et à la qualité des produits agricoles récoltés ;
- le secteur de la boulangerie et de la pâtisserie qui pourrait développer les pains d'algue et les gâteaux contenant de la farine d'algue ;

Tableau 23. Bilan de l'utilisation possible des principaux genres d'algues macrophytes du littoral centre du Sénégal

ALGUES	TYPES D'UTILISATION	Alimentation humaine	Alimentation animale (autre que humaine)	Agriculture	Médicale, paramédicale, Pharmaceutique	Phyco-colloïdes	Sources bibliographiques
CHLOROPHYTA	<i>Bryopsis</i>	+					Ballesteros <i>et al.</i> , 1992 ; Kamei <i>et al.</i> , 2000 ; Trono, 2001 ; Lu <i>et al.</i> , 2007 ; Ghasemi <i>et al.</i> , 2007 ; Sato <i>et al.</i> , 2007 ; Affan <i>et al.</i> , 2009 ; Suzuki <i>et al.</i> , 2008 ; Wallace <i>et al.</i> , 2010 ; Wu <i>et al.</i> , 2010 ; Pettersen, 2010 ; Greentech, 2010 ; Kyle & Linsert, 2011 ; Manilal <i>et al.</i> , 2011
	<i>Caulerpa</i>	+			+		
	<i>Codium</i>	+					
	<i>Enteromorpha</i>	+		+			
	<i>Ulva</i>	+		+			
OCHROPHYTA	<i>Colpomenia</i>					+	Ballesteros <i>et al.</i> , 1992 ; Kamei <i>et al.</i> , 2000 ; Trono, 2001 ; Lu <i>et al.</i> , 2007 ; Ghasemi <i>et al.</i> , 2007 ; Sato <i>et al.</i> , 2007 ; Affan <i>et al.</i> , 2009 ; Suzuki <i>et al.</i> , 2008 ; Wallace <i>et al.</i> , 2010 ; Wu <i>et al.</i> , 2010 ; Pettersen, 2010 ; Greentech, 2010 ; Kyle & Linsert, 2011 ; Manilal <i>et al.</i> , 2011
	<i>Dictyopteris</i>	+			+		
	<i>Dictyota</i>	+					
	<i>Padina</i>	+		+	+		
	<i>Sargassum</i>	+	+		+	+	
RHODOPHYTA	<i>Gelidium</i>	+	+			+	Ballesteros <i>et al.</i> , 1992 ; Kamei <i>et al.</i> , 2000 ; Trono, 2001 ; Lu <i>et al.</i> , 2007 ; Ghasemi <i>et al.</i> , 2007 ; Sato <i>et al.</i> , 2007 ; Affan <i>et al.</i> , 2009 ; Suzuki <i>et al.</i> , 2008 ; Wallace <i>et al.</i> , 2010 ; Wu <i>et al.</i> , 2010 ; Pettersen, 2010 ; Greentech, 2010 ; Kyle & Linsert, 2011 ; Manilal <i>et al.</i> , 2011
	<i>Gigartina</i>	+				+	
	<i>Gracilaria</i>	+			+	+	
	<i>Grateloupia</i>	+				+	
	<i>Gymnogongrus</i>	+				+	
	<i>Hydropuntia</i>					+	
	<i>Hypnea</i>				+	+	
	<i>Lomentaria</i>				+		
	<i>Meristotheca</i>	+				+	
	<i>Porphyra</i>	+				+	
	<i>Pterocladia</i>					+	

Aujourd'hui, les diverses utilisations des algues, notamment dans la lutte contre les carences nutritionnelles, la fertilisation des sols en vue d'améliorer les rendements des cultures, la fabrication de biogaz, l'alimentation des animaux (bétail, volaille, poissons, etc.), sont la preuve du potentiel de développement de la filière des algues marines au Sénégal (MEMTMI, 2006). La biomasse de certaines espèces peut être valorisée à travers de nombreuses applications modernes (énergie, agriculture, pharmacie, médecine, microbiologie, biotechnologie, agro-alimentaire, aquaculture intégrée, bio-épuration des eaux usées, thalassothérapie et cosmétologie). Ces opportunités créent ainsi un intérêt croissant pour la recherche et

l'utilisation de ces ressources (FAO, 2014 ; Chouikhi, 2013 ; McHugh, 2003 ; ElMtili *et al.*, 2013 ; Ndao *et al.*, 2017a).

6.4.4 DISPONIBILITE DES ALGUES RECOLTEES SUR LE LITTORAL CENTRE

La disponibilité de la ressource algale est très importante pour qu'une exploitation durable puisse être envisagée. La faible disponibilité de l'algue (surtout en terme de biomasse) la rend vulnérable parce que peu renouvelable avec risque de surexploitation et éventuellement de disparition. Cette évaluation permet de déterminer dans quelle mesure la récolte d'algue dans les populations naturelles peut-être envisagé. A ce stade de l'étude, la récolte dans les populations naturelles ne semble envisageable que pour les algues *Hypnea sp.*, *Meristotheca sp.*, *Ulva sp.* et *Dictyota sp.* (Ndao *et al.*, 2017a).

6.4.5 POSSIBILITES DE CULTURE DES ALGUES

Pour mettre en place une filière durable de valorisation des algues au Sénégal, il faut garantir un approvisionnement régulier de matière. Une des solutions envisageables pour répondre à cette condition pourrait être l'implantation de culture d'algues. D'après Perez *et al.* (1992), les algues de culture sont de meilleure qualité, puisque ce sont de jeunes algues, d'âge et de condition uniforme, fraîchement sorties de l'eau, propres et intactes. Elles sont parfois plus riches en certaines molécules que les algues sauvages (Perez *et al.*, 1992).

6.5 CONCLUSION

Cette étude a permis de caractériser la situation de l'exploitation des algues sur le littoral de la presqu'île du Cap-Vert et de la Petite Côte, de comprendre la place de l'activité dans la vie des communautés côtières et d'explorer les potentialités des espèces d'intérêt économique.

La récolte de l'algue constitue une activité localisée et saisonnière et intéresse surtout les jeunes. Les modes d'exploitation sont rudimentaires et éprouvantes et menacent la conservation de la ressource et la durabilité de l'exploitation dans le long terme. Cette exploitation implique des catégories sociales diverses et participe au développement socio-économique par la création d'emplois locaux et l'augmentation des revenus des exploitants. Il faudra, toutefois, aller dans le sens d'encadrer les exploitants, les former aux techniques de récolte qui garantissent une exploitation rationnelle de l'algue et les initier aux techniques de l'algoculture.

Cette étude a permis, également, de montrer qu'il est possible de diversifier les activités des populations côtières et d'augmenter leur revenus en les intéressant à l'exploitation et la valorisation des algues. Le grand avantage de l'algue réside dans la diversité des applications et des marchés. Sur le littoral centre, un réel potentiel existe pour la valorisation des algues macrophytes avec 21 genres susceptibles être éventuellement exploités.

Cependant, le cadre législatif et réglementaire régissant cette exploitation est presque inexistant. Il urge de mettre en œuvre des mesures adéquates pour réguler cette production en veillant particulièrement à la méthode de récolte pour ne pas compromettre la préservation de la ressource. Il est également important de mettre en œuvre des stratégies de gestion et d'aménagement de cette ressource.

Chapitre 7

DISCUSSION GENERALE

Conscientes qu'un développement durable ne peut se faire sans une intégration des préoccupations écologiques et socio-économiques du domaine maritime, les autorités sénégalaises ont affiché une nouvelle vision de l'économie maritime qui prend en compte les diverses ressources marines dont l'exploitation peut contribuer significativement à la réalisation des bien-être des populations. Cette préoccupation est bien prise en compte dans la nouvelle Lettre de Politique Sectorielle de Développement de la Pêche et de l'Aquaculture (2016 - 2023). Les algues sont comprises dans les ressources maritimes, cependant, les données de recherche disponibles indiquent que cette ressource est quasi-méconnue si l'on se réfère au rapport des journées de réflexion sur le développement de la filière des algues marines du Sénégal (MEMTMI, 2006).

Cette situation constitue un paradoxe au regard du contexte mondial, marqué par un développement fulgurant de l'exploitation des algues durant les trente dernières années (FAO, 2014). D'autre part, bien qu'en plein essor, l'exploitation des algues à l'échelle mondiale reste encore marginale par rapport à la production végétale terrestre : 15 millions de tonnes d'algues macrophytes contre 4 milliards de tonnes pour la production agricole (Person, 2010). Ce constat a fait émerger une réelle volonté d'améliorer les connaissances sur ce groupe floristique.

Ce travail de thèse avait pour objectif de caractériser le potentiel qualitatif et quantitatif des algues macrophytes marines sur une zone localisée du littoral du Sénégal, en vue de les exploiter, les valoriser et les gérer durablement. Au regard de cet objectif visé, un certain nombre de résultats importants a été obtenu. Ces résultats peuvent contribuer à la mise en oeuvre de politiques et orientations stratégiques pour développer une filière basée sur cette ressource marine.

Ainsi, sur tout le long du littoral centre, la diversité spécifique a été caractérisée ainsi que la dynamique spatiale et temporelle des espèces. Ces informations ont permis d'avoir une idée du potentiel qualitatif des espèces et du suivi de leur évolution. Au plan quantitatif, la connaissance de l'état des stocks naturels pour les espèces les plus importantes a permis de déterminer les quantités exploitables et d'anticiper sur les mesures de conservation. La caractérisation de la situation de l'exploitation et des possibilités d'utilisation des espèces a ouvert les perspectives du développement d'une filière de ces algues marines au Sénégal.

DIVERSITE

Les résultats obtenus sur la biodiversité ont permis d'actualiser l'inventaire de cette flore, effectuée sur les côtes sénégalaises par différents auteurs dont : Chevalier (1920) ; Dangeard (1938, 1951a, 1951b, 1952) ; Trochain (1940) ; Sourie (1954) ; Bodard (1965a, 1965b, 1966a, 1966b, 1967a, 1967b, 1968, 1971a, 1971b, 1971c) ; Bodard et Mollion (1974) ; Mollion (1975a, 1975b) ; Harper et Garbary (1997) ; Bodian (2000), Bodian (2003) ; John *et al.* (2001), John *et al.* (2004), Faye *et al.* (2005), Diédhiou (2011), Guèye (2015).

Ces résultats font état de 98 taxa constitués en majorité d'algues rouges (56 espèces, 57,14%), suivies des algues vertes (26 espèces, 26,53%) et des algues brunes (16 espèces, 16,33%). Cette diversité se manifeste principalement au niveau des familles des Gracilariacées, Dictyotacées et Ulvacées.

L'investigation la plus complète de cette flore sur nos côtes, réalisée par Harper et Garbary (1997), faisait état de 242 espèces d'algues constituées principalement d'algues rouges (60%), d'algues vertes (23%) et d'algues brunes (17%). Plus tard, Bodian (2000), adressa une liste de 260 espèces dont 61,5 % d'algues rouges, 22% d'algues vertes et 16,5% d'algues brunes potentiellement présentes sur le littoral.

Boudouresque (1995) a publié dans le tableau 1.3, un recensement des divers taxons de chlorophytes, rhodophytes et pheophycées dans les différentes mers du monde. Sur ce tableau, 363 espèces sont signalées sur le littoral de l'Afrique tropical ouest (Lawson et John, 1987). Les 98 taxa répertoriées dans notre étude circonscrite sur une zone précise du littoral sénégalais, constituent déjà plus du tiers (33,7%) des espèces citées au Sénégal et plus du quart (27 %) des espèces citées sur la façade maritime de l'Afrique tropical ouest. Ces résultats ne reflètent pas toutes les potentialités de nos côtes (Ndao *et al.*, 2017b), d'autant plus que plusieurs zones n'ont pas été étudiées et un grand nombre d'espèces récoltées restent encore non déterminées par manque de flores nécessaires pour leur identification. Les explorations et études approfondies des zones géographiques maritimes nord et sud du littoral devraient permettre une connaissance plus complète de cette biodiversité.

Cette richesse fait de nos côtes un véritable réservoir d'espèces d'algues macrophytes à haut potentiel économique (Ba et Noba, 2001 ; Ndao *et al.*, 2017a). Cette diversité des espèces et leur richesse en composés biochimiques d'intérêt permet, aujourd'hui, un vaste panel d'applications et peut s'adresser à de nombreux secteurs industriels. Un intérêt particulier devrait être apporté à la conservation des familles monospécifiques et à la préservation de cette biodiversité.

DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE

Les résultats obtenus sur le suivi de la dynamique des espèces au niveau des zones circonscrites de la presqu'île du Cap-Vert et la Petite Côte qui constituent deux zones éco-géographiques maritimes assez contrastées (faciès et hydrodynamisme des sites), ont permis de dresser l'occurrence, la dominance et la répartition géographique des espèces. Les Floridophycées restent dominantes quel que soit la nature et le mode du site : rocheuse (Ngor), sableuse (Thiaroye) ou sablo-rocheuse (Pointe-Sarène) ; mode abrité (Ngor), mode semi-battu (Thiaroye) ou mode battu (Pointe-Sarène).

Les espèces les plus fréquentes sur la presqu'île du Cap-Vert, de Ngor à Thiaroye, sont les algues vertes des genres *Ulva* et *Cladophora*, suivies des algues brunes des genres *Dictyota* et *Dictyopteris*. Les espèces les plus abondantes sont les *Ulva spp.*, les *Dictyopteris spp.*, les *Caulerpa spp.*, et dans une moindre mesure les *Meristotheca sp.* et les *Codium spp.*

Sur la Petite Côte, les espèces les plus fréquemment observées sont les algues vertes des genres *Ulva* et *Cladophora*. Chez les algues brunes : *Sargassum spp.*, et chez les algues rouges *Hypnea spp.*, *Gracilaria spp.*, *Hydropuntia sp.*, *laurencia spp.* L'espèce la plus abondante est sans conteste *Hypnea sp.*, qui, à elle seule, représente 90% de la biomasse des dépôts suivie des genres *Ulva*, *Sargassum*, *Codium*, *Gracilaria* et *Hydropuntia*.

Il ressort des résultats qu'il existe une présence et une dynamique contrastée en fonction des zones géographiques en ce qui concerne les espèces comme *M. senegalense* exclusivement présente et abondante dans la presqu'île du Cap-Vert et *H. musciformis* circonscrite et abondante sur la Petite Côte.

Du point de vue des conditions hydro-climatiques, les mois chauds (avril à septembre) correspondent à la période d'abondance des algues rouges. Ces espèces prolifèrent lorsque la température augmente et atteignent leur fertilité maximale en plein été (Mouradi-Givernaud *et al.*, 1999 ; Hernandez-Guerrero *et al.*, 2000). Le nombre d'espèces ne varie pas beaucoup durant les périodes froides et chaudes. Cette faible variation peut s'expliquer par les conditions hydro-

climatiques clémentes qui règnent au cours de ses deux saisons et qui ne diffèrent pas sensiblement.

Toutefois, que la durée d'étude n'a pas permis d'étudier l'évolution inter-annuelle des espèces. Ces études devront constituer les prochaines étapes, elles seront d'ailleurs, une condition préalable à la mise en place de futurs plans d'exploitation raisonnée de cette ressource. Ces plans pourront s'articuler autour de certaines mesures de gestion de l'effort de prélèvement telles que l'instauration de repos biologique (période d'ouverture et de fermeture de la récolte de l'algue) qui permet la préservation et le renouvellement des populations naturelles soumises, parfois, à d'importantes fluctuations saisonnières.

Ces résultats suggèrent également que si on doit préconiser l'exploitation des algues, elle devrait porter, sans préjudice, sur les algues rouges comme *M. senegalense* et *H. musciformis* et devrait se faire durant les périodes chaudes qui correspondent aux phases de développement maximum de ces espèces.

BIOMASSE

Les résultats obtenus sur l'évaluation des stocks a concerné *M. senegalense* et *H. musciformis* qui font déjà objet d'exploitation. Pour *M. senegalense*, l'évaluation de la biomasse fixée sur le substrat du fond marin de la baie de Ngor, a donné un stock de 17,17 tonnes de matière fraîche annuelle avec un rendement de 1,8 tonne à l'hectare. La biomasse disponible, à l'estran, est tout aussi intéressante pour *H. musciformis* à Pointe-Sarène dont le stock est estimé à 166,8 tonnes par an, avec un rendement de 32,45 tonnes/ha. Person (2010) estime que le stock d'algues en mer à 5 à 6 fois plus important que les échouages avec une capacité de régénération très rapide (restauration des stocks en quelques jours dans des conditions favorables à la croissance). Cette biomasse disponible suscite un certain intérêt pour une exploitation.

Les résultats montrent que ces deux espèces ne font pas, pour l'instant, l'objet d'une exploitation importante. Cependant, pour éviter une pression sur elles, il est important de déterminer le niveau des stocks exploitables, d'autant plus que leurs peuplements semblent être sujets à des fluctuations annuelles de biomasse en raison notamment des facteurs climatiques et hydrologiques (Mollion 1973 ; Dème-Gningue, 1985). Ainsi, pour leur conservation, leur exploitation ne peut pas aller, sur le long terme, dans le sens d'un libre accès. Il faudrait nécessairement recourir à des mesures pour contrôler l'effort de pêche comme la taxation de l'effort de prélèvement ou l'instauration de quotas d'exploitation ou encore promouvoir la culture de l'algue. Ces mesures sont essentielles pour garantir une exploitation durable.

EXPLOITATION / UTILISATION

Les résultats concernant l'exploitation des algues montrent qu'elle constitue une activité saisonnière et concerne principalement la frange jeune des populations côtières. Les modes d'exploitation sont assez rudimentaires et assez éprouvantes. Les techniques comme l'arrachage total du thalle sans offrir des possibilités de repousse des rejets ne contribuent pas à la préservation de l'algue.

Les revenus tirés de l'algue brute sont assez faibles et incitent les acteurs à récolter des quantités énormes. L'exploitation par un prélèvement direct sur le stock naturel constitue une méthode de production qui ne permet pas d'obtenir de bons rendements, sur le long terme.

Seule la production de *M. senegalense* sur la presqu'île du Cap-Vert fait l'objet d'une exportation.

Les résultats portant sur la valorisation de l'algue qui se limite au séchage et à la décoloration montrent que cette activité est peu valorisée malgré les énormes débouchés qu'elle offre (Ndao *et al.*, 2017a). D'autre part, le caractère informel et saisonnier de l'activité et le nombre

d'espèces exploitées ne militent pas, pour l'instant, en faveur de l'essor d'une filière. Nous retiendrons, toutefois, que l'exploitation de *M. senegalense* et *H. musciformis* comportent une dimension sociale assez importante, elle complète les offres d'emplois dans le secteur maritime et génère des revenus assez conséquents qui contribuent au bien-être des populations.

A l'instar de la plupart des pays africains, nous sommes très en retard par rapport aux pays asiatiques qui ont su développer des techniques de production et de valorisation des algues leur permettant de satisfaire bien des besoins, surtout ceux relatifs à la consommation alimentaire (FAO, 2014). Fort heureusement, avec 21 genres potentiellement valorisables, il existe de réelles possibilités de développement d'une filière algale basée sur la disponibilité des espèces et sur leur potentiel d'utilisation dans plusieurs secteurs d'intérêt économique.

Les algues marines qui recèlent les plus grandes potentialités économiques sont à rechercher au niveau des algues rouges, surtout pour l'extraction des phycocolloïdes comme l'agar-agar et les carraghénanes qui n'ont pas d'équivalents d'origine terrestre (Perez, 1997). Ces dernières sont bien représentées sur la Petite Côte où elles constituent un important créneau porteur.

Parmi les agarophytes les plus recherchées figurent les genres *Gracilaria*, *Hydropuntia*, *Gracilariopsis*, *Pterocladia*, *Gelidium* et *Ceramium*, et parmi les carraghénophytes figurent *Grateloupia*, *Anatheca* et *Meristotheca*. A titre d'exemple, nous pouvons citer le gracilaire *Hydropuntia rangiferia* abondant sur le littoral qui va de Mbour à Joal. Cette espèce cosmopolite est largement exploitée et cultivée dans plusieurs pays comme la Chine et le Chili, dans le but d'extraire de l'agar de qualité (Lahaye *et al.*, 1985 ; Yenigul, 1993).

Parmi les autres groupes d'algues vertes et brunes d'intérêt économique, figurent les genres comme *Ulva*, *Pterocladia* et *Sargassum* qui constituent une source de richesse potentielle pour la pharmacie, la médecine, l'industrie des alginates ou encore l'agriculture pour la fertilisation des sols (Dème-Gningue, 1985 ; Perez, 1997).

On déplore, aussi, le fait que l'algue ne fait pas encore partie du référentiel alimentaire du Sénégalais. Elle pourrait néanmoins représenter une part significative de son alimentation dans les années à venir grâce, entre autre, à un contexte agro-alimentaire favorable et une convergence de plusieurs tendances de consommation. En effet, l'algue possède une image à la fois de bien-être, de santé, de naturel, mais aussi et surtout de richesse nutritionnelle.

Aujourd'hui, étant donné le contexte sénégalais en termes d'industrialisation et de disponibilité des compétences sur cette ressource, certains domaines d'application apparaissent plus difficiles à implanter. En particulier, le développement d'applications médicales, pharmaceutiques et énergétiques semble délicat car il nécessiterait la mise en œuvre de techniques et procédés de pointe. C'est le cas également pour la plupart des applications en chimie fine et, dans une moindre mesure, pour les applications cosmétiques où des procédés lourds de traitement ou d'extraction sont requis. Au contraire, les autres domaines comme ceux de l'alimentation et de l'agriculture, qui ne nécessitent pas forcément une technologie trop pointue, semblent être des voies prometteuses de développement.

CONSERVATION

Les enquêtes socio-économiques font ressortir, en plus des mauvaises méthodes de récolte de l'algue comme l'arrachage total du thalle, un autre constat assez alarmant. Le littoral centre fait actuellement l'objet de plusieurs types d'activités (portuaires, industrielles, pêche, tourisme, mariculture, etc.), qui ont des impacts directs ou indirects sur la phytocénose algale. Or, cette phytocénose algale représente, une composante essentielle des écosystèmes marins et côtiers (Smith, 1981 ; Burkepile et Hay, 2006 ; Boström *et al.*, 2011 ; Meinesz *et al.*, 2013). Son rôle

écologique est avéré car elle est responsable, dans une large mesure, de la production primaire des milieux côtiers (Burkepile et Hay, 2006 ; Boström *et al.*, 2011 ; Chung *et al.*, 2011 ; Meinez *et al.*, 2013 ; Chung *et al.*, 2013). Elle constitue un habitat pour de nombreux poissons, mollusques, crustacés et autres espèces et permet également la récupération des éléments nutritifs dissous dans l'eau de mer (Leclerc et Floc'h, 2010). Elle donne, aussi, des informations d'ordre écologique nécessaires à la gestion des zones côtières, constituant un indicateur écologique important pour les études de bio-surveillance des milieux aquatiques (Levine, 1984).

La zone côtière sud de la presqu'île du Cap-Vert est profondément affectée par une grande variété d'activités humaines. On observe dans les zones de la baie de Hann et de Thiaroye, où sont localisées d'importantes sociétés industrielles, une dégradation accrue de la biodiversité du phytobenthos. Ces mêmes impacts sont signalés par Bellan-Santini (1966) et Clark (1986) dans les eaux méditerranéennes où il est constaté une élimination assez importante de la végétation sur une zone de 5 km de part et d'autre du site des effluents (Amiard, 2011 ; Boudouresque *et al.*, 2012 ; Malea *et al.*, 2013). L'estimation des espèces directement menacées par ces impacts n'a pas encore été réalisée au Sénégal, mais on peut s'attendre à ce qu'ils affectent la productivité, le dynamisme et la diversité spécifique. Au Maroc, par exemple, certaines espèces qui jouent un rôle écologique important comme *Bryopsis* sont considérées comme menacées ou en péril (ONEM, 1998). D'où l'importance du suivi des espèces sensibles pour assurer la préservation de la biodiversité (Boudouresque, 1995 ; Boudouresque *et al.*, 2012 ; Phillipe, 2013 ; Meinez *et al.*, 2013).

La création des aires marines protégées (AMP) comme celle de l'AMP de Joal peut être une solution pour éviter les pressions sur les ressources marines comme la flore algale et sur leur habitat et constitue, en même temps, un outil efficace d'aménagement des zones côtières.

GESTION

Il ressort de nos investigations que le cadre législatif et réglementaire concernant l'exploitation de l'algue marine est quasiment inexistant. Or, en raison de l'intérêt que suscite l'exploitation des algues, il est impératif d'élaborer et de mettre en œuvre toutes les mesures de gestion pour pérenniser les activités en développement. Ces dispositions pourront concerner, entre autres mesures évoquées déjà, les autorisations d'accès aux zones d'exploitation, les mesures visant la protection des espèces sensibles, les normes sanitaires, les réglementations en matière de manutention, de transformation et de conservation des algues.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Cette étude est une contribution à la connaissance des algues marines à l'échelle du littoral centre du Sénégal. Elle apporte des informations actualisées et localisées sur la diversité, la dynamique, la biomasse, l'exploitation, la valorisation et la gestion des algues macrophytes marines des côtes sénégalaises.

Au plan de la diversité, l'inventaire dans cette zone localisée du littoral centre a permis d'actualiser la liste des algues macrophytes. Cette diversité est importante et constitue plus du tiers (33,7%) des espèces listées au Sénégal et plus du quart (27%) des espèces recensées sur les côtes de l'Afrique de l'ouest tropical. Les algues rouges sont les mieux représentées et totalisent plus de la moitié des espèces inventoriées. Les genres *Gracilaria*, *Ulva* et *Padina* sont les plus représentés. Cette étude a aussi permis d'élaborer une clé d'identification des espèces. Cette richesse fait de nos côtes un véritable réservoir d'espèces d'algues macrophytes à haut potentiel économique. Néanmoins, une attention particulière devrait être apportée à la conservation des familles monospécifiques. Toutefois, ce travail circonscrit sur cette frange étroite du littoral devrait être poursuivi par l'exploration des zones maritimes nord et sud et complété par l'étude de la biologie et de l'écologie des espèces, surtout celles d'intérêt économique qui peuvent faire l'objet d'une exploitation.

Au plan de la dynamique spatio-temporelle, les variations spatiales et saisonnières des espèces ont été caractérisées sur des sites d'intérêt écologiques localisés dans les zones géographiques de la presqu'île du Cap-Vert et de la Petite Côte. Quelle que soit la zone géographique, les algues rouges sont les plus fréquentes et les plus abondantes. Les Floridophycées restent dominantes quel que soit la nature et le mode du site. Ces algues rouges sont également plus abondantes durant les périodes chaudes. Une présence et une dynamique contrastées, en fonction des deux zones éco-géographique ont été observées au niveau des espèces les plus abondantes comme *M. senegalense* et *H. musciformis*.

La répartition des espèces semble être plus liée à la géographie qu'à la saison. Les paramètres physico-chimiques sont assez homogènes et varient légèrement d'une zone à l'autre.

Cependant, les résultats obtenus n'ont porté que sur une échelle spatiale et temporelle très réduite (une année). Il est important de les compléter sur une échelle spatio-temporelle plus large. La suite logique de ce travail devrait donc être le suivi des variations interannuelles des espèces. Ces informations sont importantes et permettront de répondre aux stratégies d'aménagement des algues comme l'instauration de repos biologique et les périodes d'ouverture et de fermeture de récolte.

Au plan de l'évaluation des stocks, l'estimation des biomasses naturelles a porté sur *M. senegalense* et *H. musciformis* qui font, aujourd'hui, l'objet d'exploitation sur les sites respectifs de la presqu'île du Cap-Vert (Ngor) et de la Petite Côte (Pointe-Sarène). Les stocks respectifs de *M. senegalense* (17,17 tonnes) et de *H. musciformis* (166,8 tonnes) sont importants et permettent des volumes de récolte conséquents. L'exploitation de ces biomasses ne fait pas encore l'objet de menace mais un risque de surexploitation est à craindre car, au fur et à mesure que les acteurs s'intéresseront à l'exploitation de l'algue, la recherche de profil va entraîner une augmentation des capacités d'exploitation basées, aujourd'hui, uniquement sur la récolte.

Toutefois, ce travail reste incomplet et devrait être complété par des évaluations ciblant d'autres espèces d'intérêt commercial et être élargi sur d'autres sites. Il serait, aussi, important de mener des études, à plus long terme, pour le suivi de l'évolution des stocks pour compléter les données

des résultats préliminaires. Les mesures de gestion comme le contrôle de l'effort de pêche et l'instauration de quotas de pêche, devraient être prises pour garantir une exploitation durable.

Au plan de l'exploitation, la récolte de l'algue constitue une activité localisée et saisonnière et intéresse surtout les jeunes. Les modes d'exploitation sont rudimentaires et éprouvantes et menacent la conservation de la ressource et la durabilité de l'exploitation dans le long terme. Cette exploitation implique des catégories sociales diverses et participe au développement socio-économique par la création d'emplois locaux et l'augmentation des revenus des exploitants. Il faudra, toutefois, aller dans le sens d'encadrer les exploitants, les former aux techniques de récolte qui garantissent une exploitation rationnelle de l'algue et les initier aux techniques de l'algoculture, conditions essentielles pour pérenniser l'activité et garantir une préservation et une exploitation rationnelle des espèces.

Au plan de la valorisation, l'étude a montré que les algues sont peu valorisées. Les techniques se limitent au séchage et à la décoloration. Néanmoins, elle a mis en exergue la bonne disponibilité des espèces (21 genres) qui présentent un potentiel d'exploitation et les niches d'opportunités exploitables sur le court terme (secteur agricole, secteur agro-alimentaire, secteur médical), pour le Sénégal. Il s'agira de mener des études et recherches appliquées sur les techniques de transformation de l'algue pour leur donner plus de valeur ajoutée et de diversifier les utilisations.

Au plan de la conservation, l'étude a montré que l'algue est sujette à des menaces qui tiennent de l'exploitation elle-même et de l'impact d'autres activités sur le milieu marin. Ainsi, il est important de veiller à ce que les techniques d'exploitation ne soient pas dommageables à la ressource algale, à la biodiversité et à l'environnement marin. Il est aussi important de lutter contre la pollution du littoral. Il est tout aussi important d'aller dans le sens de la mise en place d'aires marines protégées pour la conservation des espèces et de leur biotope.

Au plan de la gestion, il est apparu que le cadre législatif et réglementaire régissant l'exploitation de l'algue est quasi-inexistant. Toutefois, en raison de l'intérêt qu'elle suscite, actuellement, il est impératif de mettre en œuvre toutes les mesures déjà évoquées visant sa gestion durable et de les compléter avec des dispositions, taxation, arrêtés, codes, etc. concernant les permis d'exploitation, la protection des espèces sensibles, les normes sanitaires, etc.

S'il est vrai aujourd'hui, que l'apport de la filière des algues marines dans l'économie nationale sénégalaise est insignifiant et a un caractère local, il demeure que cette situation pourrait évoluer favorablement grâce aux potentialités encore inexploitées. Au-delà des défis purement scientifiques et technologiques et dans un contexte assez complexe de démographie galopante, de changement climatique et de l'occupation anarchique des espaces littoraux, le développement de la filière des algues marines nécessite d'aborder, également, toutes ces questions connexes et d'anticiper sur leurs éventuels impacts.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Affan A., Heo S.-J., Jeon Y.-J. and Lee J.-B. 2009. Optimal growth conditions and antioxidative activities of *Cylindrotheca closterium* (Bacillariophyceae). *Journal of Phycology*, vol 45(6), 1405-1415
- Alphandéry P. et Fortier A. 2013, Les données sur la nature entre rationalisation et passion, *Revue du MAUSS*, 42. 202-220
- Algaebase (a). Class: Ulvophyceae. In Algaebase. Taxonomy browser <http://www.algaebase.org/browse/taxonomy/?id=4357&session=abv4:D4C66F780c80f25A8AYy9418D6E5> (Page consultée le 28 mai 2015).
- Algaebase (b). Phylum: Rhodophyta. In Algaebase. Taxonomy browser <http://www.algaebase.org/browse/taxonomy/?id=97240&session=abv4:D4C66F780c80f25A8AYy9418D6E5> (Page consultée le 28 mai 2015).
- Algaebase (c). Class: Phaeophyceae. In Algaebase. Taxonomy browser <http://www.algaebase.org/browse/taxonomy/?id=4360&session=abv4:D4C66F780c80f25A8AYy9418D6E5> (Page consultée le 28 mai 2015).
- Amade P. 1977. Pollution des eaux de surface : résultats de mesures côtières autour du Cap-Vert 1976, Archives CRODT, N° 43 Dakar- Sénégal. 31p.
- Amiard J. C. 2011. Les risques environnementaux : méthodes d'évaluation et impacts sur les organismes. Tec & doc-Lavoisier, Paris : 782p.
- Andersen R.A. 1992. Diversity of eukaryotic algae. *Biodiversity and Conservation*, 1(4), 267–292.
- Anonyme, 2010. Rapport sur l'Etat de l'Environnement au Sénégal, Edition 2010. 266p.
- ANSD, 2016. Situation économique et sociale du Sénégal. Ed. 2013 Pêche maritime. Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie. 211p.
- Atlas du Sénégal, 2007. Atlas du Sénégal. Paris, Éditions du Jaguar, 2007, 136p.
- Ba A.T. et Noba K. 2001. Flore et Biodiversité végétale au Sénégal. *Sécheresse*, 12(3) : 149-155
- Bai N.R., Christo R. M. and Kala T. C. 2011. Effect of seaweed concentrate of *Padina pavonia* on the growth and yield of a pulse crop. *Plant Archives*, vol 11(1), 117-120
- Ballesteros E., Martin D. and Uriz M.J. 1992. Biological activity of extracts from some Mediterranean macrophytes. *Botanica Marina*, vol 35, 481-485
- Barusseau J. P., Castaigne P., Duvail C., Noël B. J., Nehlig P., Roger J., Serrano O., Banton O., Comte J-C., et Travi Y. 2009. Notice explicative de la cartographie multicouche à 1/50 000

- et 1/20 000 de la zone d'activité du Cap-Vert. Ministère des Mines, de l'Industrie et des PME. Direction des Mines et de la Géologie. République du Sénégal (2009) 245p.
- Bellan-Santini D. 1966. Influence des eaux polluées sur la faune et la flore marines benthiques dans la région marseillaise. *Techn. Sci. Municipales, Fr.*, 61 (7) : 285-292
- Bender D., Diaz-Pulido G., et S. Dove S. 2014. The impact of CO2 emission scenarios and nutrient enrichment on a common coral reef macroalga is modified by temporal effects. *The Journal of Phycology*, (50), (2014), 203-215
- Bengtsson J. 1998. Which species ? What kind of diversity ? Which ecosystem function ? Some problems in studies of relations between biodiversity and ecosystem function. *Applied Soil Ecology*, 10 (3) : 191-199
- Berday N. 1989. Contribution à l'étude du phytobenthos de la zone littorale de la région d'El Jadida. Thèse de 3ème cycle. Fac. Sc. Rabat.
- Bernard O. 2011. Livre Turquoise. Algues, filières du futur. Editions AdebioTech, Romainville, 161 p.
- Berrit G.R. 1952. Esquisses des conditions hydrologiques du plateau continental du Cap Vert à la Gambie. *Bulletin IFAN, série A, Tome XIV, n°3*, p. 735-762.
- Billen G., Silvestre M., Grizzetti B., et al., 2011. Nitrogen flows from European watersheds to coastal marine waters. In: *The European Nitrogen Assessment*, ed. M. A. Sutton M. A., Howard C. M., J. W. Erismann J. W., et al., 2011. Cambridge University Press., chapter 13, (2011): 271-297
- Blandin P. 2009. Protection de la nature au pilotage de la biodiversité, Versailles, Quae, 124 p.
- Blunt J.W., Copp B.R., Hu W.-P., Munro M.H.G., Northcote P.T., Prinsept M. R. 2007. Marine natural products. *Nat. Prod. Rep.*, vol 24, p. 31-86.
- Bodard M. 1966. Première liste des espèces d'algues présentes sur la pointe de Sarène (Sénégal), *Notes africaines IFAN n° 111, Juillet 1966*. 81-89
- Bodard M. 1971. Etude de la flore marine de la Petite Côte sénégalaise. *Doc. Int. ORSTOM (polygr.)*, 62p.
- Bodard M. et Mollion J. 1974. La végétation infralittorale de la Petite Côte sénégalaise. *Soc. Phycol. de France, Bull.* 19, 1974, 193-221.
- Bodian M. Y., Ayessou N. C. M., Clisse M., Ndiaye C., Noba K., 2017. Nutritional composition of *Meristotheca senegalense* (Rhodophyta) : A new nutrient source. *African Journal of food Science*, Vol. 11, N°1, 12-17
- Bodian M. Y., Rasmussen R., Sambou B., Ba A. T. et Samb P. I. 2003. Contribution à la systématique et à la connaissance des algues marines du Sénégal. (*Document personnel non publié*).

- Bodian M.Y. 2000. Systématique et biologie des algues macrophytes collectées pendant la période hivernale dans la zone incluant Dakar et la Petite Côte. *Mémoire de D.E.A. Faculté des Sciences et Techniques - Université Cheikh Anta Diop de Dakar.*
- Boström C., Pittman S., Simenstad C., R. Kneib R. 2011. Seascape ecology of coastal biogenic habitats: advances, gaps, and challenges. *Marine Ecology Progress Series* 427 (2011): 191-217
- Boudouresque C. F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Rutton S., Tunesi L. 2012. Protection and conservation of *Posidonia oceanica* meadows. Ramoge pub. Monaco. 200p.
- Boudouresque C.F., 1995. La biodiversité marine en Méditerranée : état des espèces, des populations et des peuplements. Document d'information (UNEP(OCA)/MED WG100/inf.3) de la Réunion d'experts sur les espèces menacées en Méditerranée organisée par le CAR/ASP à Montpellier, France du 22 au 25 novembre 1995, 35 pp.
- Brownlee L., Fairclough A., Hall A., Paxman J. 2012. The potential health benefits of seaweed and seaweed extract. In: *Marine Biology*, Nova Science Publishers, New York, 119-136.
- Brush M. J., & Nixon S. W. 2010. Modeling the role of macroalgae in a shallow sub-estuary of Narragansett Bay, RI (USA). *Ecological Modelling*, 221, (2010): 1065-1079
- Burkepile D. E. & Hay M. E. 2006. « *Herbivore Vs Nutrient control of marine primary producers* », *Ecology*, 87 (12) (2006): 3128-3139
- Cabioch J., Floc'h J.-Y., Le Toquin A., Boudouresque C.-F., Meinesz A., verlaque M. 2006. Guide des algues des mers d'Europe. Delachaux et Niestlé SA.
- Cabioch J., Floc'h J.-Y. Boudouresque C.-F., Meinesz A., Verlaque M. 1992. Guide des algues des mers d'Europe, Delachaux et Niestlé S. A.
- Cahill PL., Hurd CL., Lokman M. 2010. Keeping the water clean - Seaweed biofiltration outperforms traditional bacterial biofilms in recirculating aquaculture. *Aquaculture* 306:153–159. doi: 10.1016/j.aquaculture. 2010.05.032
- Callicott J. B. 2013. L'esthétique de la terre in Leopold A. 2013. La conscience écologique, trad. Madelin P., textes réunis par Génot J.C. et Vallauri D., Marseille, Editions Wildproject. 213-226.
- Cavanaugh K., Siegel D., Reed D. et Dennison P. 2011. Environmental controls of giant-kelp biomass in the Santa Barbara Channel, California. *Marine Ecology Progress Series*, (429) (2011), 1-17
- Cazaubon A. 1990. Diatomées benthiques et en dérive d'un cours d'eau méditerranéen, deux communautés distinctes ? Ouvrage dédié à H. Germain, Koeltz (1990) : 19-26
- CEVA, 2011. La biodiversité algale au service du développement économique de Mayotte. Tome 1 : Etude préliminaire sur la biodiversité algale existante. 125p

- Chevalier A. 1920. Exploration botanique de l'Afrique Occidentale Française. Tome 1. Énumération des plantes récoltées. Algae : 785-789 (dét. P. Hariot), Paris.
- Chopin T., Sharp G., Tamba A. et Sow A. 1993. Valorisation des algues pour les industries agro-alimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques. Actes du colloque de Chicoutimi : Valorisation de la biomasse végétale par les produits naturels, 22 - 25 mars (1993) : 167-181
- Chouikhi A. 2013. Les applications potentielles des macroalgues marines et les activités pharmacologiques de leurs métabolites : Revue. USTHB-FBS-4th International Congress of the Populations & Animal Communities "Dynamics & Biodiversity of the terrestrial & aquatic Ecosystems" [CIPCA4] TAGHIT (Bechar) – ALGERIA, 19-21 November, 2013.
- Chung I. K., Beardall J., Mehta S., Sahoo D., And Stojkovic S. 2011. Using marine macroalgae for carbon sequestration: a critical appraisal. *Journal of Applied Phycology*, 23 (2011): 877-886.
- Chung I. K., Oak J. H., Lee J. A., Shin J. A., Kim J. G., and Park K. S. 2013. Installing kelp Forest/seaweed beds for mitigation and adaptation against global warming: Korean Project Overview. – *ICES Journal of Marine Science*, 70 (2013): 1038-1044
- Clark R. B. 1986. *Marine pollution*. Oxford Univ. Press publ., Oxford : xiii + 215 pp.
- Conrad C., et Hitchley K. 2011. A review of citizen science and community-based environmental monitoring: issues and opportunities. *Environment Monitoring Assessment*, 176, (2011) : 273-291
- Consultants associés, 2006. Etude de marché : projet d'exploitation des algues marines. République du Sénégal – African Development Fondation. Juin 2006. 36p.
- Copejans E. 1995 *Flora Algologique des Côtes du Nord de la France et de la Belgique*. Meise: Jardin Botanique National de la Belgique.
- Cornish M. L., and Garbary D. J. 2010. Antioxydants from macroalgae: potential applications in human health and nutrition. *Algae*, 25 (4) (2010): 155-171
- CRODT, 1991. Projet de recherche - Etude physique du plateau continental du Sénégal et de la Gambie : bathymétrie, sédimentologie, géomorphologie et hydrologie. CRODT/ISRA. Novembre 2001. 20p
- Dangeard P. 1952. Algues de la Presqu'île du Cap Vert (Dakar) et ses environs. *Le Botaniste* : série XXXVI, Fascicule I-VI.
- De Reviere B. 2002. *Biologie et phylogénie des algues*, vol. 1 : *tome 1*, Paris, Belin, coll. «Belin Sup Sciences / Biologie», 2002. 352p.
- De Reviere B. 2003. *Biologie et phylogénie des algues*, vol. 2 : *tome 2*, Paris, Belin, coll. «Belin Sup Sciences / Biologie», 2003. 256p.

- Delebecq G. 2011. Impact des facteurs hydroclimatiques sur la production primaire des macroalgues. Doctorat. ED Sciences de la Matière, du Rayonnement et de l'Environnement, Université de Lille 1.
- Dème-Gningue I. 1985. Les algues marines du Sénégal. Etude de leur action fertilisante en cultures maraîchères. Thèse de doctorat de 3^{ème} Cycle de chimie. Faculté des Sciences, UCAD.
- Diallo A. K. 1989. La pollution marine dans la baie de Hann. Mémoire de fin de 2^{ème} Cycle. Ecole d'Architecture et d'Urbanisme (EAU), Dakar, (1989) 48p.
- Diédhiou I. 2011. Contribution à la connaissance de la biodiversité des algues macrophytes marines du Sénégal, cas des îles de Dakar : Gorée, Madeleines, Ngor et Yoff tonghor. Mémoire de Master de Taxonomie, Biodiversité, Ethnobotanique et Conservation des ressources naturelles. Faculté des Sciences et Techniques. UCAD-Dakar.
- Diop E. S., Soumaré A., Diouf P. S. 1999. A Perspective of integrated management of a tropical coastal area: the case of the Saloum Biosphere Reserve (Senegal - West Africa). *in Coastal Management International Journal of marine environment, resources, law and society – Vol.27 n°4; 27: 317-328*
- Diop N., Diop H. et Diouf P. S. 2016. Scénarii d'évolution de la pêche en relation avec les scénarii et les modèles climatiques. Préparé par l'équipe de consultants dans le cadre du processus d'élaboration du plan national d'adaptation – pêche face aux changements climatiques horizon 2035. COMFISH, DPM, DEEC, 31 p.
- Domain F. 1976. Carte sédimentologique du plateau continental sénégalien. Extension à une partie du plateau continental de mauritanien et de la guinée Bissau. ORSTOM ed ; Paris, notice explicative N° 68. 17p.
- Domain F. 1977. Carte sédimentologique du plateau continental sénégalien : 3 feuilles, 1 notice. ORSTOM, Paris, 17 p.
- Domain F. 1980. Contribution à la connaissance de l'écologie des poissons démersaux du plateau continental sénégal-mauritanien : Les ressources démersales dans le contexte général du Golfe de Guinée. Thèse Doctorat d'état en Sciences Naturelles, Université Pierre et Marie CURIE-Paris VI, 342 p + annexes.
- Dring M. J. 1988. Photocontrol of development in algae. *Ann. Rev. Pl. Physiol.* 39 (1988) 157-174
- El-Fatimy E.S. and Said A.A.-M. 2011. Antibacterial Activity of Methanolic Extract of Dominant Marine Alga (*Padina pavonia*) of Tolmeta Coasts, Libya. *Journal of American Science*, vol 7(4), p. 745-751
- Elmtili N., Fakihi Kachkach F. Z. et El Harchi M. 2013. Les algues marines : nouvelles potentialité économique pour le Maroc. Quelle stratégie biotechnologique ? *Cahiers UAE*, 8-9, (2013) : 1-7

- El-Sheekh M.M. and El-Saied A.E.D.F. 2000. Effect of crude seaweed extracts on seed germination, seedling growth and some metabolic processes of *Vicia faba* L. *Cytobios*, vol 101(396), p. 23-35
- Engelen A. H., Lévêque L., Destombe C., Valero M. 2011. Spatial and temporal patterns of recovery of low intertidal *Laminaria digitata* after experimental spring and autumn removal. *Cahiers de Biologie Marine*, 52 (2011) 441-453
- FAO, 2004. L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde 2004.
- FAO, 2013. Situation des Pêches et de l'Aquaculture. Rapport SOFIA, 2013.
- FAO, 2014. Situation mondiale des Pêches et de l'Aquaculture. Rapport SOFIA, 2014.
- Felli R. 2008. Les deux âmes de l'écologie : une critique du développement durable. Paris, L'Harmattan, 102 p.
- Floc'h J.-Y. et Leclerc V. 2010. Le secret des algues. Collection Carnets et Sciences. Editeur Quae, 2010. 168p.
- Fofana C. 1989. La problématique de l'environnement au niveau de la baie de Hann. Mémoire de Diplôme de l'Ecole Nationale d'Economie Appliquée (ENEA) (1989) 68p.
- Fostier A. H. 1989. Contribution à la valorisation d'algues des côtes Sénégalaises. Thèse de Doctorat mention Océanologie. Université de Perpignan. France (1989).
- Fostier A. H., Kornprobst J.M. & Combaut G. 1992. Chemical composition and rheological properties of carrageenans from two Senegalese Solieriaceae *Anatheca montagnei* Schmitz and *Meristotheca senegalensis* Feldmann. *Botanica Marina* 35 : 351-355
- Gayral Mme P. 1958. Algues de la côte atlantique marocaine. *La Nature au Maroc II*, Rabat. 33
- Gayral P. 1975. Les algues : Morphology, Cytologie, Reproduction, Ecologie. DOIN Editeur, Paris, 166
- Gailhard I. 2003. Analyse de la variabilité spatio-temporelle des populations de microalgues côtières observées par « réseau de surveillance du phytoplancton et des phycotoxines » (REPHY). Thèse de doctorat de l'Université de Méditerranée, Aix-Marseille II. Spécialité Sciences de l'Environnement marin. 178p + annexes.
- Geoffroy A. 2012 Diversité génétique et délimitation d'espèces par des approches conjointes de barcoding et de génétique des populations : application à l'identification d'espèces d'algues marines nouvellement cultivées. These de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie. 175p.
- Gerlotto F., Stequert B., Brugge, W.J. 1979. La pêche maritime en Afrique de l'Ouest : La pêche au Sénégal, in la pêche maritime, n°1211, p.1-12

- Ghasemi Y., Moradian A., Mohagheghzadeh A., Shokravi S. and Morowvat M.H., 2007. Antifungal and Antibacterial Activity of the Microalgae Collected from Paddy Fields of Iran: Characterization of Antimicrobial Activity of *Chroococcus dispersus*. *Journal of Biological Sciences*, vol 7, p. 904-910. <http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/jbs/2007/904-910.pdf>.
- Greentech. 2010. XCELL-30®: A marine active for cellular cohesion and skin regeneration. *Phytobioactives*. 4 p.
- Guèye M., Ba N., Bodian M. Y., Mbaye M. S., Bassène C., Kane M., Noba K., Ngom A. 2014. Les Cyanophyceae marines de l'île de Ngor (Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 8(1): 144-156.
- Guèye M. F. 2015. Les macroalgues de trois sites marins de Dakar [Parc national des îles de la Madeleine (PNIM), Soumbédioune et Terrou-bi] : caractérisation et variation temporelle. Master de taxonomie, biodiversité, ethnobotanique et conservation des ressources naturelles. 47p
- Guiry M. D., and Guiry G. M. 2014. *Algaebase*, World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway.
- Guiry M.D. and Blunden G. 1991. *Seaweed resources in Europe: uses and potential*. John Wiley & Sons : Chichester. ISBN 0-471-92947-6. XI, 432 pp.
- Goulard J. 1961. *Les Algues qui guérissent : Les bains d'algues marines, les traitements externes à base d'algues et leurs effets, rhumatismes, cellulite*. Reliure inconnue. Editeur : Société Naturaliment. impr. M. Brient. 71p
- Hanif N., Chair M., Idrissi M. C. et Naoki T. 2014. L'exploitation des algues rouges dans la région d'El-Jadida : aspects socio-économiques et perspectives. *Afrique Sciences* 10(1) (2014). 103-126
- Harper J. T. et Garbary D. J. 1997. Marine algae of Northern Senegal: The flora and its biogeography. *Botanica Marina, Vol 40*, 1997: 129-138.
- Hernandez-Guerrero C. J., Casas-Valdez M., Ortega-Carcia S., Hernandez-Vasquez S. 2000. Effet of climatic variation on the relative abundance of the red alga *Gelidium robustum* in Baja California Sur. *Mexico Journal of Applied phycology*, 12 : 177-183
- Iltis A. 1980. Les algues. in : DURAND JEAN-RENE (ED.), LEVEQUE CHRISTIAN (ED.). *Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne : tome 1*. Paris : ORSTOM, 1980, (44), p. 9-61. (Initiations-Documentations Techniques ; 44).
- Ito M., Tanaka H. and Osumi K. 2005. NMF production promoter. JP2005139116, issued 06/02/2005.
- John D. M., Prud'homme van Reine W.F., Lawson G.W., Kostermans T. B. & Price J. H. 2004. A taxonomic and geographical catalogue of the seaweeds of the western coast of Africa and adjacent islands. *Beihefte zur Nova Hedwigia* 127: 1-339

- Kamei I., Noro T. and Matsumoto Y. 2000. Skin preparation for external use, skin-beautifying cosmetics and retarder for melanin formation. JP2000212025, issued 08/02/2000.
- Kamei I., Torii K. and Okano Y. 2004. Melanin producing accelerator, and skin and hair preparation for external use containing the same. JP3604258, issued 10/08/2004.
- Kawai N., Naitou T., Kou H., Matahira Y. and Yura H. 1999. Antimicrobial and antiseptic agent containing extract of seaweed. JP11180813, issued 07/06/1999.
- Klein J. & Verlaque M. 2008. *Marine Pollution Bulletin* 56 : 205-225
- Kyle D.J. and Linsert H. Jr. 2011. Methods of treating neurological diseases using docosahexaenoic acid and arachidonic acid compositions. US20110015160, issued 01/20/2011. <http://www.freepatentsonline.com/y2011/0015160.html>.
- Lagourgue L. 2015. Etat des lieux de la science participative sur les algues et proposition de voies d'utilisation et de valorisation des données intrantes. Mémoire de Maîtrise en Environnement. Double diplôme avec l'Université Montpellier. Master en Gestion intégrée de l'Environnement de la Biodiversité et des Territoires (GIEBioTe), 2015. 156p.
- Lahaye M., Rochas C. and Yaphe W. 1985. A new procedure for determining the heterogeneity of agar polymers extracted in the cell walls of *Gracilaria* spp. (Gracilariaceae, Rhodophyta). *Canadian Journal of Botany*. 64, 579-585
- Lavoie I., Vincent W.F., Pientz R., Painchaud J. 2003. Effet du débit sur la dynamique temporelle des algues périphytiques dans une rivière influencée par les activités agricoles. *Revue des Sciences de l'eau* 16, (2003) 55-77
- Lawson G.W., John D.M., 1987. The marine algae and coastal environment of tropical West Africa (second edition). J. Cramer publ., Berlin, Allemagne : 1-415
- Le Grenelle de la Mer, 2009. Le Livre Bleu des engagements du Grenelle de la Mer - 10 et 15 juillet 2009. 77 p.
- Leclerc V., & J.-Y. Floc'h J.-Y. 2010. Les secrets des algues, Carnets de Sciences, Éditions Quae
- Leclercq S., Pages J., Suisse de Sainte Claire E. 1984. Recherche sur la production de méthane à partir d'algues marines. Cas des algues de la Petite Côte du Sénégal, Laboratoire de microbiologie ORSTOM-ENSUT, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Ecole Nationale Supérieure Universitaire de Technologie (1984), 20p
- Levine H. G. 1984. The use of seaweeds for monitoring coastal waters. *Algae as Ecological Indicators*. Academic Press, London (1984): 189-210
- Levrel H., Fontaine B., Henry P. Y., Jiguet F., Julliard R., Kerribou C., et Couvet D. 2010. Balancing state and volunteer investment in biodiversity monitoring for the implementation of CBD indicators: A French example. *Ecological Economics*, (69), (2010): 1580-1586

- Levring T., H.A. Hoppe and Schmid O.J. 1969. Marine Algae. Botanica Marina, Hambourg.
- Liu X.Y., Liu X. Z., Xiao T. & Chen D. 1983. Fermented *Laminaria* blades as feed for raising marine animals. XIth internat. Seaweed Symp. Quintao.
- Lu Z.-Y., Zhu W.-M., Gu Q.-Q., Liu P.-P., Liu M.-X., Guo J. and Guan H.-S. 2007. Anti-tumor activity screening of methanol extracts of marine microalgae in vitro. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, vol inconnu, pages inconnues. http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTALHYFZ200705011.htm.
- Lukowski G., Juelich W.-D., Lindequist U. and Mundt S. 2011. Micro/Nanoparticle obtained from lipid-containing marine organisms for use in pharmaceuticals and cosmetics. EP1480661, issued 04/13/2011.
- Luning K., 1990. Seaweeds; their environment, biogeography and ecophysiology. John Wiley 1 sons publ., New York, USA : i-xiii + 1-527
- Makhoukh M, Sbaa M. A., Berrahou M., Van Clooster M. 2011. Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental). *Larhyss Journal*, (09), (2011): 149-169
- Malea P., Kevrekidis Y., Potouroglou M. 2013. Seasonal variation of trace metal (Mn, Zn, Cu, Pb, Co, Cd) concentrations in compartments of the seagrass *Cymodocea nodosa*. *Bot. Mar.* 56(2) : 169-184
- Manilal A., Sujith S., Sabarathnam B., Seghal Kiran G., Selvin J., Shakir C. and Lipton A.P. 2010. Bioactivity of the red algae *Asparagopsis taxiformis* collected from the southwestern coast of India. *Brazilian Journal of Oceanography*, vol 58(2), p. 93-100.
- Margulis L. 1996. "Archaeal-eubacterial mergers in the origin of Eukarya: phylogenetic classification of life.". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 93 (3) : 1071–1076.
- Mathieu C. 1990. Micro-atlas des pêches au Sénégal. Document scientifique du CRODT-ISRA, n°124. 82p.
- Matsushita H., Ito M., Kosugi N., Osumi K., Katada T. and Nakada S. 2004. Whitening cosmetic. JP2004067618, issued 03/04/2004.
- Mbaye A. 1982. Existe t-il une relation entre le pouvoir gélifiant de carraghen de *Hypnea ceramioides* et sa teneur en sulfates. Mémoire de fin d'études. Centre des techniciens des pêches maritimes. 1982
- McHugh D. J. 2003. "A Guide to the Seaweed Industry". Food and Agriculture Organisation. United Nations. Fisheries Technical Paper 441, Rome, Italy, 123 p.
- McHugh D. J., 2002. Prospects for seaweed production in developing countries. *FAO Fisheries Circular*. N°968. Rome, FAO (2002).
- Meinesz A. 2011. Comment la vie a commencé : *Les trois genèses du vivant*. Belin, nouvelle édition 2011.

- Meinesz A., Thibaut T., Mangialojo L. 2013. Conservation and restoration of marine forest in the Mediterranean Sea and the potential role of Marine Protected Area. *Adv. Oceanogr. Limnol.*, 4 (2) (2013): 83-101
- Meland M., & Rebours C. 2012, The Norwegian seaweed industry, Work package 1 & 2. Agrocampus ed.
- MEMTMI, 2006. Rapport des Journées de Réflexion sur le Développement de la Filière Algues marine au Sénégal. République du Sénégal, Ministère de l'Économie maritime et des Transports maritimes internationaux.
- Michaud Y. 2006. *Qu'est-ce que la diversité de la vie*. Collection Université de tous les savoirs, édition Odile Jacob, 416 p.
- Mollion J. 1986. Etude de la répartition des algues dans la baie de Gorée. Etude de l'environnement côtier au sud du Cap-Vert. Dakar. Rapport interne du CRODT (1986) : 150-156
- Mollion J. 1979. Exploitation des algues au Sénégal : Situation actuel et perspectives. *Bull. Assoc. Avancement Sci. nat. Sénégal* 67.
- Mollion J. 1975a. Etude quantitative d'une formation végétale marine de l'infra littoral supérieur au Sénégal. *Bulletin de l'IFAN*, 37 (3) (1975) : 537-554
- Mollion J. 1975b. La végétation littorale et infralittorale de la petite côte sénégalaise. Mémoire de DEA, Université de Lille 1. 62p.
- Mollion M. J. 1973. Etude préliminaire des *Hypnea* au Sénégal comme source de phycocolloïdes. *Botanica Marina*, Vol. XVI, (1973) 221-225
- Mouradi-Givernaud A., Hassani L. A., Givernaud T., Lemoine Y., Benharbet O. 1999. Biology and agar composition of *Gelidium sesquipedale* harvested along the Atlantic coast of Morocco. *Hydrobiologia* : 391-395.
- Mourtsen O. G. 2013. Seaweeds: edible, available and sustainable. Univ. Chicago Press ed., Chicago, 304 p.
- Murakami Y., Nisizawa K. & Awaya K. 1983. Utilization of bursted algal meal as feed for domestic animals and fowls. XIth internat. Seaweed Symp. Quingtao.
- Nakahara T., Doi K., Tanaka S. and Miyasaka H. 2010. Algae extract having whitening effect. JP2010013413, issued 01/21/2010.
- Ndao M., Bodian M.Y., Noba K. 2017a. Exploitation de l'algue rouge *Meristotheca senegalense* dans la région de Dakar (presqu'île du Cap-Vert). *Revue Afrique Science*, 13 (1) (2017) 235 – 244.
- Ndao M., Bodian M.Y., Noba K. 2017b. Diversité des algues macrophytes marines du littoral centre du Sénégal. *Revue Afrique Science* 13 (3) (2017) 287 – 296.

- Netalgae, 2012. "La filiere des macro-algues en France". Projet Netalgae - Interreg IVb. Rapport WP1 et 2. Les publications du Pole halieutique Agrocampus Ouest n° 9.
- Niang N. A. 2003. L'Environnement physique côtier et marin et ses implications pour la pêche artisanale : Approche bibliographique et par enquêtes auprès des pêcheurs (cas de la petite côte), Mémoire DEA Chaire UNESCO/UCAD, 73 p.
- Niang N. A. 2009. Dynamique socio-environnementale et développement local des régions côtières du Sénégal : l'exemple de la pêche artisanale. Thèse de Doctorat de Géographie. Université de Rouen. 301 p.
- Niang-Diop I. 1996. L'érosion sur la petite côte du Sénégal à partir de l'exemple de Rufisque. Passé - Présent – Futur. Thèse pour le grade de Docteur de l'Université d'Angers, en géologie littorale. *ORSTOM éditions Paris* (1996) 157p.
- Ninomiya M., Matsuka S., Kawakubo A. and Mifuji N. 1998. 12-lipoxygenase inhibitor, functional food and food additive. JP10203973, issued 08/04/1998.
- Ogaw H. 1983. Development in Hydrobiology. Eleventh International Seaweed Symposium, 19-25 : 390-400.
- Omezzine F., Haouala R., El Ayeb A. and Boughanmi N. 2009. Allelopathic and antifungal potentialities of *Padina pavonica* (L.) extract. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, vol 14, p. 94-203.
- ONEM, 1998. Etude nationale sur la biodiversité : *Algues marines*. Observatoire Nationale de l'Environnement du Maroc (ONEM). Direction de l'Observation, des Etudes et de la Coordination. Royaume du Maroc.
- Oppliger L. V., Correa J. A., Engelen A. H., Tellier F., Vieira V., Faugeron S., Valero M., Gomez G., & Destombe C. 2012a. Temperature effects on gametophyte life-history traits and geographic distribution of two cryptic kelp species, *PLoS ONE* 7(6) (2012) e39289
- Oppliger L. V., Correa J. A., Engelen A. H., Tellier F., Vieira V., Faugeron S., Valero M., Ayerdi P., Gomez G., Destombe C. 2012b. Temperature effects on life-history traits and geographic distribution of the kelp species complex *Lessonia nigrescens*, *PLoS One* 7(6) (2012): e39289
- Pereira L. 2016. Edible seaweeds of the world. Science Publishers, an Imprint of CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Pereira L., 2013. Edible seaweeds of the world. Science Publishers, an Imprint of CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 453 p.
- Pereira T. R., Engelen A. H., Pearson G., Serrão E., Destombe C., And M. Valero M. 2011. Temperature effects on gametophyte development of *L. ochroleuca* and *S. polyschides*, kelps with contrasting life histories, *Cahiers de Biologie Marine*, 52 (2011) 395-403

- Perez R. 1997. Ces algues qui nous entourent. Conception actuelle, rôle dans la biosphère, utilisations, culture. Éd. IFREMER, 272pp
- Person J. 2010. Livre Turquoise. *Algues, filières du futur*. Éditeur Adebitech. 182 p.
- Person J., Mathieu D., Sassi J.-F., Lecurieux-Belfond L., Gandolfo R., Boyen C., Lépine O., Pruvost J., Potin P., Deslandes E., Chagvardieff P., Findeling A., Legrand J., Cadoret J.-P. and Bernard O. 2011. Livre Turquoise. *Algues, filières du futur*. Editions Adebitech, Romainville, 161 p.
- Pettersen E.M. 2010. Lubricant composition and methods of manufacture thereof. WO/2010/036892, issued 04/01/2010. <http://www.freepatentsonline.com/WO2010036892A2.html>.
- Philippe M. 2013. Récolte des algues de rive. Guide des bonnes pratiques. Projet cofinancé par Inter Bio Bretagne, France Agrimer, le Conseil régional de Bretagne, le Fonds européen pour la Pêche, le Conseil général des Côtes d'Armor, le Parc naturel marin d'Iroise et le Conseil général du Finistère. 54p.
- Rajasimman M. And Murugaiyan K. 2011. Sorption of Nickel by *Hypnea Valentiae*: Application of Response Surface Methodology, World Academy of Science, Engineering and Technology, (2011) : 7-1
- Ramos E., Puente A., Juanes J. A., Neto J. M., Pedersen A., Bartsch I., Scanlan C., Wilkes R., Van Den Bergh E., Gall E. A., Melo R. 2014. Biological validation of physical coastal waters classification along the NE Atlantique region based on rocky macroalgae distribution. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 147 (2014) 103-112
- Rebert J. P. 1979. Hydrologie et dynamique des eaux du plateau continental sénégalais. Document Scientifique, CRODT/ISRA, Dakar, 99 p.
- Rebert J. P., Prive M. 1974. Observation du courant, le plateau continental sénégalais du Cap-Vert au Cap Roxo. Campagne 74, Archive N° 4, CRODT.
- Rebert J.P., Donnanierusky S. 1976. Hydrologie et courantométrie sur le plateau continental sénégalais en période d'hivernage. Résultats d'observation de la campagne du N.O. VAJDA-CRODT-ISRA, Archive N° 50, 35 p.
- Robuchon M. 2014. Étude spatio-temporelle de la biodiversité des forêts de laminaires des côtes bretonnes par une approche intégrée de génétique des populations et d'écologie des communautés, Thèse de doctorat du Museum national d'histoire naturelle, (2014). 134p
- Rossignol M., Aboussouan M.T. 1965. Hydrologie marine et côtière de la Presqu'île du Cap-Vert, contribution à l'étude de la productivité des eaux. CRODTORSTOM, 156 p.
- Roy C. 1991. "Les upwellings : le cadre physique des pêcheries côtières ouest-africaines". In : Cury P., Roy C.(éd.) : Pêcheries ouest-africaines. Variabilité, instabilité et changements. Paris, Orstom: 38-65.
- Saleh M.A., Abdel-Moein N.M., Ibrahim N.A. 1984. Insect antifeeding azulene derivative from the brown alga *Dictyota dichotoma*. *J. Agric. Food Chem.*, vol 32(6), p. 1432-1434.

- Sambou M. Y., Sow M., Sambou S., Mane F., Camara N., Gallo A. G., Faye L. C., Mandiamy G. I., et Cisse A. 2012. Analyse de la vulnérabilité des communautés côtières et stratégies d'adaptation au changement climatique dans les CLPA de Rufisque/Bargny, Sindia et Joal/Fadiouth, Projet USAID /COMFISH, 143 p.
- Sato E., Niwano Y., Matsuyama Y., Kim D., Nakashima T., Oda T. and Kohno M. 2007. Some Dinophycean Red Tide Plankton Species Generate a Superoxide Scavenging Substance. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, vol. 71, p.704-710.
- Sato J., Kumagai N., Watanabe M. 2009. Quantitative calculation method combined with aerial photographs and satellite images for seagrass beds analysis. Announcement report on 53rd Meeting of Hokkaido Development Technology Research. Japan, 2009.
- Sato J., Watanabe M., Yamamoto J. 2010. Attempts of the secular change calculation on seaweeds biomass by the image analysis. Monthly report of Civil Engineering Research Institute for Cold Region. Japan, No. 690, 2010.
- Saunders G. W. 2005. Applying DNA barcoding to red macroalgae: a preliminary appraisal holds promise for future applications. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 360, 1879.
- Saunders G. W. and Lehmkuhl K. V. 2005. Molecular divergence and morphological diversity among four cryptic species of *Plocamium* (Plocamiales, Florideophyceae) in northern Europe. *European Journal of Phycology* 40, 293-312.
- Saunders G. W., Kucera, H. 2010. An evaluation of *rbcL*, *tufA*, UPA, LSU and ITS as DNA barcode markers for the marine green macroalgae. *Cryptogamie. Algologie* 31, 487-528.
- Sauvageau C., 1920. Utilisation des algues marines. Encyclopédie scientifique publiée sous la direction du Dr Toulouse. Gaston Doin et Cie, éditeurs à Paris.
- Seck A. A. 1996. Le peuplement des mollusques et des polychètes du littoral de Dakar (Baies de Hann et de Soumbédioune). Impact et conséquences des perturbations du milieu sur la structure. Thèse de Doctorat de troisième cycle. Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
- Seck A. A. 1996. Le peuplement des mollusques et des polychètes du littoral de Dakar (Baies de Hann et de Soumbédioune). Impact et conséquences des perturbations du milieu sur la structure. Thèse de Doctorat de troisième cycle. Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
- Serris J. 2013. Les ressources marines in : *Responsabilité & Environnement*. Revue n° 70 avril 2013. Annales des Mines. Editions ESKA.
- Sidibe I. 2013. Un territoire littoral dans l'espace politique, économique et religieux du Sénégal. *Espace populations sociétés*, 2013/1-2 (2013), 159 - 176
- Smit A.J. 2004. Medicinal and pharmaceutical uses of seaweed natural products: A review. *Journal of Applied Phycology*, vol 16, p. 245-262.

- Sourie P. 1954. Contribution à l'étude écologique des côtes rocheuses du Sénégal. *Mem. Inst. Fr. Afr. Noire* 38 : 1-342.
- Spore, 2005. Cultiver la mer. Spore n° 120. Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA), Wageningen, The Netherlands.
- Sunarpi Jupri A., Kurnianigsih R., Julisaniah N. I., Nikmatullah A. 2010. Effect of seaweed extracts on growth and yield of rice plants, *Bioscience*, 2 (2) (2010): 73-77
- Sunarpi Jupri A., Kurnianigsih R., Julisaniah N.I., Nikmatullah A. 2010. Effect of seaweed extracts on growth and yield of rice plants. *Bioscience*, vol 2(2), p. 73-77.
- Suzuki K., Onishi Y. and Takagaki K. 2008. Method for producing vitamin B12, and material for producing vitamin B12. JP2008193982, issued 08/28/2008. <http://www.freepatentsonline.com/JP2008193982.html>.
- Tamba A. 1992. Projet algue rouge. Rapport d'activité - SOS environnement. CRDI, (1992).
- Tamba A., Sharp G. et Chopin T. Rapport final du projet de valorisation des algues rouges du Sénégal ref : 90-1024 CRDI.
- Teisson C. 1982. Application de la théorie d'EKMANN à l'étude des courants et des remontées d'eau profondes le long des côtes sénégalaises, ORSTOM, 106 p.
- Trochain J. 1940. Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal. - *Mémoires de l'Institut Français d'Afrique Noire. N°2. Librairie Larose*.
- Trono G.C.Jr. 2001. Seaweeds. *In*: Carpenter, K.E. and V.H. Niem (eds.), *The Living Marine Resources of the Western Central Pacific, Vol. 1. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes*. FAO, Rome. 686 p.
- Van Den Hoek C., Mann D.G. and Jahns H. M. 1995. *Algae. An Introduction to Phycology*. Cambridge University Press, Cambridge. 1995, pp. xiv + 623.
- Verlaque M. 1994. Inventaire des plantes introduites en Méditerranée : origines et répercussions sur l'environnement et les activités humaines. *Oceanologica Acta*, 17 (1) : 1-23.
- Vincent V. 1924. Les algues marines et leurs emplois agricoles, alimentaires, industriels. Quimper. Imprimerie Edouard Menez. 114 - 143.
- Vivier H. 1953. Influence du pH d'une eau résiduaire sur la faune piscicole. *L'eau*, N° 9 : 129-136
- Vob M., Baker A., Bange H. W., Coney D. *et al.* 2011. Nitrogen processes in coastal and marine ecosystems. *In*: *The European Nitrogen Assessment*, ed. M. A. Sutton, C. M. Howard, J. W. Erisman *et al.* Cambridge University Press, 8 (2011)
- Wallace B.D., Cunningham A.W., Vickery M.S., Watts S.A. and McClintock J.B. 2010. Understanding early life history strategies during culture of the sea urchin *Lytechinus*

variegatus. Journal of the Alabama Academy of Science.
<http://www.freepatentsonline.com/article/Journal-Alabama-Academy-Science/>

Wattier R. and C.A. Maggs C.A. 2001. "*Intraspecific variation in seaweeds: The application of new tools and approaches*", *ADV BOTAN R*, 35, 2001, pp. 171-212

Wu B.C.-P., Stephen D., Morgenthaler G.A. and Jones D.V. 2010. Systems and methods for producing eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid from algae. US20100236137, issued 09/23/2010. <http://www.freepatentsonline.com/y2010/0236137.html>.

Yamashita Y., Seki T., Okumura Y. and Maeda H. 2004. Antioxidant. JP2004010889, issued 01/15/2004. <http://www.freepatentsonline.com/JP2004010889.html>.

Yenigül M. 1993. Seasonal changes in the chemical and gelling characteristics of agar from *Gracilaria verrucosa* collected in Turkey. *Hydrobiologia* ; 260/261 : 627-631

Annexe 1. Illustration de quelques macroalgues marines récoltées

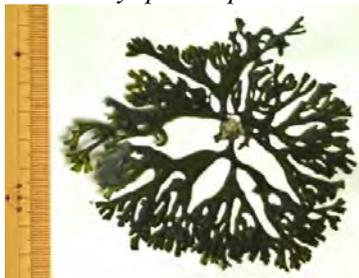
Chlorophyta



Bryopsis duplex



Caulerpa taxifolia



Codium decorticatum



Cladophora pellucida



Enteromorpha fasciculata



Ulva lactuca

Ochrophyta



Dictyota dichotoma



Padina antillarum



Spatoglossum solieri



Sargassum ramifolium



Colponemia sinuosa

Rhodophyta



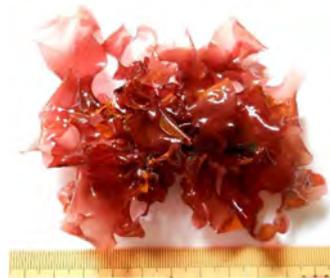
Porphyra umbilicalis



Ceramium cornutum



Gayliella flaccida



Delesseria sp.



Hypoglossum hypoglossoides



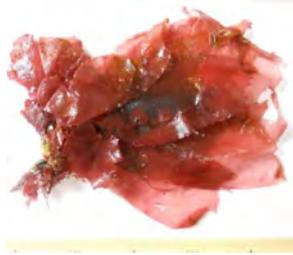
Laurencia obtusa



Polysiphonia atlantica



Corallina officinalis



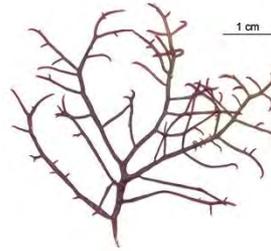
Anatheca montagnei



Caulacanthus ustulatus



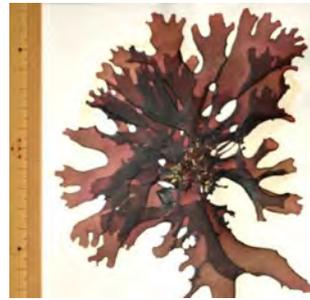
Hypnea musciformis



Chondracanthus acicularis



Sarcodia sp



Meristotheca senegalense



Soliera filiformis



Gelidium corneum



Gracilaria multipartita



Hydropuntia rangiferina



Grateloupia doryphora



Dichotomaria marginata



Scinaia furcellata



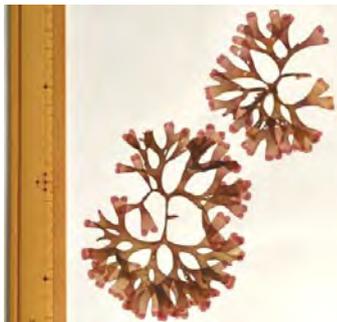
Plocamium cartilagineum



Champia parvula

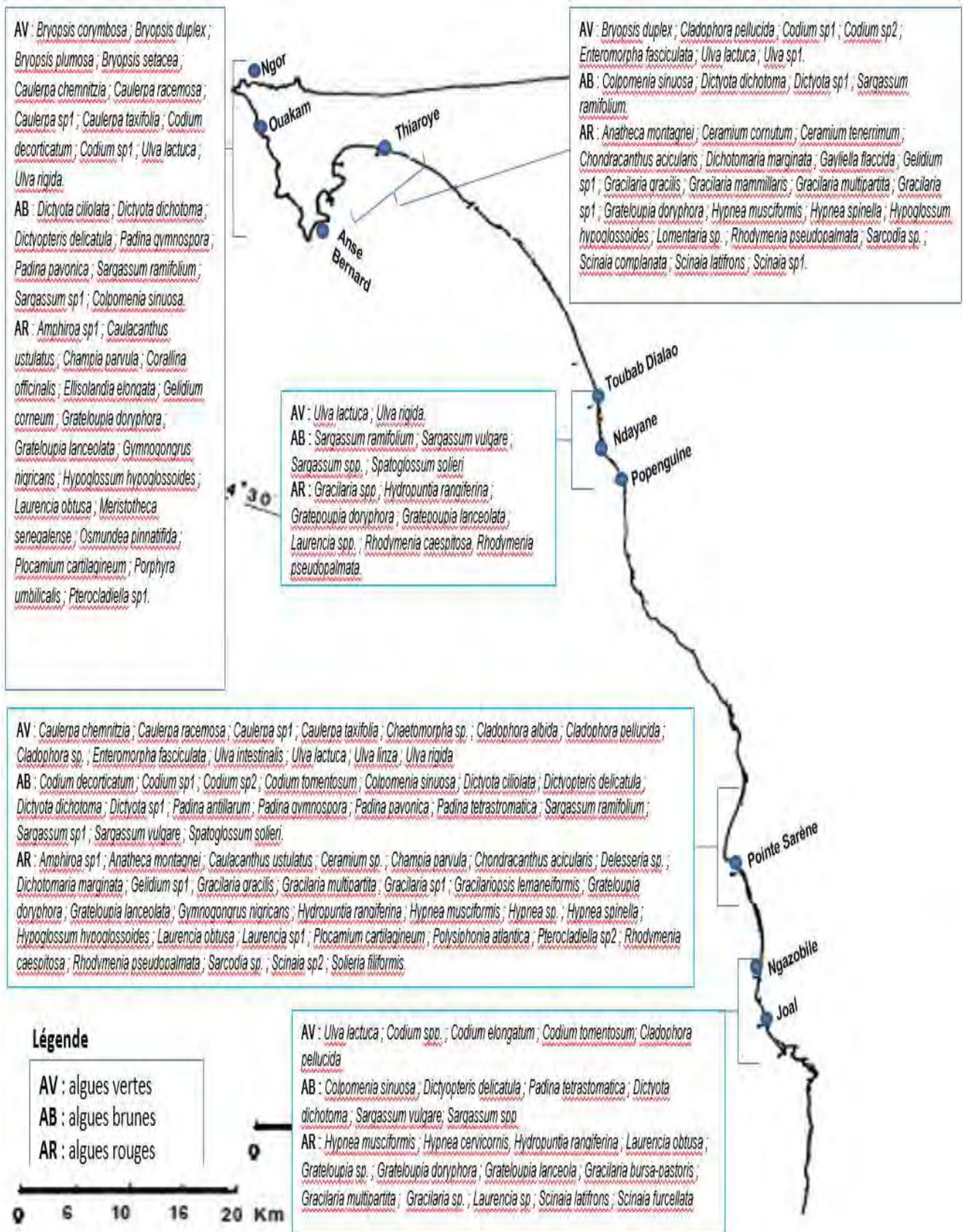


Lomentaria sp.



Rhodymenia caespitosa

Annexe 2. Cartographie de la répartition des algues le long du littoral centre



Annexe 3. Questionnaire

EXPLOITATION DES ALGUES

IDENTIFICATION DES ACTEURS

1. PRENOMS ET NOM

2. SEXE

1. F 2. H

3. SITUATION MATRIMONIALE

1. CELIBATAIRE 2. MARIE(E) 3. DIVORCE(E) 4. VEUF(VE)

4. AGE

1. -18 2. 18-35 3. 35-45 4. 45-60 5. 60+

5. STATUT SOCIO-PROFESSIONNEL

1. PECHEUR 2. MAREYEUR 3. PLONGEUR 4. GUIDE TOURISTIQUE 5. APPRENANT
 6. CHOMEUR 7. MENAGER 8. ALGOCULTEUR 9. AUTRES

6. PROVENANCE

1. YOFF 2. VIRAGE 3. NGOR 4. ALMADIES 5. MAMELLES 6. OUAKAM
 7. SOUMBEDIOUNE 8. ANSE BERNARD 9. HANN 10. THIAROYE 11. DIOCOUL 12. AUTRES

7. ACTIVITE LIEE A L'ALGUE

1. OUI 2. NON

EXPLOITATION

8. DUREE DANS L'ACTIVITE

1. -2 2. 2-4 3. 4-6 4. 6-8 5. 8-10 6. 10+

9. MOTIVATION

1. TROUVER DU TRAVAIL 2. GAGNER DE L'ARGENT 3. PAR AMOUR 4. PAR CURIOSITE
 5. HABITE PRES DE LA COTE 6. AUTRES

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

10. ZONE DE RECOLTE DE L'ALGUE

1. FOND MARIN 2. COLONNE D'EAU 3. RIVAGE

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

11. LOCALITE DE RECOLTE

1. YOFF 2. VIRAGE 3. NGOR 4. ALMADIES 5. MAMELLES 6. OUAKAM
 7. SOUMBEDIOUNE 8. ANSE BERNARD 9. HANN 10. THIAROYE 11. BARGNY 12. DIOCOUL
 13. YENE 14. AUTRES

12. PERIODE DE RECOLTE

1. JAN 2. FEV 3. MAR 4. AVR 5. MAI 6. JUN 7. JUL 8. AOU 9. SEP 10. OCT
 11. NOV 12. DEC

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

13. TECHNIQUES DE RECOLTE

1. PLONGEE 2. ARRACHAGE DE THALLE 3. COUPE PARTIELLE DE RAMEAUX
 4. COUPE TOTALE DE RAMEAUX 5. RAMASSAGE DE L'ECHOUAGE 6. PECHE DANS LA COLONNE D'EAU

14. MATERIELS UTILISES

1. PIROGUE 2. FILET 3. RACLETTE 4. COUTEAU 5. CISEAUX 6. AUTRES

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

SOCIO-ECONOMIE

15. QUANTITE MOYENNE MENSUELLE DE RECOLTE

1. -50 2. 50-100 3. 100-200 4. 200-400 5. 400-600 6. 600-800 7. 800-1000
-

16. PRIX KG ALGUE BRUTE

1. 50 2. 100 3. 150 4. 200 5. 250 6. 300 7. 300+
-

17. REVENU MOYEN OBTENU PENDANT LA SAISON

18. CONTRIBUTION DU REVENU SUR LES CHARGES

1. Sans importance 2. Peu important 3. Assez important 4. Très important

EXPLOITATION DES ALGUES

IDENTIFICATION DE L'ORGANISATION

1. NOM

2. DATE DE CREATION

3. STATUT SOCIO-PROFESSIONNEL

4. SIEGE

5. ACTIVITES

1. EXPLOITATION ALGUE 2. AUTRES

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

EXPLOITATION

6. DUREE DANS L'ACTIVITE

1. -2 2. 2-4 3. 4-6 4. 6-8 5. 8-10 6. 10+

7. MOTIVATION

1. CREATION D'EMPLOIS 2. RECHERCHE DE PROFIT 3. AUTRES

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

8. LIEU D'EXPLOITATION

1. YOFF 2. VIRAGE 3. NGOR 4. ALMADIES 5. MAMELLES 6. OUAKAM
 7. SOUMBEDIOUNE 8. ANSE BERNARD 9. HANN 10. THIAROYE 11. BARGNY 12. DIOCOUL
 13. YENE 14. AUTRES

9. PERIODE D'EXPLOITATION

1. JAN 2. FEV 3. MAR 4. AVR 5. MAI 6. JUN 7. JUL 8. AOU 9. SEP 10. OCT
 11. NOV 12. DEC

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

10. TECHNIQUES D'EXPLOITATION ET DE VALORISATION

1. RECOLTE 2. SECHAGE 3. DECOLORATION 4. EXTRACTION DE PRODUITS DERIVES 5. AUTRES

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

SOCIO-ECONOMIE

11. QUANTITE MOYENNE MENSUELLE EXPLOITEE

12. PRIX ACHAT KG ALGUE BRUTE

1. 50 2. 100 3. 150 4. 200 5. 250 6. 300 7. 300+

13. PRIX DE VENTE KG ALGUE TRAITEE

1. 1000 2. 2000 3. 3000 4. 4000 5. 5000,5000+

14. REVENU MOYEN OBTENU PENDANT LA SAISON

15. CONTRIBUTION DU REVENU SUR LES CHARGES

1. Sans importance 2. Peu important 3. Assez important 4. Très important

16. DESTINATION DU PRODUIT

1. AFRIQUE 2. EUROPE 3. AMERIQUE 4. ASIE 5. OCEANIE

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

17. PAYS DE DESTINATION

--

18. NOMBRE D'EMPLOYES

--

19. RATIO HOMME/FEMME

--



Exploitation de l'algue rouge *Meristotheca senegalense* dans la région de Dakar (presqu'île du Cap-Vert)

Massata NDAO*, Moussa Yagame BODIAN et Kandioura NOBA

Laboratoire de Botanique et Biodiversité, Département de Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta DIOP, BP 5005, Dakar-Fann, Sénégal

* Correspondance, courriel - massatadao@yahoo.com

Résumé

L'algue rouge *Meristotheca senegalense* est, actuellement, la principale ressource végétale marine exploitée au Sénégal. Elle est exploitée durant la période estivale (mai - septembre), le long des côtes de la région de Dakar, plus particulièrement dans la zone marine de Ngor - Almadies. La population littorale concernée par l'activité est essentiellement composée d'hommes dont la tranche d'âge est comprise entre 18 et 35 ans. Les productions varient de 08 à 10 tonnes d'algue séchée, par saison, et sont essentiellement destinées à l'exportation, vers le Japon. La récolte de l'algue fixée sur le substrat rocheux, par l'arrachage total du thalle, ne favorise pas la reconstitution de la ressource naturelle et le stock naturel disponible est actuellement méconnu. Les techniques de valorisation observées comme le séchage et la décoloration ne donnent pas, non plus, une grande valeur ajoutée à la ressource. Si l'exploitation de l'algue constitue une activité d'appoint qui contribue à l'amélioration des revenus de la communauté côtière, l'estimation de sa biomasse est à envisager afin de déterminer le niveau annuel du stock exploitable et éventuellement d'instaurer des réglementations appropriées. La filière des algues marines représente, pour les communautés littorales, un atout potentiel qu'il ne faut pas minimiser. Sa contribution dans l'économie maritime peut aider au développement local, voire national. Aussi faudrait-il mettre en œuvre les politiques adaptées pour une gestion durable pour les générations à venir.

Mots-clés : *algue rouge, Meristotheca senegalense, communauté littorale, production, exploitation, valorisation, gestion.*

Abstract

Exploitation of the red algae *Meristotheca senegalensis* in the region of Dakar (peninsula of Cap-Vert)

The red algae *Meristotheca senegalense* is currently the main marine plant resource exploited in Senegal. It is exploited during the summer months (may - september), along the coasts of the region of Dakar, particularly in the marine area of Ngor - Almadies. The coastal population concerned by the activity is principally composed of men whose age range is between 18 and 35 years. Production range varies from 8 to 10 tons of dried seaweed per season and is mainly intended for exportation towards Japan. The harvesting of seaweed attached to the bedrock, by the complete uprooting of the frond, does not promote the recovery of the resource

Diversité des algues macrophytes marines du littoral centre du Sénégal

Massata NDAO*, Moussa Yagame BODIAN et Kandioura NOBA

Université Cheikh Anta DIOP, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biologie Végétale, Laboratoire de Botanique et de Biodiversité, BP 5005, Dakar-Fann, Sénégal

* Correspondance, courriel : massatandao@yahoo.com

Résumé

Cette présente étude porte sur un inventaire systématique des algues macrophytes marines du littoral centre du Sénégal, le long de la bande côtière allant de Yoff (Presqu'île du Cap-Vert) à Joal (Petite Côte). L'inventaire a permis de répertorier 98 espèces réparties en 4 classes, 16 ordres, 30 familles et 44 genres. Cette diversité spécifique correspond à 33,7 % des espèces listées au Sénégal. Les Rhodophyta (algues rouges) dominent largement et représentent 57,14 % des espèces identifiées, la proportion des Chlorophyta (algues vertes) est de 26,53 % et celle des Ochrophyta (algues brunes) de 16,33 %. Les familles des Dictyotaceae (11,22 %), des Gracilariaceae (9,18 %), et des Ulvaceae (7,14 %) sont les plus diversifiées. Les autres familles moins représentées participent toutefois à la diversité de la flore, notamment les familles monospécifiques.

Mots-clés : *algue macrophyte, diversité, littoral centre, Sénégal*

Abstract

Diversity of marine macrophyte algae of the central coast of Senegal

This present study focuses on a systematic inventory of marine macrophyte algae species in the central coast of Senegal, along the coastal strip going from Yoff (peninsula of Cap-Vert) to Joal (Small Coast of Senegal). The inventory lists 98 species divided into 4 classes, 16 orders, 30 families and 44 genera. This specific diversity corresponds to 33.7 % of the species listed in Senegal. Rhodophyta (red algae) dominate widely and represent 57.14 % of the species identified, the proportion of Chlorophyta (green algae) is 26.53 % and the proportion of Ochrophyta (brown algae) is 16.33 %. Families of Dictyotaceae (11.22 %), Gracilariaceae (9.18 %), and Ulvaceae (7.14 %) are the most diverse. The other families less represented, however, participate in the diversity of the flora, especially the monospecific families.

Keywords : *macrophyte algae, diversity, coastal region center, Senegal.*

1. Introduction

Considérées comme la filière du futur, les algues marines suscitent, de nos jours, un intérêt particulier [1 - 4]. L'attention du public est, de plus en plus fréquemment appelée sur cette ressource végétale et des articles paraissent, régulièrement, sur le thème des algues, dans les domaines aussi variés que l'agronomie, l'agroalimentaire, les biotechnologies, la cosmétique, la médecine et les énergies renouvelables [5 - 9]. Du

Estimation du stock naturel de *Meristotheca senegalense* (Rhodophyta, Gigartinales) dans la baie de Ngor, presqu'île du Cap-Vert, Sénégal

Massata NDAO^{*}, Moussa Yagame BODIAN et Kandioura NOBA

Université Cheikh Anta DIOP, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biologie Végétale,
Laboratoire de Botanique et de Biodiversité, BP 5005, Dakar-Fann, Sénégal

^{*} Correspondance, courriel : massatandou@yahoo.com

Résumé

La connaissance de l'état du stock naturel de la rhodophycée *Meristotheca senegalense* est essentielle, pour garantir sa gestion et son exploitation durable, dans la zone maritime de la presqu'île du Cap-Vert. L'évaluation de sa biomasse, dans la baie de Ngor, a été entreprise avec l'utilisation des techniques de l'imagerie spatiale et, du système d'information géographique. Dans cette baie, *M. senegalense* est localisée à des profondeurs allant de 3 à 5 m. Le stock disponible est évalué à 17,17 tonnes de matière fraîche avec un rendement moyen de 1,8 tonnes à l'hectare. Le stock de l'espèce n'est pas encore pleinement exploité, malgré une exploitation basée sur un prélèvement direct sur les champs naturels, mais cette exploitation ne peut aller, sur le long terme, dans le sens d'un libre accès et nécessitera, inévitablement, un recours à des mesures pour contrôler l'effort de pêche.

Mots-clés : *Meristotheca senegalense*, rhodophycée, stock, Ngor, gestion durable.

Abstract

Estimation of the natural stock of *Meristotheca senegalense* (Rhodophyta, Gigartinales) in the bay of Ngor, peninsula of Cap-Vert, Senegal

The knowledge of the state of the natural stock of the rhodophyceae *Meristotheca senegalense* is essential to ensure its sustainable management and exploitation in the maritime area of the peninsula of Cap-Vert. The assessment of its biomass, in the Bay of Ngor, was undertaken with the use of space imagery and geographic information system techniques. In this bay, *M. senegalense* is located at depths ranging from 3 to 5 m. The available stock is estimated at 17,17 tons of fresh material with an average yield of 1,8 tons per hectare. The stock of the species is not yet fully exploited despite exploitation based on direct harvesting from natural fields, but this exploitation can not in the long term lead to free access and, will inevitably require use of measures to control fishing effort.

Keywords : *Meristotheca senegalense*, rhodophyceae, stock, Ngor, sustainable management

Contribution à l'étude de la diversité, de la dynamique spatio-temporelle, de la biomasse et de la valorisation
de quelques algues macrophytes marines du littoral centre du Sénégal

Malgré l'intérêt de plus en plus croissant suscité par les algues marines, peu de travaux ont été réalisés sur ce groupe floristique au Sénégal qui, grâce sa position géographique avantageuse, se trouve doté de grandes potentialités pour cette fabuleuse richesse renouvelable dont on exploite qu'une faible partie du gisement existant. Cette étude contribue à renforcer les connaissances sur le potentiel qualitatif et quantitatif de ces algues en vue de leur gestion durable. Elle se propose de caractériser la diversité, la dynamique spatio-temporelle, le stock, l'exploitation et la valorisation des espèces d'algues macrophytes marines du littoral centre sénégalais.

L'étude a été réalisée sur une zone localisée du littoral sénégalais, le long de la bande côtière allant de Yoff (Presqu'île du Cap-Vert) à Joal (Petite Côte). Des campagnes d'inventaire, de suivi de la dynamique spatio-temporelle des espèces, d'estimation de biomasse, d'enquêtes socio-économiques sur les utilisations et les opportunités de valorisation des algues ont été effectués de mars 2013 à juillet 2014.

L'inventaire systématique a permis de répertorier 98 espèces réparties en 4 Classes, 16 Ordres, 30 Familles et 44 Genres. Cette diversité correspond à 33,7% des espèces listées au Sénégal. Les Rhodophyta (57,14%) dominent largement avec un nombre appréciable d'espèces ayant un intérêt économique suivies des Chlorophyta (26,53%) et des Ochrophyta (16,33%). Les Familles des Dictyotaceae (11,22%), des Gracilariaceae (9,18 %), et des Ulvaceae (7,14 %) sont les plus diversifiées.

La variation spatio-temporelle des algues montre que, dans l'ensemble, les espèces sont présentes durant les deux saisons maritimes (période chaude, période froide). Pour certaines d'entre elles la répartition est plus liée au facteur "site" qu'au facteur "saison". La biodiversité est légèrement plus importante sur la Petite Côte que sur la presqu'île du Cap-Vert. Mais dans l'ensemble des deux zones éco-géographiques, les algues rouges dominent sur les autres groupes et sont plus abondantes durant les mois chauds. La fréquence et l'abondance des espèces sont soumises aux fluctuations saisonnières qui dépendent, dans une certaine mesure, de la température, de la salinité, du pH et des sels nutritifs comme les nitrates et les phosphates.

Les stocks naturels estimés pour les espèces les plus intéressantes sur le plan économique, donnent, pour *Meristotheca senegalense*, une biomasse de 17,17 tonnes, dans la baie de Ngor, avec un rendement de 1,8 tonne à l'hectare et pour *Hypnea musciformis*, une biomasse de 166,82 tonnes avec un rendement de 32,45 tonnes à l'hectare, dans la baie de Pointe-Sarène.

Au plan socio-économique, seule *M. senegalense* fait l'objet d'une production assez intéressante qui varie entre 08 à 10 tonnes de matière sèche, par année, et est exportée vers le marché asiatique. Cette exploitation saisonnière des algues participe au développement des populations littorales par la création d'emplois et l'augmentation des revenus des exploitants. Vingt-et-une genres ressortent comme candidats intéressants pour supporter le développement d'une filière algale, au Sénégal. Chacun d'entre eux montre un potentiel de valorisation dans, au moins, un domaine d'application.

Au plan de la gestion, la législation est quasi-inexistante sur cette ressource. Néanmoins, en raison de l'intérêt qu'elle suscite, il est impératif de réglementer son exploitation. En perspective, des études sur la bio-écologie des espèces, sur le suivi des stocks sur une échelle plus large, sur les techniques de culture et de valorisation des espèces ainsi que l'amélioration du cadre juridique et institutionnel régissant l'exploitation de cette ressource sont nécessaires.

Mots-clés : algue marine, diversité, variation spatio-temporelle, biomasse, exploitation, valorisation, gestion, littoral centre, Sénégal

Contribution to the study of diversity, spatio-temporal dynamics, biomass and the valorization
of some marine macrophytes algae from the central coast of Senegal

Despite the growing interest in marine algae, not enough work has been done on this floristic group in Senegal. This leads to a poor knowledge of their biodiversity and their amazing potential. This study contributes to reinforce the knowledge on the qualitative and quantitative potential of these algae with a view to their sustainable management. It proposes to characterize the diversity, the spatio-temporal dynamics, the stock, the exploitation and the valorization of the marine macrophytes algae species of the Senegalese central coast.

The study was conducted on a localized area of the Senegalese coast, along the coastal strip from Yoff (presqu'île du Cap-Vert) to Joal (Petite Côte). Inventory surveys, monitoring of the spatio-temporal dynamics of the species, biomass estimation, socio-economic surveys on the uses and opportunities for the valorisation of algae were carried out from March 2013 to July 2014.

The systematic inventory list 98 species divided into 4 Classes, 16 Orders, 30 Families and 44 Genus. This diversity corresponds to 33.7% of the species listed in Senegal. Rhodophyta dominates widely and represents 57.14% of taxa with a significant number of economically valuable species. The proportion of Chlorophyta is 26.53% and 16.33% for Ochrophyta. The families of Dictyotaceae (11.22%), Gracilariaceae (9.18%), and Ulvaceae (7.14%) are the most diverse. Specific biodiversity is more important on the Petite Côte than on the peninsula of Cape Verde. But in both geographical areas, red algae dominate the other groups and are more abundant during the hot season. The spatio-temporal variability for some species is more related to geography (site) than to the season. Frequency and abundance of species are subjected to seasonal fluctuations that depend to some ecological factors such as temperature, salinity, pH and nutrients such as nitrates and phosphates.

The natural stocks estimated for the most economically interesting species, using spatial imagery and geographic information system techniques, give for *Meristotheca senegalense* a biomass of 17.17 tons in Ngor bay, with a yield of 1.8 tons per hectare and for *Hypnea musciformis*, a biomass of 166.82 tons with a yield of 32.45 tons per hectare in Pointe-Sarène bay.

At the socio-economic level, only *M. senegalense* is the subject of a rather interesting production that varies between 8 to 10 tons of dry matter, per year, and is exported to the Asian market. The seasonal exploitation of algae contributes to the development of coastal populations by creating jobs and increasing farmers' incomes. Twenty-one genus stand out as interesting candidates to support the development of an algal industry in Senegal. Each of them shows a potential for valorization in, at least, a field of application. In terms of management, legislation is almost non-existent on this resource. Nevertheless, because of the interest it arouses, it is imperative to regulate its exploitation.

In perspective, studies on the bio-ecology of species, the monitoring of stocks on a larger scale, techniques of cultivation and valuation of species as well as improving the legal and institutional framework governing the exploitation of this species resource are needed.

Keywords : marine algae, diversity, spatio-temporal variation, biomass, exploitation, valuation, management, coastal center, Senegal
