

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur d'Etat en Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral

Spécialité : Biodiversité et Gestion d'Ecosystèmes

Thème

Etude des caractéristiques structurelles de *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson (1870) dans la baie de Bou Ismail

Présenté le 16 juillet 2023 par

Mlle GUERBI Melissa

Soutenu le 16/07/2023 devant le jury composé de :

| | | | |
|------------------|-----|---------|-------------------|
| Mme DJAHNIT N. | MCB | ENSSMAL | Président |
| M. KABRANE A. | MAA | ENSSMAL | Examineur |
| Mme AMAROUCHE N. | MAA | ENSSMAL | Promotrice |

Année universitaire : 2022- 2023

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de master

Domaine : science de la terre et de l'univers

Filière : Hydrobiologie marine et continentale

Spécialité : Biodiversité et Gestion d'Ecosystèmes

Thème

Etude des caractéristiques structurelles de *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson (1870) dans la baie de Bou Ismail

Présenté le 16 juillet 2023 par

Mlle GUERBI Melissa

Soutenu le 16/07/2023 devant le jury composé de :

| | | | |
|------------------|-----|---------|--------------------|
| Mme DJAHNIT N. | MCB | ENSSMAL | Président |
| M. KABRANE A. | MAA | ENSSMAL | Examinateur |
| Mme AMAROUCHE N. | MAA | ENSSMAL | Promotrice |

Année universitaire : 2022- 2023

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à ma promotrice, Madame Amarouche Nassima. Je suis ravie d'avoir travaillé en sa compagnie ; je la remercie pour sa gentillesse, sa disponibilité, sa modestie et surtout sa confiance en moi.

Je remercie également les membres du jury qui ont pris la peine d'examiner ce modeste travail ainsi que Monsieur Kabrane pour ses conseils et son aide précieuse.

Je voudrais également exprimer mes remerciements à mes amis qui ont été présents et ont apporté leur soutien tout au long de ce travail. Leur encouragement, leurs conseils et leur amitié ont contribué à rendre cette expérience plus enrichissante et agréable.

Merci à Rayane et Aimen pour leur coup de main lors des sorties sur terrain.

Enfin, je tiens à remercier toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

*Je dédie ce mémoire a ceux, dont l'aide et le soutien permanents
m'ont permis de concrétiser ce travail,*

À mes chers parents,

À Imene et Wassim.

Merci infiniment

Sommaire

| | |
|---------------------------|---|
| Introduction | 1 |
|---------------------------|---|

Partie I. Etude bibliographique

Chapitre 1. Les Magnoliophytes marines

| | |
|---|---|
| 1. Généralités sur les Magnoliophytes marines..... | 3 |
| 1. 1. Présentation..... | 3 |
| 1. 2. Taxonomie et classification phylogénétique..... | 3 |
| 1. 3. Biogéographie et distribution actuelle des herbiers marins..... | 4 |
| 1. 4. Caractéristiques morphologiques des Magnoliophytes marines..... | 6 |
| 1. 5. Rôle écologique et services écosystémiques rendus..... | 7 |

Chapitre 2. *Cymodocea nodosa*

| | |
|---|----|
| 2. Généralités sur <i>Cymodocea nodosa</i> (Ucria) Asch. | 9 |
| 2. 1. Taxonomie de <i>Cymodocea nodosa</i> | 9 |
| 2. 2. Description morphologique de <i>Cymodocea nodosa</i> | 9 |
| 2. 3. La reproduction | 12 |
| 2. 4. Répartition géographique et dynamique | 13 |
| 2. 5. Communautés associées à l'herbier à <i>Cymodocea nodosa</i> | 15 |
| 2. 6. Confusion avec d'autres espèces..... | 15 |
| 2. 7. Importance écologique | 15 |
| 2. 8. Statut réglementaire..... | 16 |

Chapitre 3. La baie de Bou Ismaïl

| | |
|--|----|
| 3. Présentation de la baie de Bou Ismaïl | 17 |
| 3. 1. Les facteurs hydrodynamiques | 19 |
| 3. 1. 1. Les courants | 20 |
| 3. 1. 2. Les vents | 20 |
| 3. 1. 3. La houle | 20 |
| 3. 2. Etat de la pollution | 20 |

Partie II. Etude expérimentale

Chapitre 4. Matériel et méthodes

| | |
|---|----|
| 4. Matériel et méthodes | 22 |
| 4. 1. Présentation des sites d'étude | 22 |
| 4. 1. 1. Anse de Kouali (AK) | 22 |
| 4. 1. 2. La paillotte (BI) | 22 |
| 4. 2. Prélèvement et traitement des échantillons | 23 |
| 4. 2. 1. Techniques de différenciation entre <i>Cymodocea nodosa</i> et <i>Zostera noltii</i> | 24 |
| 4. 2. 2. Mesure de la densité de l'herbier | 25 |
| 4. 2. 3. Etude des paramètres phénologiques | 25 |
| 4. 2. 4. Recherche de macroalgues associées à l'herbier de <i>Cymodocea nodosa</i> | 27 |
| 4. 2. 5. Etude de la croissance des feuilles | 28 |
| 4. 3. Traitements statistiques | 28 |
| 4. 3. 1. Paramètres descriptifs | 29 |
| 4. 3. 2. Analyse de la variance | 29 |
| 4. 3. 2. 1. Normalité des distributions | 30 |

Partie II. Etude expérimentale

Chapitre 5. Résultats et discussion

| | |
|---|----|
| 5. Résultats et discussion | 30 |
| 5. 1. Partie densité et phénologie | 30 |
| 5. 1. 1. Densité | 31 |
| 5. 1. 2. Paramètres de phénologie | 32 |
| 5. 1. 2. 1. Nombre de feuilles par faisceau | 32 |
| 5. 1. 2. 2. Longueur des feuilles | 33 |
| 5. 1. 2. 3. Largeur des feuilles | 33 |
| 5. 1. 2. 4. Longueur du pétiole | 34 |
| 5. 1. 2. 5. Indice foliaire (LAI) | 34 |
| Discussion | 34 |
| 5. 2. Les macroalgues associées à l'herbier à <i>Cymodocea nodosa</i> | 37 |
| Discussion | 42 |

| | |
|----------------------------|----|
| Conclusion | 44 |
| Bibliographie | 47 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1. Classification des 72 espèces de phanérogames marines (Short et al., 2011) | 4 |
| Figure 2. Répartition mondiale de la richesse en espèces de phanérogames marines (de 1 à 6 : les biorégions). 1. Atlantique nord tempéré, 2. Atlantique tropical, 3. Méditerranée, 4. Pacifique nord tempéré, 5. Indo-Pacifique tropical, 6. Océans tempérés du sud (Short et al., 2007)..... | 5 |
| Figure 3. Morphologie générale de <i>Cymodocea nodosa</i> : A. cicatrices circulaires fermées B. Dents de la lame de la feuille. C. Section transversale de la lame de la feuille. D. Fruit (Bchir et al., 2019)..... | 10 |
| Figure 4. Schéma général montrant les différentes parties de <i>cymodocea nodosa</i> (Modifié à partir de V. González Ortiz par Gutiérrez. 2019)..... | 12 |
| Figure 5. Apex fructifères et bractées florales de <i>Cymodocea nodosa</i> (Caye, 1989)..... | 13 |
| Figure 6. Répartition géographique de <i>Cymodocea nodosa</i> (en orange) (Sghaier, 2013)..... | 14 |
| Figure 7. Situation géographique de la zone d'étude | 19 |
| Figure 8. Localisation des deux sites d'étude. | 23 |
| Figure 9. Quadrat de 20 x 20 cm utilisé pour mesurer la densité..... | 25 |
| Figure 10. Photos montrant la mesure des paramètres phénologiques. | 27 |
| Figure 11. Marquage de faisceaux..... | 28 |
| Figure 12. Abondance des Cystoseires dans l'herbier de <i>Cymodocea nodosa</i> à l'anse de Kouali..... | 42 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1. Tableau récapitulatif du travail réalisé sur terrain. | 24 |
| Tableau 2. Tableau récapitulatif des résultats de phénologie et de biométrie foliaire (Les intervalles de confiance sont entre parenthèses) | 30 |
| Tableau 3. Les Chlorophyta associées à l'herbier de <i>Cymodocea nodosa</i> dans les deux stations d'étude. | 38 |
| Tableau 4. Les Ochrophyta associées à l'herbier de <i>Cymodocea nodosa</i> dans les deux stations d'étude..... | 39 |
| Tableau 5. Les Rhodophyta associées à l'herbier de <i>Cymodocea nodosa</i> dans les deux stations d'étude. | 41 |

Introduction

Introduction

Les herbiers marins sont des ingénieurs d'écosystèmes importants qui construisent des habitats côtiers précieux et jouent un rôle clé dans la préservation de la biodiversité marine et la séquestration du carbone (Duarte et al., 2005). Bien qu'ils soient précieux pour l'humanité, les herbiers marins sont moins appréciés que les récifs coralliens colorés et les puissantes mangroves en termes de recherche et de mesures de conservation (Unsworth et al., 2019). Cependant, leur valeur en termes de services écosystémiques a été estimée être trois fois supérieure à celle des récifs coralliens et dix fois supérieure à celle des forêts tropicales (Short et al., 2018).

Les herbiers à phanérogames marines sont répandus dans toutes les mers du globe, mais en Méditerranée, ces peuplements, formés surtout par *Posidonia oceanica* et *Cymodocea nodosa*, sont particulièrement abondants et couvrent de vastes étendues au niveau de l'étage infralittoral (Caye, 1989). Cependant, le déclin bien connu des herbiers à *Posidonia oceanica* dans certaines zones de la Méditerranée (Blanc et Jeudy De Grissac, 1984 ; Péres, 1984 ; Pergent-Martini, 1994) a suscité l'intérêt scientifique pour la capacité de *Cymodocea nodosa* à remplacer l'ancienne espèce dans certaines zones côtières (Toccali, 1990). Malgré ses degrés de complexité en termes de taille, de l'architecture des herbiers et de la communauté animale associée (Mazzella et al., 1993 ; Marbà et al., 1996), *Cymodocea nodosa* pourrait jouer un rôle comparable, bien que mineur mais pertinent en tant qu'espèce structurante (Barbault et al., 1991). Alors que de nombreuses études ont été menées sur *Posidonia oceanica*, tant du point de vue structurel que fonctionnel, moins d'attention a été consacrée à *Cymodocea nodosa* (cancemi et al., 2002).

Cymodocea nodosa (Ucria) Ascherson est une espèce commune à toute la Méditerranée, aux côtes atlantiques, nord-africaines, sud-européennes et autour des îles Canaries (Den Hartog 1970, Reyes et al., 1995a ; Cunha et Duarte 2007). Cette espèce montre une grande plasticité environnementale : (i) elle est présente à partir de la zone intertidale (Vermaat et al., 1993) jusqu'à des profondeurs de 33-35 m (Drew 1978, Canals et Ballesteros, 1997); (ii) elle colonise un large éventail de substrats, du sable grossier au sédiment vaseux (Peduzzi et Vukovic 1990, Pavón-Salas et al., 2000), (iii) et forme de grands herbiers dans les hauts-fonds, dans les zones abritées comme les lagunes (Terrados et Rós 1992, Agostini et al., 2003), les baies (Pérez et le Camp 1986, Pérez et Romero 1994) et les ports (Reyes et al., 1995b), (iv) forme des peuplements monospécifiques et mixtes en association avec d'autres herbiers comme *Posidonia oceanica* (L.) Delile et *Zostera noltii* Hornemann (Buia et

Marzocchi, 1995).

La plupart des études relatives à la variation saisonnière de la biomasse, de la croissance et de la production primaire de *Cymodocea nodosa* ont été menées au niveau de la rive nord de la Méditerranée (Caye et Meinesz 1985, Pérez et al., 1991, Terrados et Rós 1992, Pérez et Romero 1994, Pérez et al., 1994 ; Sfriso et Ghetti, 1998 ; Cancemi et al., 2002 ; Guidetti et al., 2002 ; Agostini et al., 2003) et de la côte atlantique (Van Lent et al., 1991, Vermaat et al., 1993, Cunha et Duarte 2005, Cunha et Duarte 2007). Cependant, les études portant sur cette espèce au niveau de la rive sud de la Méditerranée sont limitées à celles de Mostafa (1996), Vela et al., (2008) et (Sghaier et al., 2011).

En Algérie, aucune étude n'a encore été menée sur les caractéristiques structurelles de *Cymodocea nodosa*. D'où cette étude préliminaire qui se donne pour objectif d'étudier la densité et la phénologie de *Cymodocea nodosa*. Pour ce faire, deux sites qui présentent des conditions environnementales différents ont été choisis dans la baie de Bou Ismail. L'un des sites est une zone de référence.

Parallèlement, une étude de la flore associée à l'herbier à *Cymodocea nodosa* est réalisée. Cette approche nous permettra d'améliorer notre connaissance de ce précieux écosystème.

Ce travail se décline en deux parties.

La première partie est une synthèse bibliographique dans laquelle sont présentés :

- Un premier chapitre qui consiste à donner des généralités sur les Magnoliophytes marine
- Un deuxième chapitre dans lequel l'espèce *Cymodocea nodosa* est présentée.
- Un chapitre présentant la zone d'étude

La deuxième partie est dédiée à l'étude expérimentale et englobe :

- Un chapitre présentant les méthodes de travail mises en œuvre
- Un dernier chapitre dans lequel sont résumés les résultats et leur discussion.

Enfin, une conclusion avec quelques perspectives vient clore le travail.

Chapitre 1

Les Magnoliophytes

Marines



1. Généralités sur les Magnoliophytes marines

1. 1. Présentation

Les Magnoliophytes ou phanérogames marines (*seagrasses* en anglais) sont des Angiospermes aquatiques, c'est-à-dire des plantes à fleurs confinées à l'environnement marin. Elles constituent un groupe de plantes qui vivent complètement submergées en eau salée, ancrées sur le substrat et capables, dans ces conditions, de croître et de se reproduire. Cette capacité est rendue possible grâce à des adaptations morphologiques et physiologiques particulières qui leur permettent de prospérer dans un environnement marin parfois hostile (Den Hartog, 1970).

1. 2. Taxonomie et classification phylogénétique

Les taxons des phanérogames marines appartiennent aux monocotylédones de la sous-classe des Alismatidae (ordre des Alismatale). Ils forment un groupe polyphylétique et non un groupe taxonomique : les genres appartiennent à plusieurs familles (Arber, 1920 ; Sculthorpe, 1967 ; Den Hartog, 1970 ; Les et al., 1997).

Du fait de leurs origines indépendantes, chacune d'entre elles présente des caractéristiques uniques, conséquence de leur cheminement évolutif vers le milieu marin (Waycott et al., 2004).

Entre 60 et 72 espèces de phanérogames marines sont recensées à l'échelle du globe réparties au sein de 13 genres et 6 familles (Den Hartog, 1970 ; Short et al., 2007, 2011) (**Figure 1**).

L'incertitude sur le nombre précis d'espèces de phanérogames marines est due à leur évolution particulière et unique. En effet, leur adaptation à la vie marine est survenue après une période d'évolution sur terre et est relativement récente, ce qui rend difficile leur classification et leur dénombrement exacts (Waycott et al., 2018).

Dans l'objectif d'une gestion conservatoire à long terme de ces espèces, il est important de prendre en compte leur évolution et leur complexité taxonomique. Il est par conséquent essentiel de s'appuyer sur des critères d'identification partagés (angiospermes) et récents pour éviter les erreurs de classification. Car la classification de certaines espèces peut être remise en question à mesure que la recherche évolue (Green et Short, 2003 ; Kilminster et

al., 2015 ; Waycott et al., 2018).

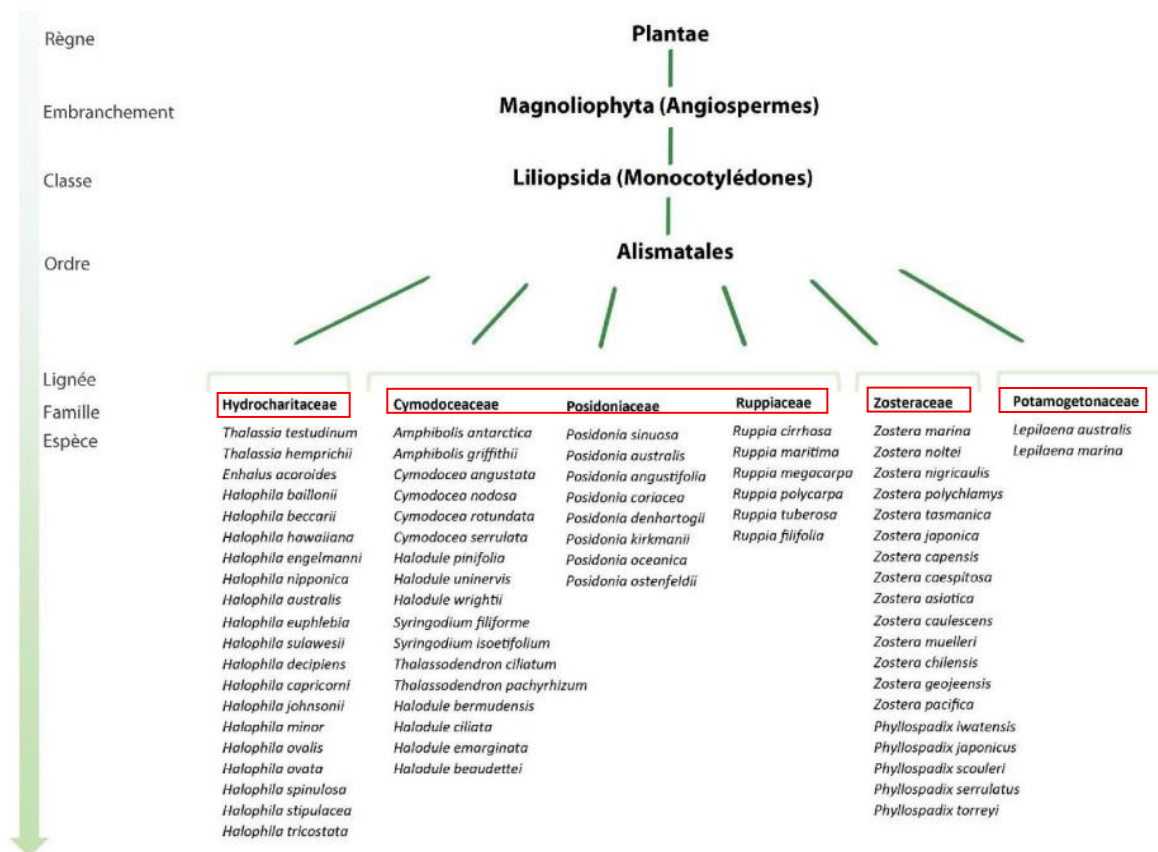


Figure 1. Classification des 72 espèces de phanérogames marines (Short et al., 2011).

1. 3. Biogéographie et distribution actuelle des herbiers marins

Si le nombre de ces espèces présente actuellement une distribution relativement étendue à travers les océans, les études de spécimens fossilisés révèlent des distributions ancestrales bien plus larges (Waycott et al., 2018). Pendant un temps, l'origine de la distribution biogéographique des herbiers marins était considérée comme la résultante principale d'un processus évolutif d'isolement dans le temps (vicariance), issue de la séparation des continents et d'un développement de ce groupe dans la mer de Téthys au Crétacé supérieur (Den Hartog, 1970 ; Eva, 1980 ; Larkum et Den Hartog, 1989). En se basant uniquement sur la biogéographie actuelle, certaines hypothèses considèrent également que la zone à plus forte biodiversité de phanérogames marines constituerait leur zone d'origine (Mukai, 1993 ; Short et al., 2007).

Cependant, grâce aux avancées dans la biologie moléculaire, il a été découvert que leur évolution s'est déroulée selon quatre lignées (Les et al., 1997 ; Olsen et al., 2004 ;

Figure 1)

Aux trajectoires distinctes (Waycott et al., 2006). Une distribution ancestrale globalement plus étendue, suivie de phénomènes de disparition de certaines espèces, des mouvements de la tectonique des plaques et des séquences de spéciation et d'extinctions locales semblent plausibles (Waycott et al., 2018). La division moderne en deux groupes, tempéré et tropical, tend à suggérer qu'une séparation écologique s'est produite dans les deux hémisphères.

Les phanérogames marines sont actuellement présentes dans les eaux côtières de tous les continents, excepté l'Antarctique (Den Hartog, 1970 ; Green et Short, 2003 ; Short et al., 2007). Cependant, la superficie des herbiers marins à l'échelle mondiale reste difficile à évaluer en raison de la diversité des espèces et de leur caractère dynamique (Short et al., 2007). Les méthodes de cartographie sont efficaces pour les herbiers peu profonds (<12 mètres) par télédétection, mais des études de terrain sont nécessaires pour valider les signatures sur les images. La question reste en revanche entière pour les herbiers profonds et non détectable par télédétection. Ainsi, leur superficie mondiale est estimée entre 177 000 à 600 000 km² (Duarte et al., 2013).

A l'échelle du globe, six biorégions ont été définies pour représenter les principales distributions et association de phanérogames marines (Short et al., 2007) (**figure 2**).

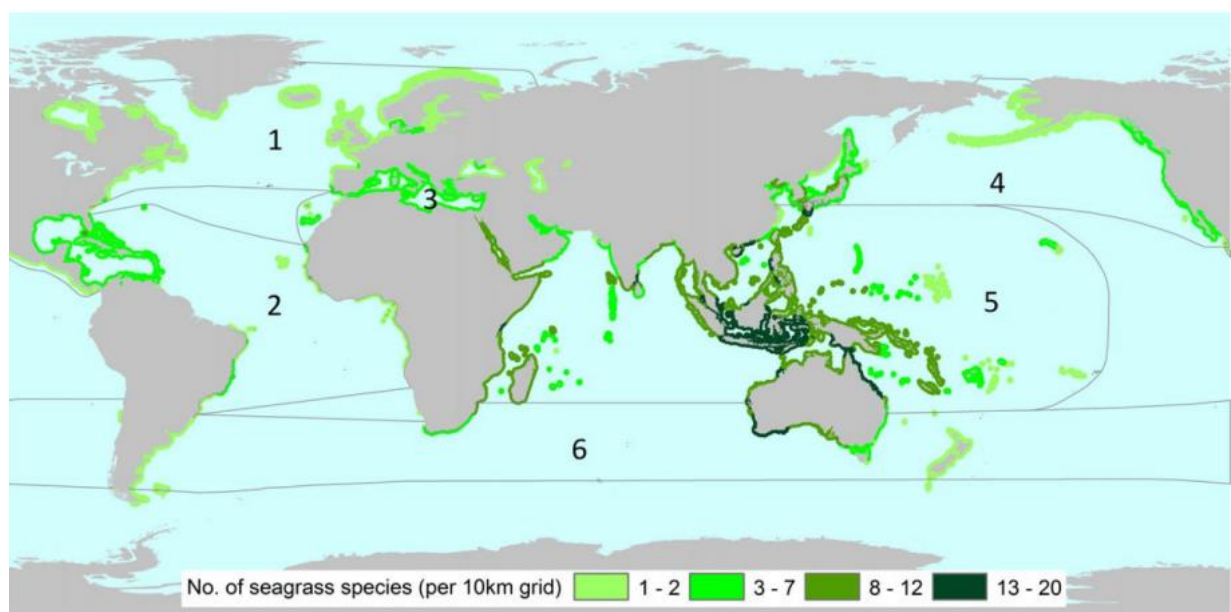


Figure 2. Répartition mondiale de la richesse en espèces de phanérogames marines

De 1 à 6 : les biorégions : 1. Atlantique nord tempéré, 2. Atlantique tropical, 3. Méditerranée, 4. Pacifique nord tempéré, 5. Indo-Pacifique tropical, 6. Océans tempérés du sud (Short et al., 2007).

1. 4. Caractéristiques morphologiques des Magnoliophytes marines

Les Magnoliophytes marines possèdent des organes végétatifs et reproducteurs similaires à ceux de leurs homologues terrestres, tels que des racines, des rhizomes, des tiges dressées et des feuilles. Leur organisation anatomique et morphologique est divisée en une partie souterraine (rhizomes et racines) et une partie aérienne (tiges dressées et faisceaux de feuilles) et diffère selon les groupes taxonomiques, ce qui permet d'identifier les espèces et les genres correspondants.

Les feuilles des Magnoliophytes marines se développent à partir des nœuds (endroits d'où partent les faisceaux de feuilles). La plupart d'entre elles possède une gaine basale différenciée du limbe, qui offre une protection au méristème apical des jeunes feuilles en croissance. Une fois mures, ces feuilles sont généralement organisées en faisceaux de plusieurs feuilles, avec des stades de développement différents : les feuilles intérieures étant les plus jeunes. Les feuilles sont capables d'absorber directement les éléments nutritifs présents dans l'eau de mer environnante, en plus de l'absorption à travers le système racinaire. Ces nutriments sont ensuite transportés par les nervures, tout comme l'eau et les produits issus de l'activité photosynthétique.

La plupart des espèces de Magnoliophytes marines ont des feuilles linéaires aplaties, ce qui leur confère un rapport surface/volume élevé. Cette adaptation est importante, car, selon Stumm et Morgan (1996), les coefficients de diffusion du dioxyde de carbone et de l'oxygène dans l'eau sont environ 10 000 fois plus faibles que dans l'air.

Le rhizome se présente habituellement sous forme herbacée, avec une structure cylindrique à latéralement comprimée et une ramification monopodiale ou irrégulière. Il est enfoui sous le sédiment et souvent couverts par les restes fibreux persistants des anciennes gaines foliaires, tels que *Posidonia* et *Enhalus*. Certaines espèces, comme *Thalassia*, *Halophila spinulosa*, *H. tricostata*, toutes les *Cymodoceaceae* et *Heterozostera nigricauli*, présentent une forme de dimorphisme des axes végétatifs où certains nœuds donnent naissance à des tiges érigées portant des pousses feuillues (Kuo et al., 2018).

Les racines des Magnoliophytes marines sont adventives, comme chez toutes les monocotylédones, et émergent du côté ventral des nœuds du rhizome. Bien que l'anatomie interne soit généralement similaire, la morphologie externe des racines présente souvent des caractéristiques propres à chaque taxon, avec de nombreuses caractéristiques

spécialisées considérées comme des adaptations à différents substrats dans un environnement aquatique (Kuo et al., 2018).

1. 5. Services écosystémiques rendus

Les herbiers marins sont des écosystèmes côtiers essentiels qui fournissent de nombreux services écosystémiques :

- ils jouent un rôle crucial en tant qu'habitat pour la faune et la flore, ainsi qu'en termes de production primaire et de cycle des nutriments (Duarte et Chiscano, 1999 ; Nienhuis et al., 1989) ;

- ils régulent l'érosion côtière en stabilisant le sédiment et en réduisant l'hydrodynamisme (Barbier et al., 2011 ; Koch et al., 2012 ; Christianen et al., 2013 ; Ondiviela et al., 2014 ; Paul, 2018 ; Madsen et Warncke, 1983) ;

- ce sont des écosystèmes qui abritent une grande diversité d'espèces marines d'importance écologique à tous les niveaux trophiques (Hemminga et Duarte, 2000 ; Valentine et Duffy, 2006) ;

- ils jouent un rôle primordial dans l'atténuation du changement climatique par la séquestration du carbone à long terme, preuve de l'importance de leur conservation dans le contexte actuel de changement global (Duarte et al., 2005 ; Mcleod et al., 2011 ; Fourqurean et al., 2012 ; Duarte et al., 2013). Même s'ils couvrent une infime partie du fond de l'océan (moins de 2%), ils sont responsables du stockage d'environ 10% du carbone enfoui dans les océans chaque année, soit entre 48 à 122 millions de tonnes par an (Fourqurean et al., 2012 ; Duarte et al., 2013) ;

- ce sont des écosystèmes clés pour les communautés locales, car ils fournissent des services de production et de prélèvement cruciaux pour la pêche artisanale et de subsistance, en particulier dans les zones côtières des régions tropicales (de la Torre-Castro et Rönnbäck, 2004 ; Björk et al., 2008 ; Unsworth et Cullen, 2010 ; Frouin et al., 2012 ; de la Torre-Castro et al., 2014).

Considérant l'ensemble de ces services, les herbiers contribuent de manière indéniable au bien-être humain, leur valeur économique associée est ainsi estimée à une valeur annuelle de plusieurs milliards de dollars (Costanza et al., 2014), ce qui souligne l'importance

économique de la conservation de ces écosystèmes.

Malheureusement, malgré les mesures de protection et de gestion, la surface des herbiers marins régresse annuellement de 2 à 5% à l'échelle planétaire, en raison de causes anthropiques et naturelles. Des phénomènes géologiques et météorologiques peuvent également modifier ces habitats (Boudouresque et al., 2009 ; Pergent et al., 2014), tandis que les pollutions marines accidentelles peuvent gravement affecter les herbiers, à la fois par leur effet toxique et par la dépollution qui peut endommager les herbiers.

Chapitre 2

Cymodocea nodosa

2. Généralités sur *Cymodocea nodosa* (Ucria) Asch.

En Méditerranée, les deux principales Magnoliophytes marines, *Posidonia oceanica* (L.) Delile et *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson, constituent une « ceinture » continue sur tout le littoral (Balestri and Cinelli, 2001 ; Procaccini et al., 2003).

Cymodocea nodosa est une espèce pionnière à même de coloniser des fonds dépourvus de macrophytes et préparer l'installation d'un herbier à *Posidonia oceanica* (Molinier & Picard, 1952 ; Cinelli et al., 1995). Elles sont ainsi géographiquement complémentaires : *Cymodocea nodosa* est présente le long des côtes où *Posidonia oceanica* est absente.

2. 1. Taxonomie de *Cymodocea nodosa*

Cymodocea nodosa est une espèce de Magnoliophytes marines appartenant (World Register of Marine Species, 2023) au :

- Règne : Plantae
- Sous règne : Viridiplantea
- Infra-règne : Streptophyta
- Phylum : Tracheophyta
- Sous-phylum : Spermatophytina
- Classe : Magnoliopsida
- Super-ordre : Lilianae
- Ordre : Alismatales
- Famille : Cymodoceaceae
- Genre : *cymodocea*
- Espèce : *Cymodocea nodosa* (Ucria) Asch. (1870).

2. 2. Description morphologique de *Cymodocea nodosa*

L'organisation morphologique et anatomique de *Cymodocea nodosa* est répartie entre une partie endogée, comprenant les rhizomes et les racines, et une partie exogée, constituée de tiges dressées et de faisceaux de feuilles. Cette organisation peut varier entre les différentes espèces de phanérogames marines, et c'est ce qui permet d'identifier les genres et les espèces. En particulier, la morphologie des feuilles et la taille des rhizomes et des

racines sont des caractéristiques importantes pour identifier *Cymodocea nodosa* parmi les autres espèces de Magnoliophytes marines (**Figures 3 et 4**).

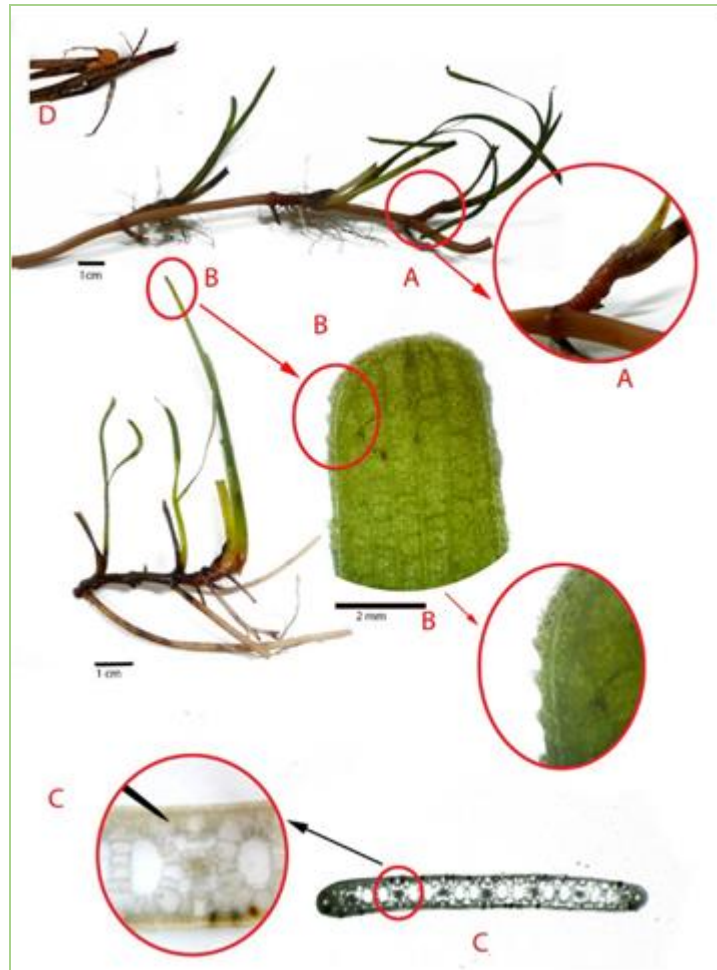


Figure 3. Morphologie générale de *Cymodocea nodosa* : A. cicatrices circulaires fermées B. Dents de la lame de la feuille. C. Section transversale de la lame de la feuille. D. Fruit (Bchir et al., 2019).

Cymodocea nodosa présente des faisceaux foliaires constitués de deux à cinq feuilles rubanées mesurant en moyenne entre 10 et 30 cm de hauteur et 2 à 4 mm de largeur. Le limbe présente un apex dentelé et 7 à 9 nervures fines, longitudinales et parallèles (Phillips & Menez, 1988).

Les faisceaux de *Cymodocea nodosa* sont constitués de différents types de feuilles en fonction de leur croissance. La zone de croissance des feuilles est située à leur base. Les feuilles dites « différenciées » sont celles présentant une gaine basale et les « indifférenciées » sont les feuilles sans gaine basale ou pétiole (Cancemi et al., 2002).

Le rhizome de *Cymodocea nodosa* est cylindrique et mince, avec un diamètre de quelques

millimètres. Il est de couleur rose et annelé, ce qui lui a valu le nom de "nodosa" qui signifie noueux en latin. Ce rhizome est responsable de la classification de cette Magnoliophyte parmi les espèces vivaces. En effet, en saison hivernale et dans des conditions défavorables, *Cymodocea nodosa* perd ses feuilles, mais le rhizome persiste dans la vase pendant plusieurs années (Sghaier, 2013).

Les axes plagiotropes (ou horizontaux) se ramifient en émettant des axes secondaires latéraux à croissance orthotrope (ou verticale) qui prennent naissance à partir d'un bourgeon axillaire dont le développement est immédiat. Les axes à croissance plagiotrope montrent des séries successives d'entre-nœuds très courts de 1 à 2 mm et d'entre-nœuds longs de 3 mm à plusieurs centimètres (maximum observé : 7 cm). Les axes orthotropes, âgés d'un an et plus, présentent des séries d'entre-nœuds courts et des séries d'entre-nœuds un peu plus longs (2 à 3 mm), soit beaucoup plus longs (jusqu'à 35 mm) (Caye, 1989).

Les racines de *Cymodocea nodosa* sont relativement fines (moins de 2 mm) et très ramifiées avec une longueur qui varie entre 10 et 40 cm (Marbà et al., 2001) ; elles sont situées au niveau de plusieurs nœuds successifs (Caye, 1989).

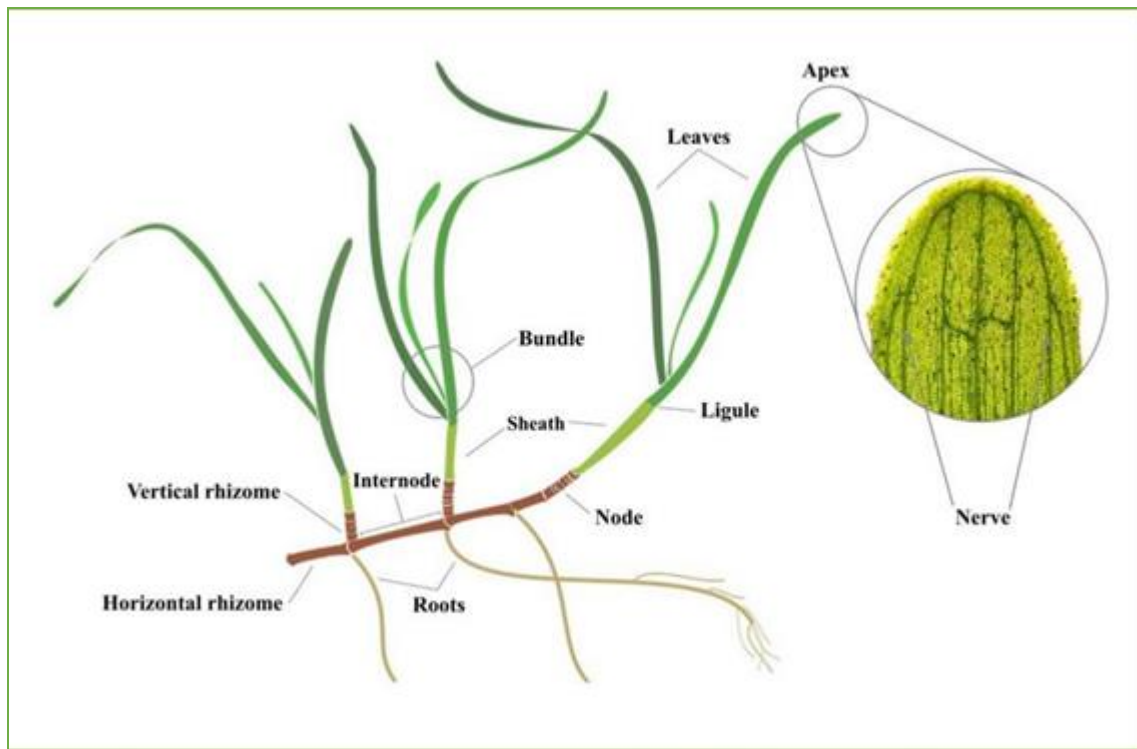


Figure 4. Schéma général montrant les différentes parties de *Cymodocea nodosa*

(Modifié à partir de V. González Ortiz par Gutiérrez. 2019).

2. 3. La reproduction

Cymodocea a la capacité de coloniser les fonds marins des zones calmes en utilisant deux modes de reproduction différents, à savoir la reproduction asexuée et sexuée.

La reproduction asexuée se fait grâce au rhizome qui assure la propagation à la périphérie de la plante. Elle se fait également par l'intermédiaire de fragments de rhizome (Caye, 1989). L'espèce se multiplie végétativement par fragmentation et dissémination de boutures.

Cymodocea nodosa a tendance à diminuer la reproduction sexuée par rapport à la propagation végétative (asexuée), car cela diminue les coûts énergétiques nécessaires pour garantir la persistance de la population (Eckert, 2001).

Comme *Posidonia oceanica*, elle possède une reproduction asexuée efficace, mais à l'inverse de celle-ci, sa reproduction sexuée est fréquente.

Le genre *Cymodocea* est dioïque : les fleurs mâles et femelles sont présentes sur des plantes distinctes (Kuo et al., 2018) (**Figure 5**). Elles apparaissent toujours sur les axes orthotropes (Caye, 1989). A signaler que des étamines (unité de l'appareil reproducteur

mâle) ont été trouvées en 1853 en Algérie (Caye, 1989, in Den Hartog, 1970).

Les fleurs femelles donnent naissance à des fruits membraneux qui ne s'ouvrent pas. La floraison a lieu au printemps et la germination a lieu 11 mois après la formation des fruits.

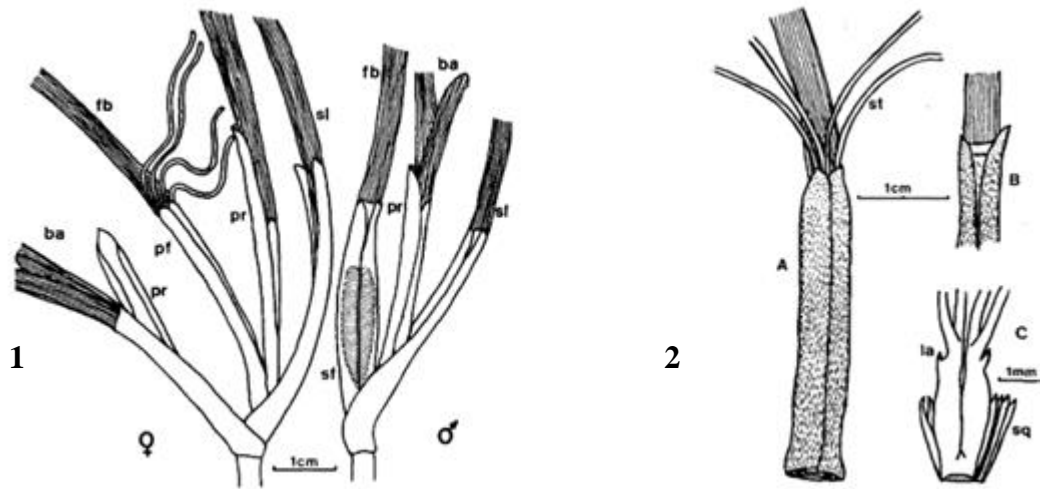


Figure 5. Apex fructifères et bractées florales de *Cymodocea nodosa* (Caye, 1989)

-1. Apex fructifère portant une fleur femelle dont on aperçoit les stigmates (St) sortant de la bractée florale (B), deux faisceaux latéraux (FL1 et FL2) avec leur préfeuille (Pf).
 -2. Apex fructifère portant une fleur mâle dont l'étamine (E) est encore enveloppée dans la gaine de la bractée florale (Bf), faisceau latéral (FL1) et préfeuille (Pf). -C. Bractée florale (Bf) de la fleur femelle montrant la superposition des stipules (Sp) et les stigmates (St). -D. Gaine foliaire portant des stipules (Sp), base du limbe de la feuille (Li) E. Les deux ovaires portant un appendice latéral (Ap), les stigmates (St), les squamules (Sq).

2. 4. Répartition géographique et dynamique

L'espèce *Cymodocea nodosa* se rencontre essentiellement en Méditerranée (**Figure 6**) même si elle est présente en Atlantique Est, au Sud du Portugal (Cunha et Duarte, 2007), au Sénégal et autour des îles Canaries (Den Hartog, 1970 ; Reyes et al., 1995a).

En Méditerranée, elle se développe en mer ouverte où elle colonise préférentiellement les biotopes relativement abrités, les zones portuaires, l'intérieur des digues et les fonds sableux superficiels entre la côte et la limite supérieure des herbiers à *Posidonia oceanica* (Buia et al., 1985). Elle peut également donner lieu à de vastes herbiers entre la surface et une trentaine de mètres de profondeur (Mazzella, 1990). *Cymodocea nodosa* se trouve dans les zones subtidales à travers de larges profils de profondeur, depuis des eaux peu

profondes jusqu'à 50-60 m.

Plus tolérante à la dessalure, en milieu lagunaire, l'extension bathymétrique de *Cymodocea nodosa* est plus réduite (-2 à -3 m), mais elle colonise de grandes surfaces, notamment dans les lagunes présentant une salinité suffisante.



Figure 6. Répartition géographique de *Cymodocea nodosa* (en orange) (Sghaier, 2013).

Selon Lipkin et al. (2003), *Cymodocea nodosa* est la deuxième espèce la plus répandue en Méditerranée après *Posidonia oceanica*.

Bien que des diminutions locales de *C. nodosa* aient été signalées dans des zones soumises à une forte pression anthropique (Haritonidis et al., 1990), les fluctuations naturelles à long terme telles que les fluctuations de salinité, l'action des herbivores ou les changements climatiques semblent être les principaux facteurs influençant cette espèce (Turk & Vukovic, 2000 ; Shili et al., 2002 ; Barsanti et al., 2007). En général, *C. nodosa*, qui préfère les eaux chaudes, semble favorisée par le réchauffement climatique global (Boudouresque et al., 2009). Dans certaines parties de la Méditerranée, *C. nodosa* a bénéficié de la régression de *Posidonia oceanica* pour se développer (Montefalcone et al., 2007). Inversement, les herbiers à *C. nodosa* jouent un rôle dans la dynamique des peuplements à Posidonies en favorisant leur installation : d'une part en leur préparant un humus indispensable à leur nutrition, et d'autre part, en piégeant les boutures ou les jeunes plants de *P. oceanica* (Molinier et Picard, 1952). Toutefois, cette dynamique peut avoir des conséquences, car les rôles des deux espèces peuvent être très différents, notamment

en ce qui concerne le flux de carbone (Boudouresque *et al.*, 2009).

Il a été constaté par ailleurs qu'après régression, *Cymodocea nodosa* peut être remplacée par des espèces opportunistes telles que *Caulerpa prolifera*, réduisant de manière significative la faune associée aux herbiers et la prolifération du ver polychète *Capitella capitata*. Le principal problème est que bon nombre des fonctions et services rendus par les herbiers à *Cymodocea nodosa* (exportation de la production primaire vers d'autres écosystèmes, filtration de l'eau, etc.) ne peuvent être remplacés par les fonctions et services fournis par *C. prolifera* (OSPAR, 2010).

2. 5. Communautés associées à l'herbier à *Cymodocea nodosa*

L'herbier à *Cymodocea nodosa* reste un habitat important pour de nombreuses espèces marines côtières. C'est le cas notamment pour la grande nacre (*Pinna nobilis*), un bivalve endémique de Méditerranée dont les populations sont actuellement menacées. Les herbiers de Cymodocée abritent également d'autres mollusques comme des gastéropodes (murex) ainsi que des échinodermes comme les concombres de mer. Plusieurs espèces de poissons affectionnent également les herbiers de Cymodocée comme le rason (*Xyrichtys novacula*).

2. 6. Confusion avec d'autres espèces

Cymodocea nodosa peut être confondue avec les deux espèces de zostères, *Zostera marina* et *Zostera noltei* en milieu lagunaire méditerranéen. *Cymodocea nodosa* a un rhizome rouge-rosé avec des distances inter-noeud beaucoup plus grandes que le genre *Zostera*. *Zostera noltei* est beaucoup plus petite, avec des feuilles de moins de 2 mm de largeur.

2. 7. Importance écologique

Les herbiers marins y compris *Cymodocea nodosa* contribuent de manière significative à la productivité des zones côtières des eaux tempérées et tropicales (Phillips et McRoy

1980). De plus, ils exportent en moyenne environ 10% de leur production nette vers les écosystèmes adjacents (Duarte & Cebrián, 1996). Par ailleurs, ces herbiers offrent une protection physique contre l'érosion côtière en réduisant l'impact des vagues et en stabilisant les sédiments (Duarte, 2002).

Comme certains autres herbiers de phanérogames marines, les herbiers à *Cymodocea nodosa* jouent un rôle fonctionnel primordial pour le recrutement et l'installation d'un grand nombre d'espèces, grâce à un enrichissement en matière organique du peuplement et à un rôle de support à une microflore et à une microfaune qui constituent une source alimentaire utilisable dans l'ensemble du réseau trophique local.

L'herbier à *Cymodocea nodosa* intervient dans des processus clés du fonctionnement des écosystèmes lagunaires, tels que l'oxygénation, la dynamique des sels nutritifs et le développement des niveaux trophiques supérieurs (Gerbal et Verlaque, 1995). Des travaux récents soulignent que les herbiers marins ont une importance économique en plus de leur valeur écologique. Ils sont reconnus pour leur capacité de stockage de carbone, ce qui en fait un service écosystémique clé (Macreadie et al., 2014, 2017 ; Thomas, 2014 ; Green et al., 2018 ; Rogers et al., 2018 ; Vanderklift et al., 2019). Les stocks de carbone dans les sols occupés par *Cymodocea nodosa* ont été estimés à plusieurs millions d'euros sur l'île de Gran Canaria (Bañolas et al., 2020).

D'autres études ont également montré que *Cymodocea nodosa* peut servir de bio-indicateur pour évaluer la contamination par les métaux lourds (Catsiki et al., 1987 ; Malea, 1993 ; Malea et Haritonidis, 1995).

2. 8. Statut réglementaire

Cymodocea nodosa est protégée par plusieurs conventions internationales et nationales, ainsi que par des lois et des décrets nationaux dans de nombreux pays. Au niveau international, elle est protégée par la Convention de Barcelone (listée dans l'Annexe II du Protocole relatif aux Aires Spécialement Protégées et à la Diversité Biologique en Méditerranée (Protocole ASP/DB) et la Convention de Berne (désignation dans le texte d'Annexe I). Ces conventions obligent les Etats-parties à prendre des mesures pour protéger les espèces menacées, y compris *Cymodocea nodosa*, et leur habitat naturel.

En Algérie, elle est protégée par le Décret exécutif N°12-03 du 10 Safar 1433 correspondant au 4 janvier 2012, qui fixe la liste des espèces végétales non cultivées protégées dans le pays.

Chapitre 3

La baie de Bou Ismaïl

3. Présentation de La baie de Bou Ismaïl

Située à 50 km à l'ouest d'Alger, dans la wilaya de Tipaza, la baie de Bou Ismaïl est l'une des plus importantes de la côte algérienne. D'une superficie de 350 km², elle s'étend de 2°25' à l'ouest à 2°55' à l'est, et son ouverture est de l'ordre de 40 km, l'exposant aux vents dominants et aux grosses tempêtes. Insérée entre les massifs du Chenoua et d'Alger et orientée SW-NE, elle est délimitée à l'est par le massif d'Alger (Ras-Acrata) à l'est de Sidi-Fredj, le mont Chenoua à l'ouest (**Figure 7**), la plaine de la Mitidja au sud et la mer Méditerranée au nord. La largeur de la marge continentale est de l'ordre de 55 km.

Le littoral de Bou Ismaïl correspond à une côte basse aux abords déchiquetés mais non abrupts. A partir du bord, les fonds sous-marins sont constitués de zones rocheuses, de fonds sableux, d'herbiers de posidonie et de la vasière du large (Braïk, 1989).

A partir de -3 m, la bande côtière est occupée sur tout le site par des pelouses à zostères et à cymodocées qui se développent massivement sur un substrat de sable très fin (Braïk, 1989).

La côte de Bou Ismaïl relève du mode battu, car située dans une baie ouverte aux vagues et aux houles du large. L'analyse de la bathymétrie (Braïk, 1989) met en évidence le caractère très accidenté des fonds. Ces irrégularités morphologiques sont liées à la présence d'affleurements rocheux nombreux et d'herbiers de posidonies traversés de chenaux et de cuvettes intermattes.

Les données climatiques révèlent que la baie de Bou Ismaïl reçoit entre 400 et 700 mm/an de pluies, ce qui la situe dans une zone climatique sub-humide (Kadari-Meziane, 1994).

Le secteur de Bou Ismaïl est à vocations touristique, agricole et industrielle, et sa frange côtière est soumise aux rejets des villes et villages qui le jalonnent ainsi que des centres touristiques, particulièrement en période estivale.

Dans les vallées alluviales sublittorales de cette zone, les conditions agropédologiques offrent des sols cultivables du fait de leur profondeur et de leur texture fine. C'est ainsi qu'aux environs immédiats de l'oued Mazafran, il a été recensé plus d'une centaine d'explorations agricoles dont les sols sont traités par des produits phytopharmaceutiques et fertilisés par des engrais à base de nitrate, de phosphate et de potassium, ou de produits

à base de cuivre. Par le biais du ruissellement, tous ces produits contaminent les oueds et rejoignent les eaux superficielles marines.

Par ailleurs, le secteur de Bou Ismaïl compte plusieurs activités industrielles faisant partie de catégories diverses telle la métallurgie, la chimie générale, et autres tanneries, unités de textiles, de produits cosmétiques et pâte à papier.

Utilisés comme déversoirs naturels d'eaux usées (domestiques, industrielles et agricoles), les oueds constituent l'un des principaux vecteurs des polluants en mer. Ils interviennent de très près sur la nature des fonds et les paramètres physicochimiques de la zone de l'embouchure, et conditionnent de la sorte l'abondance et la diversité de ses peuplements. Tous les oueds traversent la plaine de la Mitidja du sud vers le nord, contournant les obstacles qu'ils rencontrent, avant de se jeter dans la mer.

Trois oueds perpendiculaires à la côte débouchent dans la baie de Bou Ismaïl (**Figure 7**) :

■ **Oued Mazafran** : c'est l'oued le plus important de la région ; il draine un bassin de 1900 km² (partie ouest de la Mitidja) et débouche sur la mer au niveau d'une petite plage sablonneuse à 30 km d'Alger, entre Zéralda et Douaouda. Son débit annuel est estimé à 13,8 m³/s. Il est caractérisé par des crues fortes et rapides en hiver- printemps qui augmentent la turbidité de la zone par la remise en suspension de substrats fins (Ait Kaci et Pauc, 1981). Trois oueds secondaires lui sont afférents : Bou-Roumi, Chiffa et Djer ;

■ **Oued Nador** : situé dans la partie occidentale, il draine, à partir des oueds Bouyersen, Bouardoun et Meurad, tous les apports solides du massif du Chenoua. D'un débit de 0.89 m³/s et s'étendant sur 230 km², il débouche sous forme d'un collecteur dans la petite baie du Chenoua, entre Djebel Chenoua et Tipaza ;

■ **Oued Béni Messous** : avec son débit réduit (0.245 m³/s), il ne participe que faiblement à l'enrichissement de cette baie.

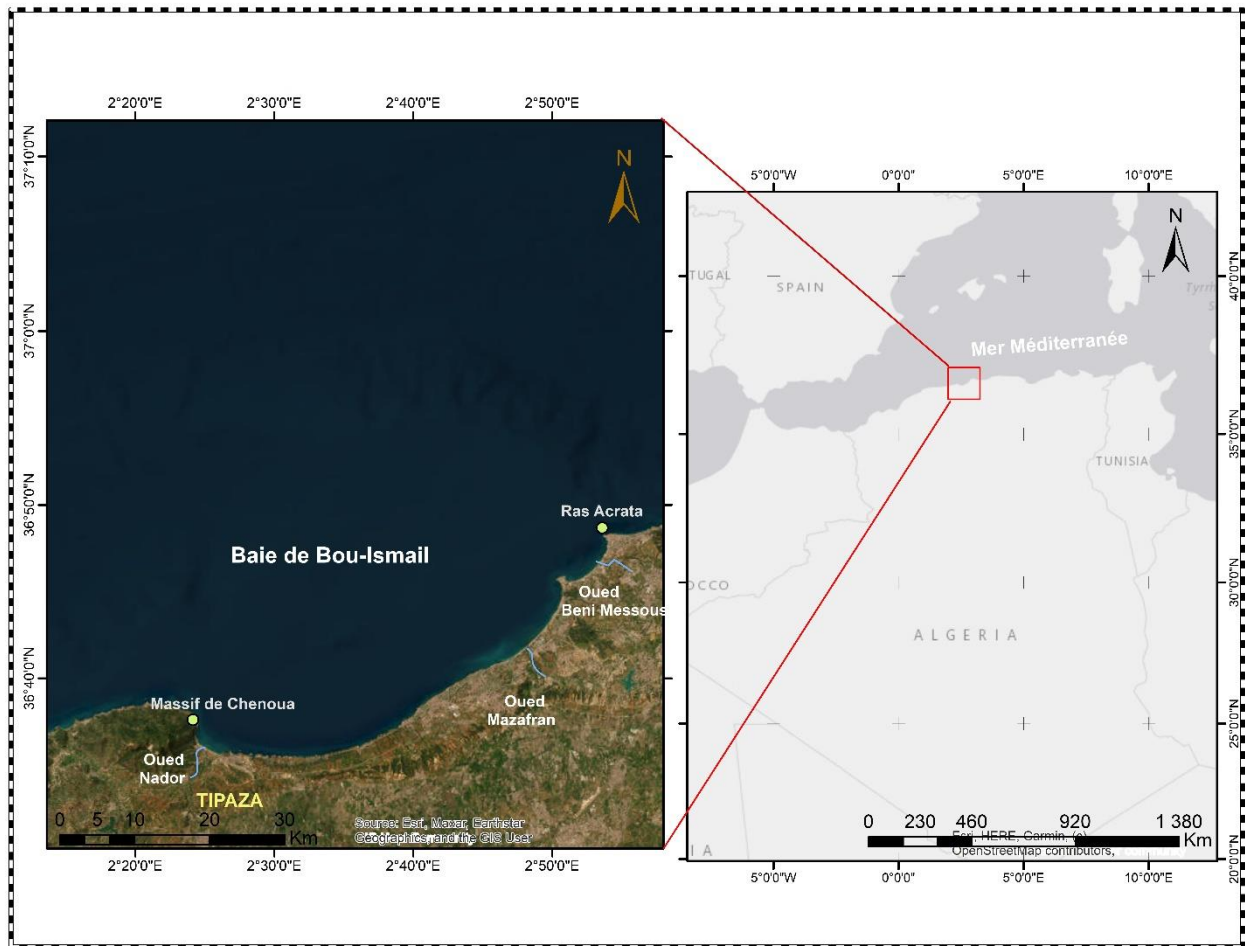


Figure 7. Situation géographique de la zone d'étude

3. 1. Les facteurs hydrodynamiques

L'hydrodynamisme d'une région dépend des conditions météorologiques, de sorte que le vent a une influence directe sur les courants locaux, et par conséquent sur la dispersion des polluants dans la zone de déversement. La baie de Bou Ismaïl étant très ouverte sur le large, elle est soumise à l'influence de la circulation qui règne dans le bassin algérien, et dépend ainsi étroitement de sa variation.

D'une manière générale, l'intensité des courants, les fréquences et les directions des houles et des vents évoluent dans un même sens et selon une bonne proportionnalité dans la baie de Bou Ismaïl (Braik, 1989).

3. 1. 1. Les courants

Dans la baie de Bou Ismaïl, les courants dominants sont de direction est-ouest et se retrouvent en face d'un courant opposé diffracté par la côte du Chenoua, créant ainsi un

courant de retour à l'Est de l'oued Nador. Des contre-courants locaux en liaison avec les vents dominants induisent un courant de direction moyenne NE-SW. La présence de ripple-marks sur le fond témoigne de l'existence de courants de fond assez importants, c'est notamment le cas à l'anse de Kouâli.

3. 1. 2. Les vents

D'une manière globale, une prédominance des vents NNW et NE est observée. L'hiver est caractérisé par une agitation quasi permanente au cours de laquelle les vents dominants proviennent des directions comprises entre NW à NNW. La saison estivale est relativement plus calme ou peu agitée, les vents du secteur NE à E étant dominants (Braik, 1989).

3. 1. 3. La houle

Les houles hivernales ont une direction contenue dans le secteur Ouest à Nord et sont perpendiculaires au littoral ; le transfert sédimentaire se fait vers le large engendrant un démaigrissement de la plage (courants de retour orientés SE-NW). En été, l'agitation est moins importante, et les houles les plus fréquentes arrivent du secteur NE, avec une direction de propagation pratiquement parallèle à la côte qui s'accompagne d'un engraissement partiel du rivage (courants de dérive littorale orientés SW).

Braik (1989) a relevé que les constructions proches de la mer constituent des structures réfléchissantes et favorisent le départ du sédiment vers le large.

3. 2. Etat de la pollution

Les quelques évaluations réalisées dans cette baie quant aux polluants chimiques (métaux lourds, hydrocarbures) indiquent une pollution modérée comparée aux autres baies algériennes (Sellali et al., 1995 ; Sellali, 1996). En revanche, des études microbiologiques plus anciennes (Aid et al., 1982) avaient déjà révélé une situation inquiétante, particulièrement à l'est de la baie, où le niveau de contamination fécale dépassait parfois le seuil admis pour la salubrité des milieux littoraux. Amara (1988), dans une étude sur la dynamique de la pollution en zone côtière dans la baie de Bou Ismaïl, concluait à une contamination des eaux par les rejets domestiques et agricoles.

Chapitre 4

Matériel et méthodes

4. Matériel et méthodes

Ce chapitre permet de présenter les différentes étapes qui ont été suivies pour mener le travail. La zone d'étude ainsi que le protocole d'échantillonnage et les méthodes utilisées pour traiter les données y sont décrites. L'objectif de ce chapitre est de présenter l'approche mise en œuvre afin de garantir la fiabilité et la validité des résultats.

Dans ce travail, deux stations de la baie de Bou Ismaïl ont été choisies.

4. 1. Présentation des sites d'étude

4. 1. 1. Anse de Kouali (AK)

Cette station est située dans la partie occidentale de la baie de Bou Ismaïl à l'est de la commune de Tipasa ; elle occupe une surface de 5 km². Elle est l'une des anses les plus abritées de la baie de Bou Ismaïl en raison de la présence d'un goulet, non loin du rivage, qui isole le fond et la protège de la houle du large (Le Gall, 1969). La présence du goulet et d'un îlot rocheux non loin du rivage a permis l'installation d'un récif-barrière à l'arrière duquel se développe une pelouse mixte à *Zostera noltii* et à *Cymodocea nodosa*, vu la zone de calme hydrodynamisme qui y règne. L'activité humaine est relativement faible, avec une occupation estivale des lieux pour la baignade. Cette zone est l'une des moins urbanisées et développées de la baie de Bou Ismaïl, ce qui en fait un lieu privilégié pour la conservation de la biodiversité marine. De plus, l'ensemble Mont Chenoua-anses de Kouali a été retenu par les autorités algériennes chargées de l'environnement pour bénéficier du statut d'« Aire Marine et Côtière Protégée » (Semroud et al., 1971 ; Mangos et Claudot, 2013).

L'Anse de Kouali présente un très bon état écologique avec des conditions environnementales proche des conditions de référence (Boumaza et al., 2022) (**Figure 8**).

4. 1. 2. La paillette (BI)

Cette station est située au nord-ouest du centre-ville de Bou-Ismaïl, Il s'agit d'une plage présentant une alternance de zones rocheuses et sablonneuses. Parfois, des dépôts de sédiments meubles recouvrent un substrat rocheux. Cette zone est caractérisée par une densité de population élevée, un trafic intense et la présence d'émissaires urbains non contrôlés (**Figure 8**).

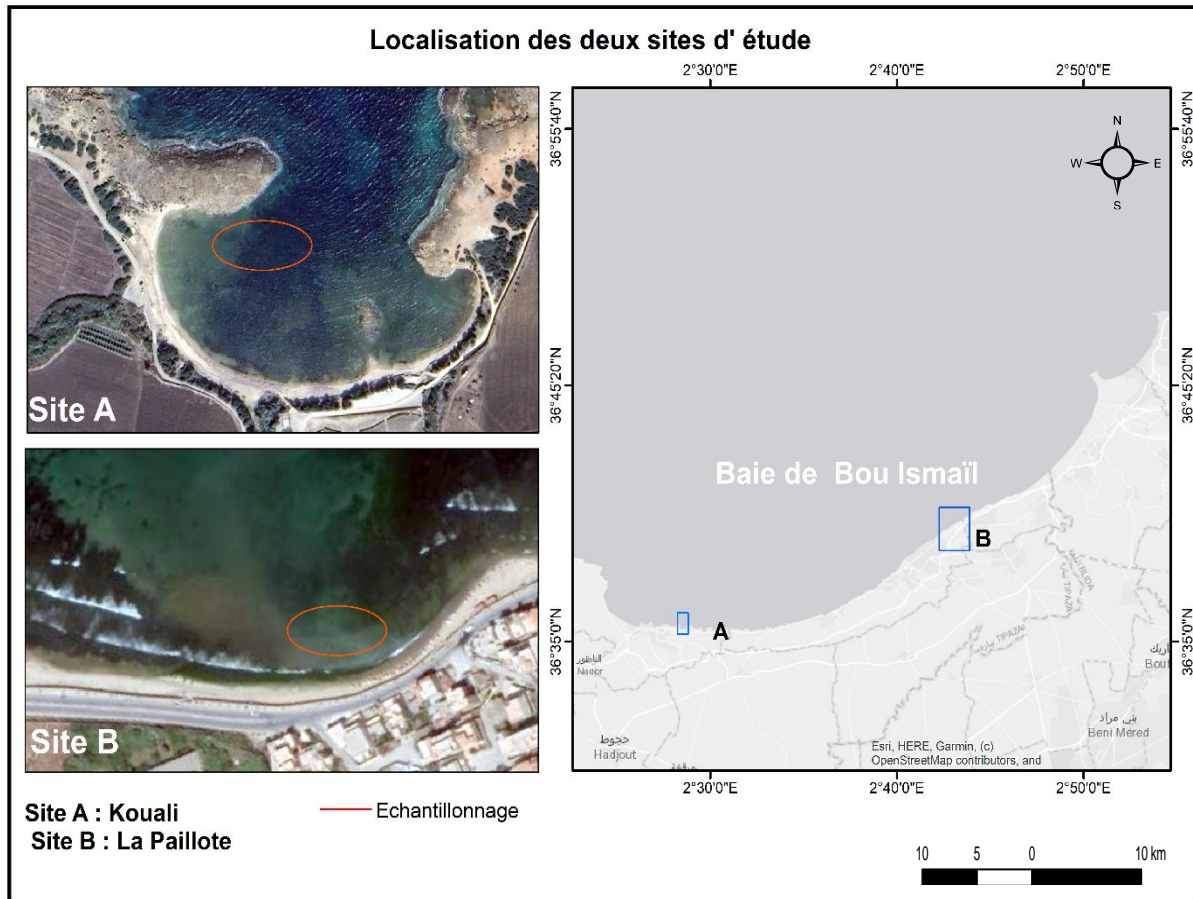


Figure 8. Localisation des deux sites d'étude.

4. 2. Prélèvement et traitement des échantillons

L'échantillonnage de *Cymodocea nodosa* a été réalisé mensuellement de mars à juin 2023 dans les deux stations de la baie de Bou Ismail. A l'anse de Kouali (AK), l'échantillonnage a été effectué en apnée à une profondeur de 1,50 m, tandis que dans la station de Bou Ismail (BI), il a été effectué en utilisant un scaphandre autonome à une profondeur de 2,50 m. Le travail réalisé est compilé dans le **tableau 1**.

Tableau 1. Tableau récapitulatif du travail réalisé sur terrain.

| Anse de Kouali (AK) | | Bou Ismaïl (BI) | |
|--|--|--|---|
| Date | Travail réalisé | Date | Travail réalisé |
| Le 16.3. 2023 (36° 35' 26" N 2° 29' 41" E) | - Collecte de faisceaux - Prise de Photos | Le 22.03. 2023 (36° 39' 11" N 2° 42' 3" E) | - Collecte de faisceaux - Marquage des faisceaux - Densité - Prise de Photos |
| Le 29.04.2023 | - Collecte de faisceaux - Densité - Prise de Photos | Données manquantes | Données manquantes |
| Le 03. 06. 2023 | - Collecte de faisceaux - Collecte de macroalgues associées | Le 01.06. 2023 | -Collecte de faisceaux - Densité - Collecte de macroalgues associées - Prise de Photos |

4. 2. 1. Techniques de différenciation entre *Cymodocea nodosa* et *Zostera noltii*

Sur le terrain, une vérification a été effectuée afin de déterminer si l'échantillon d'herbier contenait des fragments de *Zostera noltii* ou non. En plongée, il était nécessaire de déterrer délicatement une portion de rhizome et de regarder les nœuds. Chez *Zostera noltii*, chaque nœud donne naissance à plusieurs racines fines, chez *Cymodocea nodosa*, chaque nœud donne naissance à une racine unique et ramifiée ([https://doris.ffessm.fr/find/publicImages/\(people\)/177747](https://doris.ffessm.fr/find/publicImages/(people)/177747)).

De plus chez *Zostera noltii*, le limbe, à bord lisse et à apex obtus souvent incurvé dans sa partie médiane, présente trois nervures (une centrale et deux latérales), tandis que chez *Cymodocea nodosa* le limbe présente un apex dentelé et 7 à 9 nervures (Phillips & Menez, 1988). *Zostera noltii* est par ailleurs beaucoup plus petite, avec des feuilles de moins de 2 mm de largeur.

4. 2. 2. Mesure de la densité de l'herbier

La densité d'un herbier à *Cymodocea nodosa*, qui se base sur des observations effectuées *in situ*, correspond au nombre de faisceaux par unité de surface, généralement le mètre carré (m²). Les mesures de densité sont réalisées dans des quadrats de 20 cm de côté. Les mesures sont réparties de manière aléatoire dans l'herbier de façon à réduire les erreurs générées par le patchiness de la distribution des faisceaux. Dix répliques au total dans chaque station sont réalisées (**Figure 9**) (Duarte and Kirkman, 2001).



Figure 9. Quadrat de 20 x 20 cm utilisé pour mesurer la densité.

4. 2. 3. Etude des paramètres phénologiques

Pour étudier les paramètres phénologiques, 20 faisceaux de *Cymodocea nodosa* ont été prélevés à l'aide d'un couteau dans chaque station et transportés dans des sachets au laboratoire (la nature du contenant importe peu dans le cas de ce travail). Au laboratoire, ils sont mis dans des bocaux contenant de l'eau formolée à 10% pour leur conservation jusqu'à leur décortication (facultatif si le travail au laboratoire est immédiat).

Les faisceaux sont mis dans des bacs puis rincés avec de l'eau douce. Chaque faisceau est par la suite décortiqué en respectant l'ordre distique de l'insertion des feuilles : les feuilles différenciées situées à la périphérie des faisceaux sont formées par un limbe rubané rattaché à l'axe par un pétiole (gaine) et les jeunes feuilles (indifférenciées) situées au centre du bouquet foliaire présentent soit uniquement le limbe, pour les plus jeunes, soit un pétiole en cours de formation (Caye, 1989).

A signaler que dans ce travail, les feuilles dites « différenciées » désignent les feuilles munies d'un pétiole (≥ 2 mm) (Giraud, 1977) ; les feuilles dites « indifférenciées »

désignent les feuilles qui ne sont pas munies d'un pétiole.

Les paramètres phénologiques mesurés (ou comptés) sont (**Figure 10**) :

- le nombre de feuilles par faisceau,
- la longueur du pétiole quand celui-ci est présent : mesurée depuis son point d'insertion sur la tige jusqu'à l'arrondi de la ligule,
- la longueur totale des feuilles différenciées : elle englobe la longueur du pétiole et celle du limbe mesuré jusqu'à l'arrondi de l'apex,
- la longueur totale des feuilles indifférenciées : mesurée depuis le point d'insertion de la feuille jusqu'à l'arrondi de l'apex,
- la largeur des feuilles : mesurée vers le milieu du limbe.

Une fois les mesures portant sur l'ensemble des faisceaux d'une station terminées, différents paramètres, relatifs à la phénologie des feuilles de *Cymodocea nodosa*, sont estimés :

- le nombre moyen de feuilles globales, différenciées et indifférenciées par faisceau
- la longueur moyenne des feuilles globales, différenciées et indifférenciées
- la largeur moyenne des feuilles globales
- la longueur moyenne des pétioles

La surface foliaire moyenne par faisceau (SF) qui correspond à la surface des feuilles exprimée en cm²/ faisceau (Drew, 1971 ; Drew et Jupp, 1976). Elle est calculée pour chaque catégorie de feuilles (globales, différenciées et indifférenciées) à partir de l'équation suivante :

$$\text{SF des feuilles} = (\Sigma \text{Long} \times \Sigma \text{Larg}) \text{ par faisceau} / \text{Nombre de faisceaux}$$

Connaissant la densité, l'indice foliaire (Leaf area index, LAI) est calculé en multipliant la surface foliaire moyenne par la densité. Le LAI est exprimé en m²/m² et est calculé pour toutes les catégories de feuilles (globales, différenciées et indifférenciées).

Les paramètres mentionnés ont été sélectionnés en se référant à des études antérieures sur

la phénologie de *Cymodocea nodosa* tels que Reyes et al. (1995a) et Cancemi et al. (2002).

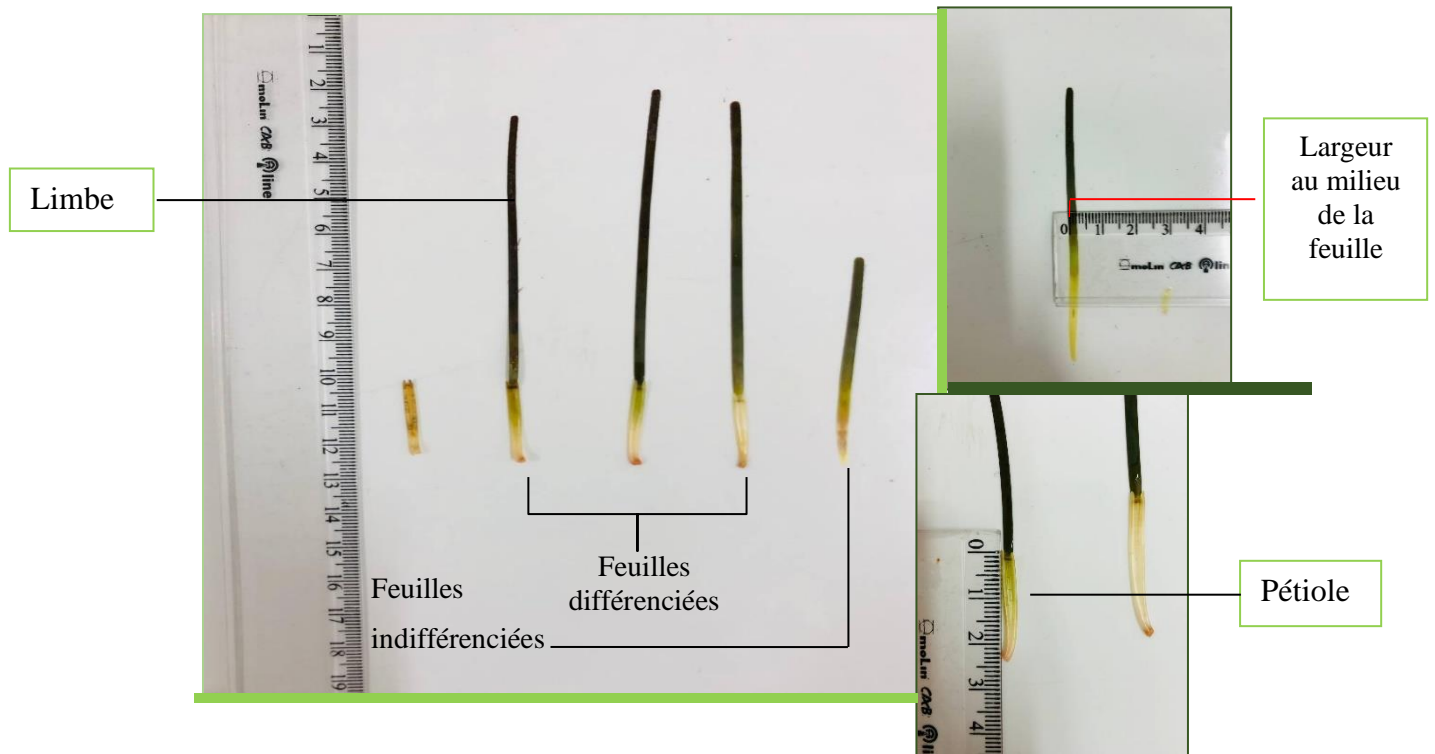


Figure 10. Photos montrant la mesure des paramètres phénologiques.

4. 2. 4 Recherche de macroalgues associées à l'herbier à *Cymodocea nodosa*

La collecte de macroalgues associée à l'herbier à *Cymodocea nodosa* a été effectuée dans les deux stations d'étude. Des blocs d'échantillons auxquels des algues sont associées ont été prélevés lors de la dernière sortie dans les deux stations et transportés au laboratoire pour leur identification. Une caméra sous-marine a également été utilisée pour capturer des images des deux herbiers (**Tableau 1**). Les échantillons sont conservés de la même façon que les faisceaux (dans de l'eau formolée à 10%).

Lors du tri des macroalgues, un premier travail est effectué à l'œil nu (macroscopique) qui permet dans un premier temps de distinguer les différentes espèces. Dans un deuxième temps, une loupe binoculaire (MOTIC ST-39) et un microscope (OPTIKA) ont été utilisés pour identifier certaines espèces. Les Fiches FAO des trois groupes d'algues, à savoir les algues rouges (Rhodophyta), les algues brunes (Phaeophyta) et les algues vertes (Chlorophyta), ont été utilisées comme référence lors de l'identification. Pour garantir la

précision des identifications, une actualisation a été effectuée en se référant aux deux sites World Register of Marine Species (WoRMS) <https://www.marinespecies.org/> et AlgaeBase (Guiry et Guiry, 2023) <https://www.algaebase.org/>. Ces sources fournissent des informations taxonomiques fiables sur les espèces d'algues répertoriées, ce qui a permis de confirmer les identifications lorsque cela s'est avéré nécessaire.

Par ailleurs, seule l'identification des espèces de macroalgues a été réalisée dans cette étude ; ceci pourrait aider à avoir plus de données sur la structure de l'herbier.

4. 2. 5. Etude de la croissance des feuilles

Dans le but d'étudier la croissance foliaire, un marquage a été réalisé lors de la première sortie à la station de Bou Ismaïl sur 20 faisceaux. Le marquage (une pique) a été placé au niveau du limbe à 1 cm de la gaine (**Figure 11**) (Zieman, 1974).



Figure 11. Marquage des faisceaux

Un retour sur la zone d'étude aurait permis de calculer la croissance des feuilles mensuelle.

Cette partie du travail n'a malheureusement pas pu être poursuivie, puisqu'il n'a pas été possible de réaliser une sortie un mois après la mise en place du marquage (**Tableau 1**).

4. 3. Traitements statistiques

Avant toute étude, il est nécessaire de procéder à une évaluation descriptive des données. Les tests statistiques ont été réalisés sur Excel.

4. 3. 1. Paramètres descriptifs

Les mesures réalisées sur le terrain sont résumées sous la forme de quelques paramètres ou valeurs typiques (moyenne, intervalle de confiance) dont le calcul constitue une réduction des données ; les séries statistiques sont alors caractérisées de manière simple.

La moyenne est un paramètre de position qui permet de caractériser l'ordre de grandeur des observations ; l'écart-type est, lui, un paramètre de dispersion qui permet de chiffrer la variation des valeurs observées autour du paramètre de position. De plus et afin d'avoir une information complète, l'estimation de la moyenne est précisée par la détermination d'un intervalle autour de celle-ci dont on a de bonnes raisons de croire qu'il contient la « vraie » valeur de la moyenne ; cet intervalle est dit intervalle de confiance (Dagnelie, 1998a).

4. 3. 2. Analyse de la variance

L'analyse de la variance à un critère de classification (ANOVA) a pour objectif de comparer des ensembles de plus de deux moyennes en identifiant les sources de variation qui peuvent expliquer les différences existantes entre elles.

L'ANOVA s'applique sur des populations normales et de même variance, et des échantillons aléatoires, simples et indépendants. Cette méthode est fondée sur la comparaison de deux types de variances : une variance totale (calculée avec l'ensemble des données) et une variance résiduelle (intragroupes). Le rapport des deux variances est comparé à la valeur F donnée par la table des distributions F de FISCHER-SNEDECOR à 5%.

Si la valeur de la table correspondant au nombre de degrés de liberté est inférieure à la valeur calculée, le facteur contrôlé est considéré comme introduisant des différences significatives.

4. 3. 2. 1. Normalité des distributions

Condition théoriquement indispensable pour l'application de l'ANOVA, elle est toutefois peu restrictive dans le cas d'effectifs importants, et ce, en raison de la rapide convergence des distributions d'échantillonnage de la moyenne vers les distributions normales (Dagnelie, 1998*b*).

Chapitre 5

Résultats et discussion

5. Résultats et discussion

5. 1. Partie densité et phénologie

Les résultats obtenus de densité, des paramètres de phénologie et de biométrie sont consignés dans le tableau ci-contre.

Tableau 2. Tableau récapitulatif des résultats de phénologie et de biométrie foliaire (Les intervalles de confiance sont entre parenthèses).

| Paramètre | Anse de Kouali | Bou Ismail |
|--|----------------|----------------|
| Densité foliaire (faisceau/m ² ; n = 10) | 732.5 (95,90) | 977.5 (152,26) |
| Nombre moyen des feuilles globales par faisceau (n = 20) | 4.58 (0.55) | 4.44 (0.66) |
| Nombre moyen des feuilles différenciées par faisceau (n = 20) | 3.43 (0.48) | 2.84 (0.54) |
| Nombre moyen des feuilles indifférenciées par faisceau (n = 20) | 1.38 (0.64) | 1.47 (0.58) |
| Longueur moyenne totale des feuilles globales (cm ; n = 20) | 9.01 (0.35) | 11.23 (0.51) |
| Longueur moyenne des feuilles différenciées (cm ; n = 20) | 10.34 (0.45) | 14.01 (0.71) |
| Longueur moyenne des feuilles indifférenciées (cm ; n = 20) | 5.47 (0.53) | 6.22 (0.63) |
| Largeur moyenne des feuilles globales (mm ; n = 20) | 2.00 (0.17) | 1.90 (0.21) |
| Longueur moyenne des pétioles (cm ; n = 20) | 3.16 (0.26) | 3.40 (0.38) |
| LAI moyen des feuilles globales (m ² /m ² ; n = 20) | 13.21 (0.16) | 22.44 (0.23) |
| LAI moyen des feuilles différenciées (m ² /m ² ; n = 20) | 15.39 (0.20) | 28.43 (0.32) |
| LAI moyen des feuilles indifférenciées (m ² /m ² ; n = 20) | 7.40 (0.23) | 11.59 (0.28) |

5. 1. 1. Densité

Les densités prises en ligne de compte sont celles mesurées à l'anse de Kouali le 29.04.2023 et à Bou Ismaïl le 22.03.2023. Bien que le nombre de mesures effectuées soit limité -le travail a été réalisé uniquement en saison printanière dans les deux sites-, le paramètre de densité reste particulièrement intéressant et demeure constant tout au long de l'année ; il dépend peu de la période à laquelle il est réalisé (Caye, 1982 ; PNUE-CAR/ASP, 2001).

Les résultats de l'analyse statistique indiquent une différence significative ($p < 0,05$) des densités entre les deux sites. La densité moyenne observée à Bou Ismaïl ($977.5 \pm 152,26$ faisceaux/m²) est supérieure à celle de l'anse de Kouali ($732.5 \pm 95,90$ faisceaux/m²) (**Tableau 2**).

La valeur de densité plus importante à Bou Ismaïl peut s'expliquer par le fait que les conditions d'hydrodynamisme sont différentes entre les deux sites. En effet, alors que l'anse de Kouali est une anse, son herbier est par conséquent beaucoup plus abrité que celui de Bou Ismaïl. Cela peut influencer également la dispersion des graines, car les courants dans le deuxième site sont plus forts et plus favorables à la pollinisation hydrophile et à la dispersion des graines.

La germination des graines, même si elle se reproduit chaque année dans les herbiers de *Cymodocea nodosa* (Buia et Mazzella, 1991 ; Mazzella et al., 1993 ; Terrados, 1993), elle peut ne cependant pas contribuer de manière significative au recrutement réussi de nouveaux faisceaux dans le processus dynamique de cet herbier (Cancemi et al., 2002), car il peut y avoir un nombre élevé de graines non germées à l'anse de Kouali.

La densité des faisceaux est une mesure importante pour évaluer le stress dans les zones côtières, comme l'ont souligné les études de Tuya et al. (2014) et de Fabbri et al. (2015). Cependant, d'autres chercheurs ont suggéré que ce paramètre seul pourrait ne pas être suffisant. Ils ont proposé d'autres descripteurs, tels que l'asymétrie de la taille des feuilles (Orfanidis et al., 2007, 2010 ; Orlando-Bonaca et al., 2015) ou des mesures associées telles que le rapport poids des racines et la charge en épiphytes (Oliva et al., 2012). Ces mesures complémentaires permettraient d'obtenir une image plus complète de la santé de l'herbier marin. Par ailleurs, Giangrande et Gambi (1986) expliquent qu'aux densités plus élevées correspondent une plus grande richesse spécifique, abondance et diversité du

peuplement associé ; ces paramètres sont toujours plus élevés en présence de végétation que sur les fonds meubles des mêmes aires non colonisées par la plante.

Les valeurs enregistrées de cet indice présentent le même ordre de grandeur que les valeurs généralement rencontrées en Méditerranée pour *Cymodocea nodosa* : entre 633 ± 75 et 704 ± 146 (Sghaier, 2013) en Tunisie, et entre 493 ± 118 et 450 ± 184 (Boutahar et al., 2022) au Maroc. Guidetti et Bussotti ont pour leur part enregistré des valeurs maximales en été (1776.09 ± 26.2) et minimales en hiver ($954. \pm 7.0$) dans le golfe d'Olbia (Italie).

5. 1. 2. Paramètres de phénologie

5. 1. 2. 1. Nombre de feuilles par faisceau

Le nombre de feuilles globales et le nombre de feuilles indifférenciées par faisceau n'ont pas montré de différence entre les deux sites d'étude. En revanche, le nombre de feuilles différenciées présente une différence significative entre l'anse de Kouali et Bou Ismaïl ($p < 0.01$). En effet, à l'anse de Kouali, le nombre de feuilles différenciées est de 3.43 ± 0.48 alors qu'à Bou Ismaïl il est de 2.84 ± 0.54 (**Tableau 2**), différence qui ne s'est pas répercutée sur le nombre de feuilles globales. Cette différence pourrait s'expliquer par la prédominance d'un type d'axe dans les faisceaux récoltés ainsi que leur âge. Le fonctionnement des apex est différent selon que les axes soient principaux ou latéraux : les axes à croissance plagiotrope montrent des séries successives d'entre-nœuds très courts de 1 à 2 mm et d'entre-nœuds longs de 3 mm à plusieurs centimètres (maximum observé : 7 cm). Les axes orthotropes, âgés d'un an et plus, présentent des séries d'entre-nœuds courts et des séries d'entre nœuds un peu plus longs (2 à 3 mm), soit beaucoup plus longs (jusqu'à 35 mm) (Caye, 1989) (Chapitre 2). Les résultats de cet auteur laissent supposer que le nombre de feuilles portées par un axe plagiotrope est supérieur à celui porté par un axe orthotrope (et inversement pour la longueur). De plus, lorsqu'un nombre de feuilles diminue, cela pourrait être dû à un mécanisme de coadaptation pour maximiser la capture de la lumière et éviter l'auto-ombrage au sein de l'herbier, comme le suggèrent Ralph et al. (2007). Cette tendance a été observée dans des sites impactés avec de faibles niveaux de lumière (Papathanasiou et al., 2015). Or, nos deux sites d'études semblent exposés à une luminosité suffisante.

Les valeurs du nombre de feuilles par faisceau enregistrées dans ce travail semblent concorder avec celles enregistrées dans l'étude de Boutahar et al. (2022). : 4.7 ± 1.2 pour les feuilles globales, 2.7 ± 0.7 pour les feuilles différenciées et 2.0 ± 0.8 pour les feuilles indifférenciées. Signalons que le nombre de feuilles maximal retrouvé sur un faisceau est de 7 à l'anse de Kouali.

5. 1. 2. 2. Longueur des feuilles

La longueur des feuilles globales et celle des feuilles indifférenciées n'ont pas montré de différence entre les deux sites de ce travail. Par contre les feuilles différenciées présentent une différence significative entre l'anse de Kouali qui enregistre la valeur de 10.4 ± 0.45 cm et Bou Ismaïl où la valeur de 14.01 ± 0.71 cm a été obtenue ($p < 0.001$) (**Tableau 2**). C'est cette même catégorie de feuilles par faisceau qui a présenté une différence significative lors du calcul du nombre. A Bou Ismaïl qui présente des feuilles différenciées plus longues, le mécanisme de coadaptation pour maximiser la capture de la lumière et éviter l'auto-ombrage au sein de l'herbier (Ralph et al., 2007) pourrait constituer une réponse à cet état de fait. Ces observations mettent en évidence la plasticité phénotypique de cette espèce, c'est-à-dire sa capacité à ajuster ses caractéristiques en réponse aux conditions environnementales. A signaler que la période de notre échantillonnage est la plus favorable à la croissance. Par ailleurs, la feuille la plus longue a mesuré 30.90 cm à Bou Ismaïl.

5. 1. 2. 3. Largeur des feuilles

Les données des largeurs des feuilles (globales) montrent une différence significative ($p < 0,05$) entre les deux sites. La moyenne de la largeur du limbe à l'anse de Kouali est de $2.00 \pm 0,17$ mm, tandis qu'elle est de $1,90 \pm 0,21$ mm à Bou Ismaïl (**Tableau 2**). Ces résultats indiquent que les feuilles de l'anse de Kouali seraient plus larges que celles de Bou Ismaïl.

Les valeurs enregistrées semblent légèrement plus faibles que celles enregistrées par Boutahar et al. (2022) au Maroc : 2.7 ± 0.8 mm et 2.5 ± 0.6 mm. Sghaier (2013) enregistre des valeurs de 2.3 ± 0.2 en février et 4.6 ± 0.6 en juillet en Tunisie.

5. 1. 2. 4. Longueur du pétiole

La longueur des pétioles n'a pas montré de différence entre les deux sites. La mesure de la longueur des pétioles est souvent associée au stade de développement des feuilles. Le pétiole d'une feuille différenciée est toujours plus jeune que le limbe auquel il est rattaché et son acquisition par la feuille a lieu lorsque l'allongement est presque totalement achevé (Giraud, 1977).

5. 1. 2. 5. Indice foliaire (LAI)

L'indice foliaire ou Leaf Area Index (LAI) est la surface totale des feuilles en m^2/m^2 . Il est utilisé en tant qu'indicateur de la surface utile de la plante. En effet, il est défini selon Weiss et al. (2004), comme étant « la principale variable qui gouverne le transfert radiatif puisqu'il reflète la quantité de surface des feuilles qui interceptent la lumière ».

Le calcul des LAI des feuilles globales et des feuilles différenciées par mètre carré présente des différences significatives entre l'anse de Kouali et Bou Ismaïl ($p < 0,001$) (**Tableau 2**). Les indices foliaires moyens enregistrés à Bou Ismaïl sont supérieurs à ceux de l'anse de Kouali. Par contre les LAI des feuilles indifférenciées ne montrent pas de différence entre les deux sites de cette étude.

La différence retrouvée entre les deux zones d'étude pourrait trouver son explication dans les valeurs de densité (paramètre entrant en ligne de compte pour le calcul de cet indice) qui présentent elles-mêmes des différences.

Les valeurs de LAI obtenues dans les deux stations, bien que significativement différentes, demeurent comparables à ce qui est généralement rencontré dans plusieurs localités de Méditerranée.

Discussion

La comparaison des différents descripteurs utilisés pour étudier la structure de *Cymodocea nodosa* au niveau des deux herbiers montre qu'à l'exception des mesures de la longueur du pétiole, les autres paramètres (densité, nombre, longueur et largeur des feuilles et LAI) présentent des différences significatives entre les deux stations.

En comparant la densité, la longueur des feuilles différenciées ainsi que les LAI des

feuilles globales et différenciées entre les 2 sites, les résultats ont montré que Bou Ismaïl présente des valeurs élevées par rapport à l'anse de Kouali. Ces variations pourraient être liées à des facteurs tels que la disponibilité en nutriment et/ou la force hydrodynamique de l'eau. Une forte présence de macroalgues en association avec l'herbier pourrait également constituer une réponse aux différences relevées, en particulier pour les feuilles différenciées. En effet, il est connu que les macroalgues sont constamment en concurrence avec l'herbier pour la lumière, l'espace et les nutriments. Les feuilles de *Cymodocea nodosa* vont dans ce cas mettre en place leur stratégie en s'élevant plus à la recherche de la lumière, d'où les valeurs importantes relevées dans cette étude.

Pour les deux stations, les paramètres phénologiques de *Cymodocea nodosa* étaient plus importants au début du mois de juin 2023, comparé au mois de mars et avril 2023 (observation des mesures prises). Par rapport à toute la période d'échantillonnage, ces paramètres pourraient représenter des valeurs maximales. En effet, Caye (1989) signale que les deux paramètres atteignent leur maximum en mai-juin. Cet auteur explique que c'est durant le mois de juin que le développement foliaire de *Cymodocea nodosa* est maximum, ce qui apparaît dans le nombre de faisceaux, le nombre de feuilles, leur longueur et leur surface foliaire développée par m² (LAI). Plus globalement, le printemps constitue la période la plus favorable au développement végétatif de *Cymodocea nodosa* (Caye, 1989).

En revanche l'été semble nettement défavorable à la croissance de cette espèce. En effet, cette saison correspond au ralentissement des axes de *C. nodosa*. De plus, en Méditerranée, au printemps, les conditions sont favorables à la fois à la photosynthèse et à l'absorption minérale, la croissance des Magnoliophytes est alors particulièrement intense. En été au contraire, l'efficacité de la photosynthèse diminue ainsi que les substances dissoutes, la croissance est alors minimum ou ralentie (Caye, 1989).

En automne, l'augmentation du taux des substances dissoutes peut permettre un nouveau départ du développement de certaines Magnoliophytes (telle *Posidonia oceanica*) et en hiver c'est la température trop basse qui est le facteur limitant l'activité des méristèmes caulinaires apicaux (Caye, 1989). En revanche, Sghaier (2013) aboutit dans son travail au fait que l'herbier de *Cymodocea nodosa* affiche une croissance maximale en juillet. Cet auteur conclut que les paramètres environnementaux (ensoleillement, température de l'eau

et salinité) ont une forte influence saisonnière sur la morphologie et la densité des faisceaux.

La comparaison de nos résultats avec d'autres études réalisées en Atlantique et en Méditerranée (Terrados & Rós, 1992 ; Reyes et al., 1995a ; Cancemi et al., 2002 ; Cunha et Duarte, 2007) confirme que *Cymodocea nodosa* présente un développement maximal au printemps et en été, lié à l'élévation de la température de l'eau et au taux de l'irradiance qui sont des facteurs modulateurs de la croissance de *Cymodocea nodosa* (Cancemi et al., 2002).

Des études sur la concentration en nutriments dans la colonne d'eau dans les deux sites sont nécessaires pour tenter de comprendre la différence dans la croissance entre les deux herbiers, car un nombre significativement plus faible de feuilles par faisceau à Bou Ismail soutient la théorie selon laquelle l'augmentation de la biomasse épiphyte déprime la productivité des prairies (Leoni et al., 2008 ; Bryars et al., 2011 ; Kelaher et al., 2013). En outre, une augmentation de la charge en nutriments peut favoriser la croissance de la biomasse épiphyte sur les feuilles de *Cymodocea nodosa*. Cette biomasse épiphyte peut avoir un effet négatif en réduisant la quantité de lumière disponible pour la photosynthèse des feuilles, ce qui limite la capacité de la plante à produire de l'énergie et à se développer efficacement. D'autant que ce paramètre est considéré comme plutôt stable pour les espèces d'herbiers marines (Cancemi et al., 2002).

Toutefois et comparés aux valeurs de densité enregistrées par certains auteurs, les résultats de ce travail semblent exprimer un état d'équilibre dynamique pour les deux herbiers.

5. 2. Les macroalgues associées à l'herbier à *Cymodocea nodosa*

Lors des sorties sur le terrain, avant de procéder à l'identification des macroalgues rencontrées dans l'herbier à *Cymodocea nodosa*, nous avons observé que les herbiers des deux stations présentaient des structures différentes. Cette constatation suggérait la présence de plusieurs espèces d'algues associées. Nous avons notamment observé une forte présence d'Ulves, reconnues par un thalle vert franc et qui se présente sous forme de rubans ou tubulaires pouvant atteindre une taille de 20 à 30 cm. (Wichard, 2015) lors de notre visite à Bou Ismail. Pour obtenir des informations plus précises et approfondies, nous avons utilisé une caméra sous-marine pour capturer des images de l'herbier. Cette approche nous a permis d'obtenir des données visuelles et de mieux comprendre la structure et la diversité de la communauté d'algues associées à l'herbier. Ces observations initiales ont joué un rôle essentiel dans l'orientation de nos recherches et ont contribué à une meilleure compréhension de la dynamique de l'herbier à *Cymodocea nodosa*.



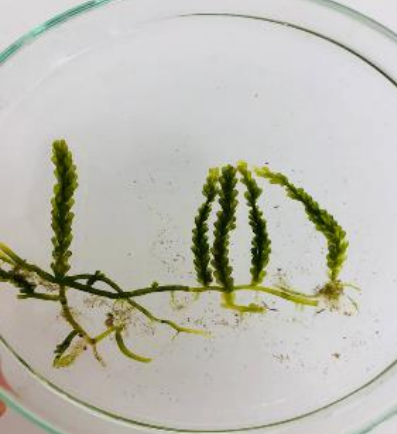
D'après l'identification des échantillons prélevés des deux stations, un total de dix espèces différentes a été recensé avec présence de trois espèces en association avec *Cymodocea nodosa* à l'anse de Kouali et sept espèces à la Paillote avec une seule espèce commune aux deux sites et qui est *Cystoseira compressa* (**Tableau 3, 4, 5**).

La diversité était plus importante à la Paillote par rapport à l'anse de Kouali, avec une abondance notable de chlorophytes. En revanche, l'abondance des Cystoseires était plus élevée à l'anse de Kouali qu'à la Paillote. (**Figure 12**).


Il convient de mentionner que lors des observations, nous avons constaté la présence et la propagation de l'algue invasive *Caulerpa racemosa* dans l'herbier de Bou Ismail. Dans ce qui suit, les espèces identifiées sont présentées par phylum.

■ **Phylum des Chlorophyta** : les chlorophytes constituent un groupe taxonomique composé d'algues vertes qui vivent dans les habitats marins. Ces espèces, bien que petites et souvent filamenteuses, sont capables de s'adapter plus facilement aux changements de l'environnement, et par-delà, leurs proportions augmentent avec la diminution de l'état de qualité de ce dernier (Wells et al., 2007).

Tableau 3. Les Chlorophyta associées à l'herbier à *Cymodocea nodosa* dans les deux stations d'étude.



| Espèce | Station | Caractéristiques |
|---|-----------|---|
|  <p data-bbox="580 300 874 728"><i>Ulva sp</i> Linnaeus, 1753</p> | BI | Macroalgue opportuniste, elle présente des capacités d'adaptation élevées (Orfanidis et al., 2011) |
|  <p data-bbox="580 741 874 1189"><i>Codium vermilara</i> (Olivi) Delle Chiaje, 1829</p> | BI | Espèce opportuniste filamenteuse (Orfanidis et al., 2011). |
|  <p data-bbox="580 1196 874 1635"><i>Caulerpa racemosa</i> (Forsskå) J. Agardh, 1873</p> | BI | Espèce envahissante (Verlaque et al., 2003, 2004 ; Piazzini et al., 2005), présente une expansion rapide due à sa diversité reproductive (Raniello et al., 2007). |

Suite tableau



| | | | |
|---|------------------------------|------------------|--|
|  | <p><i>Cladophora spp</i></p> | <p>BI</p> | <p>Espèce filamenteuse à croissance rapide. Peut se développer dans tous les environnements, mais à forte abondance. Espèce opportuniste (IFREMER, 2019) ; (Orfanidis et al., 2011).</p> |
|---|------------------------------|------------------|--|

■ **Phylum des Ochrophyta** : ce sont les algues brunes. Elles vivent pour la plupart en eau salée et sont abondantes dans les zones côtières tempérées en eau froide (Rioux et Turgeon, 2015).

Tableau 4. Les Ochrophyta associées à l'herbier à *Cymodocea nodosa* dans les deux stations d'étude



| Espèce | Station | Caractéristiques |
|---|---|---|
|  | <p><i>Dictyopteris polypodioides</i> (A.P. De Candolle) J.V.Lamouroux, 1809</p> | <p>BI</p> <p>Espèce préférant les eaux eutrophiques ; sa présence pourrait être le signe d'un milieu perturbé par les effluents urbains (Peres et Picard, 1964 ; Gramulin-Brida et al., 1967).</p> |
|  | <p><i>Padina pavonica</i> (Linnaeus) Thivy, 1960</p> | <p>AK</p> <p>Cette espèce se fixe souvent (en épiphyte) sur d'autres algues. Elle ne peut supporter que de très brèves expositions à l'air libre. C'est une espèce indicatrice de bon état écologique et espèce opportuniste (IFREMER, 2021)</p> |

Suite tableau

| | | | |
|--|---|----------------------|---|
|  | <p><i>Sargassum</i> (<i>Sargassum</i>) vulgare C. Agardh, 1820</p> | <p>AK</p> | <p>Espèce exotique envahissantes (EEE) : espèce exotique établies dans les habitats ou écosystèmes naturels qui deviennent des vecteurs de changements, conduisant à une abondance et à une répartition en hausse, et menaçant la diversité biologique indigène (Otero et al., 2013).</p> |
|  | <p><i>Cystoseira compressa</i> (Esper) Gerloff & Nizamuddin, 1975</p> | <p>AK, BI</p> | <p>Espèce à croissance lente (Orfanidis et al., 2011)</p> |

■ **Phylum des Rhodophyta** : ce sont les algues rouges. Elles sont principalement marines dans leur distribution et prédominent le long des zones côtières et du plateau continental des régions tropicales à polaires. Parmi tous les autres groupes d'algues, les rhodophytes présentent la distribution verticale la plus large depuis la zone supralittorale avec jusqu'au sublittoral le plus profond. Ils constituent une forte proportion de petites espèces filamenteuses et délicates. Lorsque qu'une amélioration de la qualité de l'environnement est enregistrée, le nombre d'espèces de ce phylum augmente (Wells et al., 2007). Ces espèces sont considérées comme un indicateur du point chaud de la biodiversité (PNUE, 2019).

Tableau 5. Les Rhodophyta associées à l'herbier à *Cymodocea nodosa* dans les deux stations d'étude.

| Espèce | Station | Caractéristiques |
|--|---|---|
|  | <p style="text-align: center;"><i>Corallina officinalis</i> Linnaeus, 1758</p> | <p>BI</p> <p>Elle fait partie des espèces calcaires à croissance lente, adaptées à l'ombre (Panayotidis et al., 2004 ; Orfanidis & Panayotidis, 2005).</p> |
|  | <p style="text-align: center;"><i>Hypnea musciformis</i> (Wulfen) J. V. Lamouroux, 1813</p> | <p>BI</p> <p>Espèce préférant les eaux eutrophiques ; pourrait être un signe d'un milieu perturbé par les émissaires urbains d'eaux usées (Gramulin-Brida et al., 1967). Espèce opportuniste (Orfanidis et al., 2011).</p> |

Discussion

La forte présence de macroalgues opportunistes (*Ulva sp*) à la Paillote pourrait être le reflet de conditions défavorables et d'une pollution plus élevée, résultant des pressions exercées par les activités humaines telles que la proximité des oueds et des ports, le déversement des eaux usées non traitées, une urbanisation intensive et la présence d'un grand nombre d'entités industrielles. Cette présence, telle que décrite précédemment, peut être favorisée par un excès de nutriments et des conditions troubles, comme l'ont souligné les études de Harlin (1995), Schramm et Nienhuis (1996) et Viaroli et al. (2008). Ces macroalgues opportunistes bénéficient d'une assimilation efficace des nutriments (Thompson & Valiela, 1999). Ainsi, les conditions sont propices à la croissance de ces macroalgues opportunistes, ce qui soutient davantage l'affirmation précédente sur l'impact des pressions anthropiques sur les communautés d'algues. Dans ce cas, certains taxons opportunistes peuvent commencer à dominer (Gaspar et al., 2012).

Dans les herbiers clairsemés, pendant le développement automnal maximal de *Caulerpa racemosa*, cette algue peut établir une canopée dense et recouvrir complètement le fond et les rhizomes des herbiers (Ceccherelli et al. 2000). *Caulerpa racemosa* a un fort caractère invasif, car elle peut diminuer l'abondance d'autres espèces en se propageant dans cette région et peut modifier l'habitat où elle se trouve, ce qui présente un danger pour l'état de l'herbier à *Cymodocea nodosa* à la Paillote.

Les peuplements à *Cystoseira spp.*, recensés à l'anse de Kouali, sont considérées comme les plus sensibles en cas de pollution (Díez et al., 2012 ; Pinedo et al., 2007), car les communautés dominées par *Cystoseira* prospèrent dans des sites de référence (Arévalo et al., 2007), ce qui permet de dire que l'anse de Kouali est un milieu de bonne qualité en le comparant à la Paillote. D'autant que c'est dans ce site également qu'a été rencontrée *Padina pavonica* qui est une espèce indicatrice d'un bon état écologique du milieu.



Figure 12. Abondance des *Cystoseires* dans l'herbier de *Cymodocea nodosa*
À l'anse de Kouali.

Plus globalement, les changements de proportion d'espèces des rhodophyta et des chlorophyta sont considérés comme révélateurs d'influences anthropiques et de changements dans l'état de la qualité de l'environnement (Wells et al., 2007). Dans ce

travail, il est essentiel de souligner l'importance de surveiller ces variations de proportion dans l'herbier de *Cymodocea nodosa*, car elles fournissent des informations précieuses sur les impacts anthropiques spécifiques qui affectent la qualité de cet écosystème.

Enfin, l'abondance maximale de nombreuses espèces associées à l'herbier de *Cymodocea nodosa* coïncide avec le développement maximal de l'herbier (printemps - été), qui fournit plus de ressources à cette période (surface, biomasse, protection, alimentation).

Conclusion



Conclusion

Ce travail, qui constitue une étude préliminaire sur les caractéristiques structurelles de *Cymodocea nodosa*, a été réalisé dans deux sites (anse de Kouali et Bou Ismaïl) de la baie de Bou Ismaïl au cours de la saison printanière (avril, mai et juin 2023).

La densité des deux herbiers a été comptabilisée grâce à un quadrat de 20 cm de côté. Dix (10) mesures ont été réalisées. Pour la phénologie, 20 faisceaux ont été collectés tous les mois dans les deux sites et les mesures du nombre, de la longueur et de la largeur des feuilles ainsi que la longueur des pétioles ont été effectuées. L'indice foliaire (LAI) a été calculé par la suite. Pour l'identification des macroalgues, un bloc composé de *Cymodocea nodosa* auquel étaient associées plusieurs espèces de macroalgues ont été collectés dans les deux sites. Une Anova à un facteur a été appliquée pour la comparaison entre les deux sites.

Les mesures de densité ont révélé que l'herbier de Bou Ismaïl était plus dense que celui de l'anse de Kouali. Par ailleurs, les autres paramètres de phénologie ont montré quelques différences, notamment le nombre de feuilles différenciées par faisceau qui était plus important à l'anse de Kouali. Ces mêmes feuilles différenciées étaient plus longues à Bou Ismaïl.

L'identification des macroalgues associées à l'herbier à *Cymodocea nodosa* a dévoilé un nombre d'espèces de macroalgues plus important à Bou Ismaïl (7 espèces) qu'à l'anse de Kouali (3 espèces).

L'étude phénologique associée à l'étude portant identification des macroalgues rencontrées dans les herbiers à *Cymodocea nodosa* a révélé que le nombre plus important de macroalgues enregistré à Bou Ismaïl pouvait créer de l'ombre à *Cymodocea nodosa* qui en termes de réponse, va augmenter la croissance de ses feuilles (notamment les différenciées) afin d'améliorer la capture de lumière et de réduire l'ombrage. Cette réponse confère à *Cymodocea nodosa* une capacité de compétition supérieure. Cet état de fait mettrait en évidence la plasticité phénotypique de cette espèce, c'est-à-dire sa capacité à ajuster ses caractéristiques en réponse aux conditions environnementales (Goldberg, 1996).

Le calcul du LAI a lui aussi montré des différences pour les feuilles globales et les feuilles

différenciées, avec des valeurs plus importantes à Bou Ismaïl. Cette différence pourrait émaner de la différence enregistrée pour les densités, dans la mesure où ce paramètre entre dans l'estimation des LAI.

Toutefois et comparés aux valeurs enregistrées par certains auteurs, notamment pour la densité, les résultats de ce travail semblent exprimer un état d'équilibre dynamique pour les herbiers des deux sites.

Plusieurs paramètres tels que l'ensoleillement, la température de l'eau et la salinité pourraient également influencer ou moduler la croissance de *Cymodocea nodosa*. La prise en compte de ces paramètres dans les prochaines études est conseillée. Cela, y compris la dynamique saisonnière des macroalgues envahissantes, à l'exemple de *Caulerpa racemosa*, qui va exiger une planification des activités de surveillance entre avril et juin, et pas plus d'une fois par an (UNEP, 2019).

Par ailleurs, un travail mené sur une durée plus longue pourrait apporter plus de données pour une meilleure connaissance du cycle de vie de *Cymodocea nodosa*.

Ces résultats préliminaires pourraient ouvrir la voie à des études plus approfondies qui viseraient à mieux comprendre les variations observées, afin de développer des stratégies de gestion contribuant à la préservation de l'herbier à *Cymodocea nodosa*. En effet, il serait important de poursuivre les recherches sur cette espèce, qui occupe la deuxième place en termes d'importance parmi les Magnoliophytes marines en Méditerranée, après *Posidonia oceanica*. Il est primordial d'accorder une attention à la préservation de cet herbier précieux. Ces premiers résultats pourraient servir d'éléments de base pour des recherches ultérieures pour assurer la pérennité de *Cymodocea nodosa*. En combinant ces efforts de recherche et de gestion, il serait possible de préserver cet écosystème essentiel pour les équilibres écologiques de la région méditerranéenne, en particulier la rive sud. Et ce, sachant qu'aujourd'hui, *Cymodocea nodosa* est déjà retenue pour la mise en œuvre de certains indicateurs écologiques, notamment : Phase-Shift Index (PSI) ; Substitution Index (SI) pour l'évaluation de l'état de conservation ; *Cymodocea nodosa* Multivariate Index (CYMOX) pour la bioindication de la qualité de l'eau ; MediSkew pour la bioindication de la qualité de l'eau, l'état écologique et l'état de conservation ; Ecological evaluation index (EEI) pour la bioindication de la qualité de l'eau (DCE).

Bibliographie

Bibliographie

-A-

- Agostini, S., Pergent, G., Bernard, M., (2003).** Growth and primary production of *Cymodocea nodosa* in a coastal lagoon. *Aquat. Bot.* Vol 76. P.P. 185–193.
- Aid F., Gaumer G., Samson-Kechacha F. L., (1982).** Evolution saisonnière de la pollution des plages de l'Ouest algérois. VIe Journées d'étud. Pollution, Cannes, CIESM. P.P. 609-613.
- Ait-Kaci A. D., Pauc H., (1981).** Le rôle de l'oued Mazafran dans la sédimentation fine. *Pelagos, Bull. Inst. Océanogr. Algérie*, VI, Vol. 1. P.P. 1-14.
- Amara R., (1988).** Contribution à l'étude de la dynamique de la pollution en zone côtière (cas de Bou Ismaïl, ex-Castiglione). Mémoire DES. Environnement marin. Alger : ISMAL. P.P. 1-48.
- Adriana Giangrande, Maria Christina Gambi., (1986).** Polychètes d'une pelouse à *Cymodocea nodosa* (ucria) aschers du golfe de Salerno (mer Tyrrhénienne). *Vie et Milieu / Life & amp ; Environment*. P.P.185-190.

-B-

- Balestri, E., Cinelli, F., (2001).** Isolation and cell wall regeneration of protoplasts from *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa*. *Aquatic Botany*. Vol. 70. P.P. 237-242.
- Bañolas G, Fernández S, Espino F, Haroun R, Tuya F., (2020).** Evaluation of carbon sinks by the seagrass *Cymodocea nodosa* at an oceanic island: Spatial variation and economic valuation. *Ocean & Coastal Management* 187 :105112. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105112>
- Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, C., Koch, E.W., Stier, A.C., Silliman, B.R., (2011).** The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs* Vol. 81. P.P. 169–193. <https://doi.org/10.1890/10-1510.1>
- Barsanti M., Delbono I., Ferretti O., Peirano A., Bianchi C.N., Morri C., (2007).** Measuring change of Mediterranean coastal biodiversity: diachronic mapping of the meadow of the seagrass *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson in the Gulf of Tigullio (Ligurian Sea, NW Mediterranean). *Hydrobiologia*. Vol. 580. P.P. 35–41.
- Bchir R, Sami Djellouli A, Zitouna N, Aurelle D, Pergent G, Pergent-Martini C, Langar H., (2019).** Morphology and Genetic Studies of *Cymodocea* Seagrass Genus in Tunisian Coasts. *Phyton*. Vol. 88. P.P. 171–184.
- Boudouresque C.F., Bernard G., Pergent G., Shili A., Verlaque M., (2009).** Regression of Mediterranean Seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review. *Botanica Marina*. Vol. 52. P. P. 395-418.
- Boumaza S, Sengouga A, Gasmi D, Misraoui A, Pergent G, Semroud R., (2022).** Patterns of *Posidonia oceanica* (L.) Delile tannin cells and leaf characteristics according to environmental conditions. *Medit Mar Sci* Vol. 23. P. P. 879–889.
- Braïk D., (1989).** Etude de la dynamique sédimentaire devant Bou Ismaïl : sédimentologie, morphologie, problème d'érosion du littoral, aménagement. Thèse de Magister, Inst. Sci. De la Terre, Alger : USTHB. P. P. 1-174.
- Bryars, S., Collings, G., Miller, D., (2011).** Nutrient exposure causes epiphytic changes and coincident declines in two temperate Australian seagrasses. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 441. P. P. 89-103.
- Buia M.C. and L. Mazzella., (1991).** Reproductive strategies of the Mediterranean Seagrasses: *Posidonia oceanica* (L.) Delile, *Cymodocea nodosa* (Ucria) Aschers., *Zostera noltii* Hornem. *Aquat. Bot.* Vol. 40, n° 4. P. P. 333-342.
- Buia M.C., Mazzella L., Russo G.F., Scipione M.B., (1985).** Observation on the distribution of *Cymodocea nodosa* (Ucria) Aschers. Prairies around the island of Ischia (Gulf of Naples). *Rapp. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.* Vol. 29, n°6. P. P. 205- 208.

-C-

- Cabioc'h J., Floch J.-Y., Le Toquin A., Boudouresque C.-F., Meinesz A., Verlaque M., (2006).** GUIDE DES ALGUES DES MERS D'EUROPE, MANCHE, ATLANTIQUE, MEDITERRANEE, Les guides du naturaliste, ed. Delachaux & Niestle. P. 272.
- Canals, M. and E. Ballesteros., (1997).** Production of carbonate particles by phytobenthic communities on the Mallorca-Menorca shelf, northwestern Mediterranean Sea. *Deep-Sea Res. II*. Vol. 44. P. P. 611–629.
- Cancemi, G., Buia, M.C., Mazzella, L., (2002).** Structure and growth dynamics of *Cymodocea nodosa* meadows. *Scientia Marina*. Vol. 66. P. P. 365-373.
- Catsiki, V. A., Panayotidis, P. Papathanassiou, E., (1987).** Bioaccumulation of heavy metals by seagrasses in Greek coastal waters *Posidonia Newsletter* Vol. 1. P. P. 21-3.
- Caye G., (1989).** Sur la morphogénèse, le cycle végétatif et la reproduction de deux phanérogames marines de Méditerranée : *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile et *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson. Thèse habilitation, France: Univ. Nice. P. P. 1-229.
- Caye, G. and A. Meinesz., (1985).** Observations on the vegetative development, flowering and seedling of

Cymodocea nodosa (Ucria) Ascherson on the Mediterranean coast of France. Aquat. Bot. Vol. 22. P. P. 277–289.
Ceccherelli, G., Piazzi, L., & Cinelli, F., (2000). Réponse de l'espèce non indigène *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh à l'herbier indigène *Posidonia oceanica* (L.) Delile : effet de la densité des pousses et de l'orientation des bords de prairies. - J. Exp. Mar. Biol. Écol. Vol. 243. P. P. 227-240.

Christianen, M.J.A., van Belzen, J., Herman, P.M.J., van Katwijk, M.M., Lamers, L.P.M., van Leent, P.J.M., Bouma, T.J., (2013). Low-Canopy Seagrass Beds Still Provide Important Coastal Protection Services. PLoS ONE 8, e62413. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062413>

Cinelli F., Pardi G., Papi I., (1995). Plant biology. In : F. Cinelli, E. Fresi, C. Lorenzi & A. Mucedola (Eds), "La *Posidonia oceanica*". Rivista Marittima Publ. Vol. 12 (Suppl.). P. P. 17-27.

Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I., Farber, S., Turner, R.K., (2014). Changes in the global value of ecosystem services. Global Environmental Change. Vol. 26, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>

Cunha, A.H. and C.M. Duarte., (2005). Population age structure and rhizome growth of *Cymodocea nodosa* in the Ria Formosa (southern Portugal). Mar. Biol. Vol. 146. P. P. 841–847.

Cunha, A.H. and C.M. Duarte., (2007). Biomass and leaf dynamics of *Cymodocea nodosa* in the Ria Formosa lagoon, south Portugal. Bot. Mar. Vol. 50. P. P. 1–7.

-D-

Dagnelie P., (1998a). Statistique théorique et appliquée. Statistique appliquée et descriptive et bases de l'inférence statistique. Tome 1. De Boeck et Larcier, Paris, Bruxelles : Département De Boeck Université. P. P. 1-499.

Dagnelie P., (1998b). Statistique théorique et appliquée. Inférence statistique à une et à deux dimensions. Tome 2. De Boeck et Larcier, Paris, Bruxelles : Département De Boeck Université. P. P. 1-659.

de la Torre-Castro, M., Di Carlo, G., Jiddawi, N.S., (2014). Seagrass importance for a small-scale fishery in the tropics: The need for seascape management. Marine Pollution Bulletin Vol. 83. P.P. 398–407. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.03.034>

de la Torre-Castro, M., Rönnbäck, P., (2004). Links between humans and seagrasses—an example from tropical East Africa. Ocean & Coastal Management. Vol. 47. P. P. 361–387. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2004.07.005>

Den Hartog C., (1970). Seagrasses of the World. North-Holland Publishing Company, Amsterdam Dorenbosch M, Grol MGG, Christianen MJA, Nagelkerken I, van der Velde G (2005) Indo-Pacific seagrass beds and mangroves contribute to fish density and diversity on adjacent coral reefs. Mar Ecol Prog Ser. Vol. 302. P. P. 63–76.

Drew E. A., (1971). Botany. Underwater Science. An introduction to experiments by divers. Woods and Lithgoe

Drew E. A., Jupp B. P., (1976). Some aspects of the growth of *Posidonia oceanica* in Malta. Underwater

Drew, E.A., (1978). Factors affecting photosynthesis and its seasonal variation in the seagrasses *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascher, and *Posidonia oceanica* (L.) Delile in the Mediterranean. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. Vol. 31. P. P. 173–194.

Duarte CM., (2002). The future of seagrass meadows. Environ Conserv. Vol. 29. P. P. 192–206.

Duarte, C.M. & Cebrián, J., (1996). The fate of marine autotrophic production. Limnology and Oceanography. Vol. 41.

Duarte, C.M., and Kirkman, H., (2001). Methods for the measurement of seagrass abundance and depth distribution. In FT Short and RG Coles Global Seagrass Research methods, Elsevier. P. P. 141-153.

Duarte, C.M., Chiscano, C.L., (1999). Seagrass biomass and production: a reassessment. Aquatic Botany 65.P. P. 159–174. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(99\)00038-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(99)00038-8)

Duarte, C.M., Losada, I.J., Hendriks, I.E., Mazarrasa, I., Marbà, N., (2013). The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. Nature Clim Change 3. P.P. 961–968. <https://doi.org/10.1038/nclimate1970>

Duarte, C.M., Middelburg, J., and Caraco, N., (2005). Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. Biogeosciences. Vol. 2. P. P. 1-8.

Duarte, C.M., Middelburg, J.J., Caraco, N., (2005). Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle 9. edit. London : 1-59. Research, Academic Press, London. P. P. 357-367.

-E-

Eckert, CG., (2001). La perte du sexe chez les plantes. Évol. Écol. Vol. 15, n° (4–6). P. P. 501–520.

Eva, A.N., (1980). Premiocene seagrass communities in the Caribbean, P. 6.

-F-

Fabrizi, F., Espino, F., Herrera, R., Moro, L., Haroun, R., Riera, R., González-Henriquez, N., Bergasa, O., Monterroso, O., de la Rosa, M.R., (2015). Trends of the seagrass *Cymodocea nodosa* (Magnoliophyta) in the Canary Islands: population changes in the last two decades. Sci. Mar. Vol. 79. P. P. 7–13.

Fourqurean, J.W., Duarte, C.M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M.A., Apostolaki, E.T., Kendrick, G.A., Krause-Jensen, D., McGlathery, K.J., Serrano, O., (2012). Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geosci.* Vol.5. P. P. 505–509. <https://doi.org/10.1038/ngeo1477>

-G-

Gaspar, R., Pereira, L., Neto, J., (2012). Ecological reference conditions and quality states of marine macroalgae sensu Water Framework Directive: An example from the intertidal rockyshores of the Portuguese coastal waters. *Ecological Indicators.* Vol. 19, P. P. 24–38.

Gerbal, M., Verlaque, M., (1995). Macrophytobenthos de substrat meuble dans l'étang de Thau (France, Méditerranée) et facteurs environnementaux associés. *Oceanologica Acta.* Vol. 18, n°5. P. P. 557-571.

Giraud, G., (1977). Contribution à la description et à la phénologie des herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse Doctorat. Spécialité, France : Univ. Aix-Marseille II. P. P. 1-150.

Goldberg, D.E., (1996). Competitive ability: definitions, contingency and correlated traits. *Philos. Trans.: Biol. Sci.* n° (1377–1385).

Gramulin-Brida, H., Giaccone, G., Golubic, S., (1967). Contribution aux études des biocénoses subtidales. *Helgolander. Wiss. Meeresunters.* Vol. 15, P.P. 429-444.

Green, A., Chadwick, M.S., Jones, P.J.S., (2018). Variability of UK seagrass sediment Carbon: implications for blue carbon estimates and marine conservation management. *PloS One.* Vol. 13, n°9, e0204431.

Green, E.P., Short, F.T., (2003). World Atlas of Seagrasses. UNEP-WCMC.

Guidetti, P., M. Lorenti, M.C. Buia and L. Mazella., (2002). Temporal dynamics and biomass partitioning in three Adriatic seagrass species: *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina*. *P.S.Z.N.I: Mar. Ecol.* Vol. 23. P. P. 51–67.

Gutiérrez DG., (2019). Spatial and temporal variability of *Cymodocea nodosa* meadows in Gran Canaria Island. Thesis, España : Facultad De Ciencias Del Mar, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. P. 32.

-H-

Haritonidis S., Diapoulis A., Nikolaidis G., (1990). First results on the localisation of the herbiers of marine phanerogams in the Gulf of Thermaikos. *Posidonia Newsletter.* Vol. 3, n°2. P. P. 11–18.

Harlin, M.M., (1995). Changements dans les principaux groupes de plantes suite à un enrichissement en éléments nutritifs. P. P. 173-187. Dans : Estuaires et lagons peu profonds eutrophiques, AJMC Comb (Ed.), Institute for Environmental Science, Murdoch University, CRC Press, Murdoch, Australie.

Hemminga, M.A., Duarte, C.M., (2000). Seagrass Ecology. Cambridge University Press.

-I-

IFREMER., (2021). Suivi DCE 2020 - Indicateur « Macroalgues subtidales » masse d'eau côtière FRFC11 « Côte basque ».

-K-

Kadari-Meziane Y., (1994). Contribution à l'étude de l'impact de la pollution sur la distribution spatio-temporelle des peuplements phytobenthiques dans la baie de Bou Ismaïl (Algérie). Thèse de Magister, Alger : Ecole Normale Supérieure, Vieux Kouba. P. P. 1-226.

Kelaher, B.P., Van Den Broek, J., York, P.H., Bishop, M.J. et al., (2013). Positive responses of a seagrass ecosystem to experimental nutrient enrichment. *Marine Ecology Progress Series.* Vol. 487. P. P. 15-25.

Kilminster, K., McMahon, K., Waycott, M., Kendrick, G.A., Scanes, P., McKenzie, L., O'Brien, K.R., Lyons, M., Ferguson, A., Maxwell, P., Glasby, T., Udy, J., (2015). Unravelling complexity in seagrass systems for management: Australia as a microcosm. *Science of The Total Environment.* Vol. 534. P. P. 97–109. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.061>

Koch, E.W., Booth, D.M., Palinkas, C., (2012). Seagrasses and the ecosystem service of shoreline protection (or is it sediment stabilization?). In: Creed, J.C., Oigman-Pszczol, S.S. (Eds.), *Proc. 10th Int. Seagrass Biology Workshop (ISBW10)*, 25–30 Nov. 2012. Armacão dos Búzios, Brazil. Instituto Biodiversidade Marinha, Rio de Janeiro, Brazil. P. 108.

Kuo, J., Cambridge, M., Kirkman, H., (2018). Anatomy and Structure of Australian Seagrasses. *Seagrasses of Australia: Structure, Ecology and Conservation.* P. P. 93–125.

-L-

Larkum AWD, Kendrick GA, Ralph PJ (eds.), (2018). Seagrasses of Australia: Structure, Ecology and Conservation. Springer International Publishing, Cham

Le Gall J.Y., 1969. Etude de l'endofaune des pelouses de Zostéracées superficielles de la baie de Castiglione. *Téthys.* Vol. 1, n°2. P. P. 395- 420.

Leoni, V., Vela, A., Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Pergent, G., (2008). Effects of experimental reduction of light and nutrient enrichments (N and P) on seagrasses: a review. *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems.* Vol. 18, n°2. P. P. 202-220.

Les, D.H., Cleland, M.A., Waycott, M., (1997). Phylogenetic Studies in Alismatidae, II: Evolution of Marine

Angiosperms (Seagrasses) and Hydrophily. Systematic Botany. Vol. 22. P. 443. <https://doi.org/10.2307/2419820>
Lipkin Y., Beer S., Zakai D., (2003). The seagrasses of the eastern Mediterranean and Red Sea. In: E.P. Green & F.T. Short (Eds), "World atlas of seagrasses", University of California Press, Berkeley. P. P. 65–73.

-M-

Macreadie, P.I., Baird, M.E., Trevathan-Tackett, S.M., Larkum, A.W.D., Ralph, P.J., (2014). Quantifying and modelling the carbon sequestration capacity of seagrass meadows - a critical assessment. Mar. Pollut. Bull. Vol. 83, n° 2. P. P. 430–439.

Macreadie, P.I., Nielsen, D.A., Kelleway, J.J., Atwood, T.B., Seymour, J.R., Petrou, K., Connolly, R.M., Thomson, A.C.G., Trevathan-Tackett, S.M., Ralph, P.J., (2017). Can we manage coastal ecosystems to sequester more blue Carbon? Front. Ecol. Environ. Vol. 15 n° 4. P. P. 206–213.

Madsen, T.V., Warncke, E., (1983). Velocities of currents around and within submerged aquatic vegetation. Archiv fur hydrobiologie.

Malea, P., (1993). Bioaccumulation of aluminium in the seagrasses *Cymodocea nodosa* (Ucria) Aschers and *Posidonia oceanica* (L) Delile and in macroalgae of the Gulf of Antikyra (Greece). Botanica Marina. Vol. 36. P. P. 423-431.

Malea, P., Haritonidis, S., (1995). Local distribution and seasonal variation of Fe, Pb, Zn, Cu, Cd, Na, K, Ca and Mg concentrations in the seagrass *Cymodocea nodosa* (Ucria) Aschers in the Antikyra Gulf (Greece) P.S.Z.N.I: Marine Ecology. Vol.16. P. P. 41-56.

Marbà, N., Duarte, C.M., (2001). Growth and sediment space occupation by seagrass *Cymodocea nodosa* roots. Marine Ecology Progress Series. Vol. 224. P. P. 291–298.

Marbà, N., Krause-Jensen, D., Alcoverro, T., Birk, S., Pedersen, A., Neto, JM, Orfanidis, S., Garmendia, JM, Muxika, I., Borja, A., Dencheva, K., Duarte, CM., (2013). Diversité des indicateurs des herbiers marins européens : modèles au sein et entre les régions. Hydrobiologie. P. P. 1–14.

Marbà, N., Krause-Jensen, D., Alcoverro, T., Birk, S., Pedersen, A., Neto, J.M., Orfanidis, S., Garmendia, J.M., Muxika, I., Borja, A., Dencheva, K., Duarte, C.M., (2013). Diversity of European seagrass indicators: patterns within and across regions. Hydrobiologia. P. P. 1–14.

Mazzella L., (1990). Il ruolo dei sistemi a fanerogame marine nell'economia delle comunità costiere ed i problemi causati dal disturbo antropico. In "Inquinamento ed ecosistemi acquatici", Atti Congresso Ordine Nazionale dei Biologi (ed. S. Dumontet & E. Landi). P. P. 103-116.

Mazzella, L., M.B. Scipione, M.C. Gambi, M.C. Buia, M. Lorenti, V. Zupo and G. Cancemi., (1993). The mediterranean seagrass- es *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa*. A comparative overview. MedCoast conference, Ozhan ed. Vol. 1. P. P. 103-116.

McLeod, E., Chmura, G.L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C.M., Lovelock, C.E., Schlesinger, W.H., Silliman, B.R., (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. Frontiers in Ecology and the Environment. Vol. 9. P. P. 552–560. <https://doi.org/10.1890/110004>

Molinier M. & Picard J., (1952). Etudes biologiques sur les herbiers de Phanérogames marines à l'Ouest d'Alger. Bull. Stat. Aquic. Et Pêche, Castiglione. Vol. 4 (n.s). P. P. 335- 362.

Montefalcone M., Albertelli G., Morri C., Bianchi C.N., (2007). Urban seagrass: status of *Posidonia oceanica* facing the Genoa city waterfront (Italy) and implications for management. Marine Pollution Bulletin. Vol 54. P. P. 206–213.

Mostafa, H.M., (1996). Preliminary observations of the seagrass *Cymodoca nodosa* (Ucria) Ascherson in the Mediterranean waters of Alexandria, Egypt. Bull. Nat. Inst. Oceanogr. Fish. Vol. 22. P. P. 19–28.

Mukai, H., (1993). Biogeography of the tropical seagrasses in the western Pacific. Mar. Freshwater Res. Vol. 44. P. P. 1–17. <https://doi.org/10.1071/mf9930001>

-N-

Nienhuis, P.H., Coosen, J., Kiswara, W., (1989). Community structure and biomass distribution of seagrasses and macrofauna in the flores sea, Indonesia. Netherlands Journal of Sea Research. Vol. 23. P. P. 197–214. [https://doi.org/10.1016/0077-7579\(89\)90014-8](https://doi.org/10.1016/0077-7579(89)90014-8)

-O-

Oliva, S., Mascaró, O., Llagostera, I., Pérez, M., Romero, J., (2012). Selection of metrics based on the seagrass *Cymodocea nodosa* and development of a biotic index (CYMOX) for assessing ecological status of coastal and transitional waters. Estuar. Coast. Shelf Sci. Vol. 114. P. P. 7–17.

Olsen, J.L., Stam, W.T., Coyer, J.A., Reusch, T.B.H., Billingham, M., Boström, C., Calvert, E., Christie, H., Granger, S., Lumière, R.L., Milchakova, N., Secq, M.-P.O., Procaccini, G., Sanjabi, B., Serrão, E., Veldsink, J., Widdicombe, S., Wyllie-Echeverria, S., (2004). North Atlantic phylogeography and large-scale population differentiation of the seagrass *Zostera marina* L. Molecular Ecology. Vol. 13. P. P. 1923–1941.

Ondiviela, B., Losada, I.J., Lara, J.L., Maza, M., Galván, C., Bouma, T.J., van Belzen, J., (2014). The role of seagrasses in coastal protection in a changing climate. Coastal Engineering. Vol. 87. P. P. 158–168.

<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.11.005>

Orfanidis, S. & Panayotidis, P., (2005). Implementation of Water Framework Directive (WFD) for coastal waters by using the Ecological Evaluation Index-EEI: the case of Kavala's and Maliakos Gulfs, Greece. P. P. 237-240. In: Proceedings of the 12th Panhellenic Congress of Ichthyologists, 13-16 October 2005, Drama, Greece.

Orfanidis, S., Panayotidis, P., Uglund, K., (2011). Ecological Evaluation Index continuous formula (EEI-c) application: a step forward for functional groups, the formula and reference condition values. Mediterranean marine science. Vol. 12, n°1. P. P. 199–232.

Orfanidis, S., Papathanasiou, V., Gounaris, S., (2007). Body size descriptor of *Cymodocea nodosa* indicates anthropogenic stress in coastal ecosystems. Transit. Waters Bull. Vol. 1. P. P. 1–7.

Orfanidis, S., Papathanasiou, V., Gounaris, S., Theodosiou, T., (2010). Size distribution approaches for monitoring and conservation of coastal *Cymodocea* habitats. Aquat. Conserv. Mar. Freshwat. Ecosyst. Vol. 20. P. P. 177–188.

Orlando-Bonaca, M., Francé, J., Mavrič, B., Grego, M., Lipej, L., Flander-Putrlje, V., Šiško, M., Falace, A., (2015). A new index (MediSkew) for the assessment of the *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson meadow's status. Mar. Environ. Res. Vol. 110. P. P. 132–141.

OSPAR (2010). Background Document for *Cymodocea* meadows. Publication 487/2010. OSPAR Commission. P.31.

Otero, M., Cebrian, E., Francour, P., Galil, B., Savini, D., (2013). Surveillance des espèces envahissantes marines dans les aires marines protégées (AMP) méditerranéennes : guide pratique et stratégique à l'attention des gestionnaires. UICN. P. 136.

-P-

Panayotidis, P., Montesanto, B. & Orfanidis, S., (2004). Use of low budget monitoring of macroalgae to implement the European Water Framework Directive. Journal of Applied Phycology. Vol. 16, n°1. P. P. 49-59.

Paul, M., (2018). The protection of sandy shores – Can we afford to ignore the contribution of seagrass? Marine Pollution Bulletin, Securing a future for seagrass. Vol. 134. P. P. 152–159.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.012>

Pavón -Salas, N., R. Herrera, A. Hernaández-Guerra and R. Haroum., (2000). Distributional patterns of seagrasses in the Canary Islands (Central-East Atlantic Ocean). J. Coast. Res. Vol. 16. P. P. 328–335.

Peduzzi, P. and A. Vukovic., (1990). Primary production of *Cymodocea nodosa* in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea): a comparison of methods. Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 64. P. P. 197–207.

Peres, J.M., Picard, J., (1964). Manuel des bionomies benthiques de la Méditerranée. Rec. Trv.St. Mar. Endoume. Vol. 31, n°47. P. P. 5-137.

Pérez, M. and J. Camp., (1986). Distribució'n espacial y biomasa de las fanerógamas marinas de las bahías del Delta del Ebro. Inv. Pesq. Vol. 50. P. P. 519–530.

Pérez, M. and J. Romero., (1994). Growth dynamics, production and nutrient statuses of the seagrass *Cymodocea nodosa* in a Mediterranean semi-estuarine environment. P.S.Z.N.I: Mar. Ecol. Vol. 15. P. P. 51–64.

Pérez, M., J. Romero, C.M. Duarte and K. Sand-Jensen., (1991). Phosphorus limitation of *Cymodocea nodosa* growth. Mar. Biol. Vol. 109. P. P. 129–133.

Pérez, M., N.C. Duarte, J. Romero, K. Sand-Jensen and T. Alcoverro., (1994). Growth plasticity in *Cymodocea nodosa* stands: the importance of nutrient supply. Aquat. Bot. Vol. 47. P. P. 249–264.

Pergent, G., Bazairi, H., Bianchi, CN., Boudouresque, CF., Buia, MC., Calvo, S., Clabaut, P., Harmelin-Vivien, M., Mateo, MA., Montefalcone, M., Morri, C., Orfanidis, S., Pergent-Martini, C., Semroud, R., Serrano Gras, O., Thibaut, T., Tomasello, A., Verlaque, M., (2014). Climate change and Mediterranean seagrass meadows: a synopsis for environmental managers. Athens, Greece. Mediterranean Marine Science. Vol.15, n°2. P. P. 462-473.

PNUE., (2019). Orientations sur la surveillance des habitats marins benthiques Les protocoles de surveillance des Indicateurs communs 1 et 2 relatifs aux habitats marins. UNEP/MEDWG.474/3. P. P. 170.

Procaccini G, Buia MC, Gambi MC, Perez M, Pergent G, Pergent-Martini C, Romero J., (2003). Seagrass status and extent along the Mediterranean coasts of Italy, France and Spain. In: Green EP, Short FT (eds) World atlas of seagrasses. Prepared by the UNEP World Conservation Monitoring Centre. University of California Press, Berkeley, CA. P. P. 48–58.

-R-

Raniello R., Mollo E., Lorenti M., Gavagnin M. et Cristina buia M., (2007). Phytotoxic activity of caulerpenyne from the Mediterranean invasive variety of *Caulerpa racemosa*: a potential allelochemical. *Biological Invasions*, vol. 9. P. P. 361-368.

Reyes, J., M. Sansón and J. Afonso-Carrillo., (1995a). Leaf phenology, growth and production of the seagrass *Cymodocea nodosa* at El Me'dano (south of Tenerife, Canary Islands). Bot. Mar. Vol. 38. P. P. 457– 465.

Reyes, J., M. Sansón and J. Afonso-Carrillo., (1995b). Distribution and reproductive phenology of seagrass

Cymodocea nodosa (Ucria) Ascherson in the Canary Islands. *Aquat. Bot.* Vol. 50. P. P. 171– 180.

Rogers, K., Macreadie, P., Kelleway, J., Saintilan, N., (2018). Blue carbon in coastal landscapes: a spatial framework for assessment of stocks and additionality. *Sustain. Sci.* Vol.14, n°2. P. P. 453–467.

Ralph P. J., Dukaro M. J., Enriquez S., Collier C. J., Doblin M. A., (2007). Impact of light limitation on seagrasses. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.* Vol. 350. P. P. 176-193.

Rioux L. E., et Turgeon S. L., (2015). Seaweed carbohydrates. *Seaweed Sustainability.* P. P. 141-192.

-S-

Schramm, W. & Nienhuis, Ph., (1996). Végétation benthique marine. Changements récents et effets de l'eutrophisation. Springer, New York. P. 470.

Sculthorpe, C.D., (1967). The Biology of Aquatic Vascular Plants. 610 S. London : Edward Arnold Ltd. 1967, £ 66 s. net. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie.* Vol. 53. P. P. 353–354. <https://doi.org/10.1002/iroh.19680530207>

Sellali B., (1996). La pollution par les hydrocarbures pétroliers en Méditerranée sud-occidentale : niveaux de contamination de l'eau et du sédiment superficiel des régions littorales Centre et Ouest de l'Algérie. Thèse de Magister, environnement marin. Alger : ISMAL. P. P. 1-118.

Sellali B., Hadj-Amar S., Boudjellal B., Chouikhi A., (1995). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHS) in the nearshore superficial sediment of Bou Ismaïl's bay (Algeria). *Rapp. Comm. int. Mer Médit.* Vol. 34. P. P. 147-147.

Sfriso, A. and P.F. Ghetti., (1998). Seasonal variation in biomass, morphometric parameters and production of seagrasses in the lagoon of Venice. *Aquat. Bot.* Vol. 61. P. P. 207–223.

Sghaier Y.R., Zakhama-Sraieb R. & Charfi Cheikhrouha F., (2011). Primary production and biomass in a *Cymodocea nodosa* meadow in the Ghar El Melh lagoon, Tunisia. *Botanica Marina.* Vol. 54. P. P. 411- 418.

Shili A., Trabelsi E.B., Ben Maïz N., (2002). Benthic macrophyte communities in the Ghar El Melh Lagoon (North Tunisia). *Journal of Coastal Conservation.* Vol 8. P. P. 135–140.

Short, F., Carruthers, T., Dennison, W., Waycott, M., (2007). Global seagrass distribution and diversity: A bioregional model. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.* Vol. 350. P. P. 3–20. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2007.06.012>

Short, F.T., Polidoro, B., Livingstone, S.R., Carpenter, K.E., Bandeira, S., Bujang, J.S., Calumpong, H.P., Carruthers, T.J.B., Coles, R.G., Dennison, W.C., Erftemeijer, P.L.A., Fortes, M.D., Freeman, A.S., Jagtap, T.G., Kamal, A.H.M., Kendrick, G.A., Kenworthy, W.J., Nafie, Y.A.L., Nasution, I.M., Orth, R.J., Prathep, A., Sanciangco, J.C., Tussenbroek, B. van, Vergara, S.G., Waycott, M., Zieman, J.C., (2011). Extinction risk assessment of the world's seagrass species. *BIOL. CONSERV.* Vol. 144. P. P. 1961–1971. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.04.010>

Short, F.T., Short, C.A., Novak, A.B., (2018). Seagrasses. p. 73-91. In: *The Wetland Book II: Distribution, Description, and Conservation.* Finlayson C., Milton G., Prentice R., Davidson N. (Eds). Springer, Dordrecht.

Stumm, W. Morgan, J.J., (1996). *Aquatic Chemistry, Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*, 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York. P. 1022.

Sghaier, M., (2013). LES MAGNOLIOPHYTES MARINE DE LA TUNISIE : Distribution, croissance et production primaire. Thèse de doctorat. Tunis : Université de Tunis EL Manar. P. 249.

-T-

Terrados J., (1993). Sexual reproduction and seed banks of *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson meadows on the Southeast Mediterranean coast of Spain. *Aquat. Bot.*, 46(3-4). P. P. 293-299

Terrados, J. and J.D. Rós., (1992). Growth and primary production of *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson in a Mediterranean coastal lagoon: the Mar Menor (SE Spain). *Aquat. Bot.* 43. P. 6.

Thomas, S., (2014). Blue Carbon: knowledge gaps, critical issues, and novel approaches. *Ecol. Econ.* Vol. 107, 22–38.

Thompson, S.M. & Valiela, I., (1999). Effet de la charge d'azote sur l'activité enzymatique des macroalgues dans les estuaires de la baie de Waquoit. *Botanica Marina.* Vol. 42. P. P. 519-529.

Turk R., Vukovic A., (2000). Status of marine vegetation in Slovenian coastal waters. *Proceedings of the 1st Mediterranean Symposium on Marine Vegetation, Ajaccio, 3–4 October 2000, CAR/ASP Publ.* P. P. 191–193.

Tuya, F., Ribeiro-Leite, L., Arto-Cuesta, N., Coca, J., Haroun, R., Espino, F., (2014). Decadal changes in the structure of *Cymodocea nodosa* seagrass meadows: natural vs. human influences. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* Vol. 137. P. P. 41–49.

-U-

Unsworth, R.K., McKenzie, L.J., Collier, C.J., Cullen-Unsworth, L.C., Duarte, C.M. et al., (2019). Global challenges for seagrass conservation. *Ambio*, 48 (8). P. P. 801-815.

Unsworth, R.K.F., Cullen, L.C., (2010). Recognising the necessity for Indo-Pacific seagrass conservation. *Conservation Letters.* vol. 3. P. P. 63–73. <https://doi.org/10.1111/j.1755263X.2010.00101.x>

-V-

Valentine, J.F., Duffy, J.E., (2006). The Central Role of Grazing in Seagrass Ecology, in: LARKUM, A.W.D.,

ORTH, R.J., DUARTE, C.M. (Eds.), SEAGRASSES: BIOLOGY, ECOLOGY AND CONSERVATION. Springer Netherlands, Dordrecht. P. P. 463–501. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2983-7_20

Van Lent, F., P.H. Nienhuis and J.M. Verschuure., (1991). Production and biomass of the seagrass *Zostera noltii* Hornem and *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson at the Banc d'arguin (Mauritania, NW Africa): a preliminary approach. *Aquat. Bot.* Vol. 41. P. P. 353–367.

Vanderklift, M.A., Marcos-Martinez, R., Butler, J.R.A., Coleman, M., Lawrence, A., Prislán, H., Steven, A., Thomas, S., (2019). Constraints and opportunities for marketbased finance for the restoration and protection of blue Carbon ecosystems. *Mar. Pol.* (In press).

Vela, A., V. Pasqualini, V. Leant, A. Djelouli, H. Langar, G. Pergent, C. Pergent-Martini, L. Ferrat, M. Ridha and H. Djabou., (2008). Use of SPOT 5 and IKONOS imagery for mapping biocenoses in a Tunisian Coastal Lagoon (Mediterranean Sea). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* Vol. 79. P. P. 591–598.

Vermaat, J.E., J.A.J. Beijer, R. Gijlstra, M.J.M. Hootsmans, C.G.M. Philippart, N.W. Van Der Brink and W. Van Vierssen., (1993). Leaf dynamics and standing stocks of intertidal *Zostera noltii* Horneman and *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson on the Banc d'Arguin (Mauritania). *Hydrobiologia.* Vol. 258. P. P. 59–72.

Viaroli, P., Bartoli, M., Giordani, G., Naldi, M., Orfanidis, S. & Zaldivar, J.M., (2008). Changements communautaires, états stables alternatifs, contrôles biogéochimiques et rétroactions dans les lagunes côtières eutrophes : un bref aperçu. *Conservation aquatique : Écosystèmes marins et d'eau douce*, Vol.18, n°1. P. P. 105–117.

-W-

Waycott, M., (2018). Seagrass taxonomy in an era of genomics —what advances are possible, and what aren't. Plenary, World seagrass conference, Singapore.

Waycott, M., Procaccini, G., Les, D.H., Reusch, T.B.H., (2006). Seagrass Evolution, Ecology and Conservation: A Genetic Perspective, in: Larkum, A.W.D., Orth, R.J., Duarte, C.M. (Eds.), SEAGRASSES: BIOLOGY, ECOLOGY AND CONSERVATION. Springer Netherlands, Dordrecht. P. P. 25–50. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2983-7_2

Weiss M., Baret F., Smith G. J., Jonckheere I., Coppin P., (2004). Review of methods for insitu leaf area index (LAI) determination: Part II. Estimation of LAI, errors and sampling. *Agricultural and Forest Meteorology.* Vol. 121. P. P. 37–53.

wells, e., wilkinson, m., et al. (2007). The use of macroalgal species richness and composition on intertidal rocky seashores in the assessment of ecological quality under the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin.* Vol. 55 n° (1-6). P. P. 151–161.

Wichard T., (2015). Algal of the year 2015: The Sea Lettuce *Ulva* only gets into shape with the right bacteria. Website of the Phycology Section of the German Botanical Society.

-Z-

Zieman, J.C., (1974). Methods for the study of the growth and production of turtle grass *Thalassia testudinum* König. *Aquaculture.* Vol. 4. P. P. 139–143.

Sites web

- ([https://doris.ffesm.fr/find/publicImages/\(people\)/177747](https://doris.ffesm.fr/find/publicImages/(people)/177747)).
- (<http://www.algaebase.org/>)
- (<https://www.marinespecies.org/>)
- ([La cymodocée : une autre plante marine de Méditerranée \(seascape.fr\)](#))

Résumé

Ce travail, qui constitue une étude préliminaire sur les caractéristiques structurelles de *Cymodocea nodosa*, a été réalisé dans deux sites (anse de Kouali et Bou Ismaïl) de la baie de Bou Ismaïl au cours de la saison printanière. La densité des deux herbiers a été comptabilisée. Pour la phénologie, 20 faisceaux ont été collectés et les mesures du nombre, de la longueur et de la largeur des feuilles ainsi que la longueur des pétioles ont été effectuées. L'indice foliaire a été calculé. Pour l'identification des macroalgues, un bloc composé de *Cymodocea nodosa* associé à plusieurs espèces de macroalgues ont été collectés. Les mesures de densité ont révélé que l'herbier de Bou Ismaïl est plus dense que celui de l'anse de Kouali. Par ailleurs, les autres paramètres de phénologie ont montré quelques différences, notamment le nombre de feuilles différenciées par faisceau qui est plus important à l'anse de Kouali. Ces mêmes feuilles différenciées sont plus longues à Bou Ismaïl. L'identification des macroalgues associées à l'herbier à *Cymodocea nodosa* a dévoilé un nombre d'espèces de macroalgues plus important à Bou Ismaïl (7 espèces) qu'à l'anse de Kouali (3 espèces). Toutefois et comparés aux valeurs enregistrées par certains auteurs, notamment la densité, les résultats de ce travail semblent exprimer un état d'équilibre dynamique pour les herbiers des deux sites.

Mots clés : *Cymodocea nodosa*, Baie de Bou Ismaïl, caractéristiques, densité, phénologie.

This work, which constitutes a preliminary study of the structural characteristics of *Cymodocea nodosa*, was carried out at two sites (Anse de Kouali and Bou Ismaïl) in Bou Ismaïl Bay during the spring season. The density of both meadows was recorded. For phenology, 20 bundles were collected and measurements of leaf number, length, width and petiole length were taken. The Leaf Area Index was calculated. For macroalgal identification, a block composed of *Cymodocea nodosa* associated with several macroalgal species was collected. Density measurements revealed that the Bou Ismaïl meadow is denser than that of the Kouali cove. In addition, other phenological parameters showed some differences, notably the number of differentiated leaves per bundle, which is greater at Anse de Kouali. These same differentiated leaves are longer at Bou Ismaïl. The identification of macroalgae associated with the *Cymodocea nodosa* meadow revealed a greater number of macroalgal species at Bou Ismaïl (7 species) than at Anse de Kouali (3 species). However, when compared with the values recorded by certain authors, notably density, the results of this work seem to express a state of dynamic equilibrium for the meadows at both sites.

Key words: *Cymodocea nodosa*, Bou Ismaïl Bay, characteristics, density, phenology.

تم إجراء هذا البحث، الذي يعتبر دراسة تمهيدية للخصائص الهيكلية لنبات *سيمودوسيا نودوسا* في موقعين (بو إسماعيل وشاطئ كوالي) في خليج بو إسماعيل خلال فصل الربيع. تم تحديد كثافة النباتات المائية في المروجين. بالنسبة لظواهر النمو، تم جمع 20 حزمة من النباتات وتم أخذ قياسات لعدد الأوراق وطولها وعرضها، بالإضافة إلى طول الساق. تم حساب مؤشر الأوراق. بالنسبة لتحديد الطحالب الكبرى، تم جمع كتلة مكونة من نبات *سيمودوسيا نودوسا* مع العديد من أنواع الطحالب الكبرى. أظهرت قياسات الكثافة أن مروج بو إسماعيل أكثر كثافة من مروج كوالي. بالإضافة إلى ذلك، أظهرت المعايير الأخرى لظواهر النمو بعض الاختلافات، بما في ذلك عدد الأوراق المتميزة في كل حزمة والتي تكون أكثر في شاطئ كوالي. بينما تكون هذه الأوراق المتميزة أطول في بو إسماعيل. كشفت تحديد الطحالب الكبرى المرتبطة بمروج نبات *سيمودوسيا نودوسا* عن وجود عدد أكبر من أنواع الطحالب الكبرى في بو إسماعيل (7 أنواع) مقارنةً بكوالي (3 أنواع) ومع ذلك، ومقارنةً بالقيم المسجلة من قبل بعض الباحثين، بما في ذلك الكثافة، يبدو أن نتائج هذا العمل تعكس حالة توازن ديناميكي لمروج النباتات في الموقعين.

كلمات مفتاحية: *سيمودوسيا نودوسا*، خليج بو إسماعيل، الخصائص، الكثافة، ظواهر النمو.