

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



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME

D'INGENIEUR EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : Ingénierie en Environnement Marin et Côtier

Thème :

**Contribution à l'étude des réponses morphologiques et
physiologiques des herbiers à *Posidonia oceanica* aux stress
environnementaux**

Présenté par :

Nihal Bouldjoudja

Soutenu le 11/07/2023, devant le jury:

Mme Abdeddaim H.	Maître de Conférence B	Présidente	ENSSMAL
Mme Harid R.	Maître Assistante B	Examinatrice	ENSSMAL
Mme Sengouga A.	Maître Assistante A	Promotrice	ENSSMAL
M Zerrouki M.	Maître Assistant A	Co-promoteur	ENSSMAL

Année 2022/2023

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



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DU

MASTER EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : Ingénierie en environnement marin et côtier

Thème :

**Contribution à l'étude des réponses morphologiques et
physiologiques des herbiers à *Posidonia oceanica* aux stress
environnementaux**

Présenté par :

Nihal Bouldjoudja

Soutenu le 11/07/2023, devant le jury:

Mme Abdeddaim H.	Maître de Conférence B	Présidente	ENSSMAL
Mme Harid R.	Maître Assistante B	Examinatrice	ENSSMAL
Mme Sengouga A.	Maître Assistante A	Promotrice	ENSSMAL
M Zerrouki M.	Maître Assistant A	Co-promoteur	ENSSMAL

Année 2022/2023

Remerciements

*Avant tout, je remercie particulièrement à ma promotrice
« Mme SENGOUGA MISRAOUI AMINA » de m'avoir fait confiance et de m'avoir ouvert les
portes d'une vraie recherche scientifique, je la remercie pour sa disponibilité, pour son suivi
de près et par cœur de mon travail et de m'avoir fait profiter de ses expériences dans le
domaine*

Merci infiniment pour votre patience et la bonté de votre âme durant ce mémoire

*Je remercie aussi très chaleureusement mon co-encadreur Monsieur Zerrouki Mohamed de
m'avoir orienté et soutenu dans chaque étape de mon parcours au laboratoire, je le remercie
pour toutes ses efforts et son temps*

*Je Tiens également à remercier très chaleureusement les membres de jury Qui m'ont fait
l'honneur d'accepter de juger ce travail ; Madame Abdeddaim et Madame Harid*

*Je tiens aussi à remercier toutes les personnes qui m'ont apporté leurs soutiens pour la
réalisation de ce mémoire de fin d'étude.*

Dédicace

Je dédie ce Modest travail accompagné d'un profond amour à celle qui m'a arrosée de tendresse et d'espoir, à la source d'amour, qui m'a appris m'a supporté et m'a guidé vers la gloire dans ma vie ma mère Aldjia

A mon cher support papa Boudejmaa pour ses sacrifices et ses encouragements et à mes sœurs Hiba,Souha,Nouha,Hadil et à mon cher frère Iheb

A mes proches qu'ils m'ont supporté, pour leurs encouragements, ils étaient aussi la raison de mes sourires tout au long de mon parcours «

Rima, Dalel,Lydia »

Je dédie ce travail particulièrement à mon ami Yacine qui m'a toujours soutenu durant ces dernières années d'études

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

« Merci d'être toujours là pour moi »

Sommaire

Introduction	1
1 Généralités sur les herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>	3
1.1. Morphologie et distribution géographique de <i>Posidonia oceanica</i> (L.) 1813.....	3
1.2. Ecologie de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i>	4
1.3. Rôles des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>	5
1.4. Relation : nutriments physiologie de <i>Posidonia oceanica</i> :	6
1.5. Utilisation de la Posidonie comme bioindicateur :	7
2 Matériel et méthodes.....	11
2.1. Présentation des stations	11
2.1.1. Stations de la baie de Bou-Ismaïl.....	11
2.1.2 Stations de la baie d'Alger	14
2.1.3 Station de la baie de Zemmouri : l'île Agueli(AG).....	14
2.1.4 Station de Dellys (Dls)	15
2.2 Prélèvement des échantillons et mesures in-situ	19
2.3 Etude des paramètres biométriques	20
2.4 Biomasse des feuilles et biomasse des épiphytes	20
2.5 Analyse du taux d'azote dans les feuilles de <i>Posidonia oceanica</i>	21
2.5.1 Prétraitement	21
2.5.2 Analyse.....	21
2.6 Traitements statistiques	22
3 Résultats et discussions.....	25
3.1 Biométrie foliaire.....	25
3.1.1 Nombre des feuilles.....	25
3.1.2 Longueurs des feuilles adultes et intermédiaires.....	26
3.1.3 Longueur de base feuilles adultes	26
3.1.4 Largeurs des feuilles adultes et intermédiaires	27
3.1.5 Surface foliaire des feuilles adultes et intermédiaires	28
3.2 Biomasse des feuilles adultes et intermédiaires	29

3.3	Indice épiphytique des feuilles adultes et intermédiaires	30
3.4	Analyse du taux d'Azote dans les feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> :	31
3.4.1	Variations du taux d'azote dans les feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> en fonction des stations	31
3.4.2	Variations du taux d'azote dans les feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> en fonction du type de tissus des feuilles	33
	Conclusion.....	36
	Références bibliographiques	39

Liste des figures

Figure 1. Répartition de <i>Posidonia oceanica</i> le long des côtes méditerranéennes (ligne rouge) (d'après Procaccini <i>et al.</i> , 2003).....	3
Figure 2. Morphologie générale de <i>P. oceanica</i> (Boudouresque <i>et al.</i> , 2006) Erreur ! Signet non défini.	
Figure 3.Schématisation des principaux rôles de l'herbier de Posidonies dans l'équilibre écologique des fonds littoraux méditerranéens (d'après Charbonnel <i>et al.</i> ,2000).....	6
Figure 4.Localisation des stations étudiées au niveau de la partie ouest de la baie de Bou Ismail.....	16
Figure 5.Localisation des stations étudiées au niveau de la partie est de la baie de Bou Ismail et la partie ouest de la baie d'Alger.	17
Figure 6.Localisation de la station étudiée au niveau de la baie de Zemmouri.	18
Figure 7.Localisation de la station étudiée au niveau de la baie de Délylys.....	19
Figure 8.Dissection phénologique de <i>Posidonia oceanica</i> (pergent,1987).....	20
Figure 9.L'analyse d'azote selon le protocole de Kjeldahl(1883).....	22
Figure 10.Variation du nombre des feuilles adultes et intermédiaires de <i>Posidonia oceanica</i> au niveau des différentes stations en (mm).	25
Figure 11.Variation de la longueur des feuilles adultes et intermédiaires de <i>Posidonia oceanica</i> au niveau des différentes stations en (mm).....	26
Figure 12.Variation de la longueur des feuilles adultes de <i>Posidonia oceanica</i> au niveau des différentes stations en (mm).	27
Figure 13.Variation de la largeur des feuilles adultes et intermédiaires de <i>Posidonia oceanica</i> au niveau des différentes stations en (mm).	28
Figure 14.Variation de la surface des feuilles adultes et intermédiaires de <i>Posidonia oceanica</i> au niveau des différentes stations en (mm).	29
Figure 15.Variation de la biomasse des feuilles adultes et intermédiaires de <i>Posidonia oceanica</i> au niveau des différentes stations en (mm).....	30
Figure 16.Variation de l'indice épiphytique des feuilles adultes et intermédiaires au niveau des différentes stations en (mm).....	31
Figure 17.Variation du taux d'azote des feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> au niveau des	

différentes stations.....	33
Figure 18.Variation du taux d'azote des feuilles adultes et intermédiaires et bases de <i>Posidonia oceanica</i> au niveau des différentes stations.	33
Figure 19. Variation du taux d'azote dans les feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> en fonction du type des tissus.....	34

Liste des tableaux

Tableau 1. Liste des descripteurs de l'herbier de posidonie, en réponse à différentes conditions de stress (POMI), employés par l'équipe de l'université de Barcelone (Romero *et al.*, 2007)... 9

Liste des acronymes

ANOVA	Analysis of variance.
EQR	Ecological Quality Ratio
POMI	<i>Posidonia oceanica</i> Multivariate Index.
SEAM	Sarl d'Elevage Aquacole Méditerranée.
SF	Surface foliaire.
SNK	Student-Newman-Keuls.

INTRODUCTION

Introduction

Posidonia oceanica constitue l'une des espèces endémiques les plus importantes de l'étage infralittoral de la méditerranée car elle joue un rôle économique et écologique majeur (Boudouresque *et al.*, 2006). De plus, cette Magnoliophytes marine est utilisée en routine pour traduire la qualité du milieu côtier méditerranéen, Malgré l'ensemble des services éco systémiques rendu par les herbiers à *Posidonia oceanica* rend son déclin particulièrement préoccupant, déclin qui est du à sa destruction et favorisé par des facteurs de stress au niveau des cotes algériennes. Ces facteurs de stress comprennent les aménagement intensifs des cotes, la pollution, les espèces exotiques envahissant, les pratiques de pêche non durables, le tourisme mal planifié (Montefalcone *et al.*, 2009 ; Coll *et al.*, 2012 ; Katsanevakis *et al.*, 2014 ; Randone *et al.*, 2017 ; Hounnandan, 2020), et les autres causes du changement climatiques tels que l'acidification des océans (Martin *et al.*, 2014 ; Gaylord *et al.*, 2015 ; Zunino *et al.*, 2017 ; Hounnandan, 2020). D'un point de vue naturel, les événements météorologiques et tectoniques exceptionnels ne sont pas à oublier pour expliquer les processus de régression des herbiers (Duarte *et al.*, 2012 ; Pergent *et al.*, 2014 ; Hounnandan, 2020). Et ce, grâce à de nombreux descripteurs susceptibles de répondre à une variété de stress biotiques et abiotiques (Pergent-Martini *et al.*, 2005 ; Proccacini *et al.*, 2017). Ces descripteurs concernent tous les niveaux d'organisation des herbiers à *Posidonia oceanica*, depuis la composition biochimique de la plante jusqu'à la structure de l'écosystème.

Dans le cadre de ce travail qui s'inscrit dans une démarche relative à l'utilisation des herbiers à *Posidonia oceanica* comme intégrateur de l'état de santé du milieu marin méditerranéen, nous nous sommes attachés à établir la relation entre les différents types de stress environnementaux et quelques paramètres morphologiques et physiologiques chez *Posidonia oceanica*, notamment la biométrie foliaire, la charge en épiphytes des feuilles et le taux d'azote au niveau des feuilles.

Les magnoliophytes marines requièrent différents nutriments inorganiques, parmi lesquels l'azote et le phosphore qui sont les plus importants (Greve & Binzer, 2004), et présentent en même temps une production très élevée dans leurs milieux de vie qui sont relativement pauvres en ces nutriments inorganiques (Hemminga *et al.*, 1991). Leur aptitude à exploiter plusieurs sources d'azote leur permet d'assurer ces besoins en nutriments (Pedersen et Borum, 1992). Grâce à leurs racines, elles exploitent les pools de nutriments dissous dans l'eau

interstitielle et grâce à leurs feuilles, les nutriments issus de la colonne d'eau (Lepoint, 2001). Bien que l'enrichissement en nutriments puisse favoriser la croissance et la biomasse des herbiers marins dans les environnements oligotrophes (Short 1983, Alcoverro *et al.* 1997, Peralta *et al.* 2003, Invers *et al.* 2004, Brun *et al.* 2008), il se traduit fréquemment par des réponses physiologiques négatives et même par une inhibition de la croissance (Hauxwell&Valiela 2004, Orth *et al.* 2006, Burkholder *et al.* 2007). En effet, l'excès de nutriments peut causer la mortalité par ombrage (prolifération d'espèces à croissance rapide) (Silverstein *et al.*, 1986, Short *et al.*, 1995, Hauxwell *et al.*, 2001) et l'augmentation des taux des nutriments pourra stimuler la consommation des herbiers par les herbivores, (Mcglathery, 1995, Ruiz *et al.*, 2001), ce qui peut conduire à des réductions significatives de la biomasse photosynthétique et par conséquent à la mortalité des herbiers. Plusieurs études ont été menées afin de déterminer les effets de l'eutrophisation sur les herbiers à *P. oceanica* en comparant sa réponse le long d'un gradient spatial, en fonction des saisons (T Alcoverro *et al.* 2000) et expérimentalement par la modification des concentrations en nutriments dans l'environnement (Villazán *et al.* 2013 ; Alcoverro *et al.*, 1997;Ferdie&Fourqurean, 2004; Leoni *et al.*, 2007). C'est dans cette optique que nous visons à confirmer ces tendances au niveau des herbiers du littoral algérien, afin d'envisager son utilisation dans le cadre des programmes de surveillance, comme paramètre susceptible, d'apporter des informations pertinentes sur la vitalité des herbiers à *Posidonia oceanica*, et plus globalement sur la qualité du milieu littoral.

1 Généralités sur les herbiers à *Posidonia oceanica*

1.1. Morphologie et distribution géographique de *Posidonia oceanica* (L.) 1813

Posidonia oceanica fut décrite de manière précise, pour la première fois en 1623, par G. Bauhin (Den Hartog, 1970) sous le nom d'Alga marina. Ce n'est qu'en 1813 que Delile, dans la flore d'Egypte, lui a donné son nom actuel de *Posidonia oceanica*(Linnaeus) Delile, 1813. La structure des faisceaux de Posidonies a été largement décrite dans de nombreux ouvrages et travaux (DenHartog, 1970 ; Caye, 1980 ; Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Bay, 1984 ; Gobert *et al.*, 2005).

C'est une Magnoliophyte marine endémique à la mer Méditerranée qui forme de vastes herbiers, dont la surface occupée est estimée entre 2.5 et 4.5 millions d'hectares, soit 23 % des fonds compris entre 0 et 50 m de profondeur (Pasquali *et al.*, 1998). Elle colonise les côtes européennes (France, Corse, Sardaigne, Italie, Yougoslavie, Grèce, Turquie) et les côtes Nord Africaines (Egypte, Libye, Tunisie, Algérie) (Den Hartog, 1970 ; Phillips et Meñez, 1988). Elle est plus abondantes dans sa partie occidentale que dans sa partie orientale (absence dans la Mer de Marmara, le Bosphore et dans la Mer noire), elle disparaît près de Gibraltar et à l'embouchure des grands fleuves (Rhône, Pô, Nil); suite aux trop fortes variations de salinité, à la trop faible disponibilité en lumière et à la turbidité (Boudouresque et Meneisz, 1982)(Figure 1).



Figure 1. Répartition de *Posidonia oceanica* le long des côtes méditerranéennes (ligne rouge)
(d'après Procaccini *et al.*, 2003)

Posidonia oceanica se compose de faisceaux de feuilles allongées fixées sur des rhizomes orthotropes (verticaux) et plagiotropes (horizontaux) (Boudouresque *et al.*, 2006). Chaque faisceau de *Posidonia oceanica* est constitué de cinq à huit feuilles rubanées de 40 à 80 cm de longueur et de 10 mm de largeur en moyenne (Figure 2).

Les rhizomes et les racines s'enchevêtrent et sont comblés par des sédiments dans une structure appelée «*matte*».

La floraison est irrégulière et dépend de paramètres environnementaux, cependant la posidonie semble se disséminer majoritairement de façon végétative par fragmentation et bouturage (Boudouresque *et al.*, 2006).

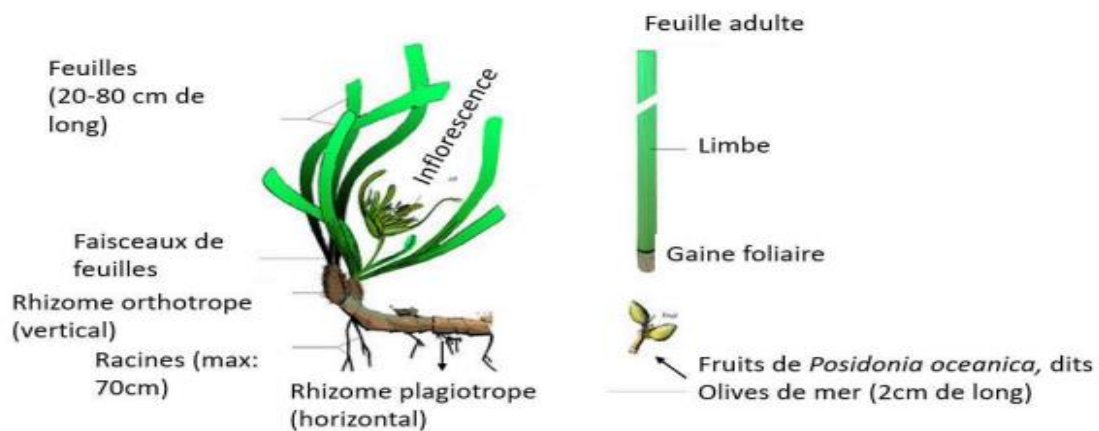


Figure 2. Morphologie générale de *P.oceanica* (Boudouresque *et al.*, 2006)

1.2. Ecologie de l'herbier à *Posidonia oceanica*

En Méditerranée, l'herbier à *Posidonia oceanica* colonise aussi bien les substrats meubles que les substrats durs situés entre la surface et 40 m de profondeur (MOLINIER et PICARD, 1952). La profondeur maximale dépend de la transparence de l'eau car la lumière constitue l'un des facteurs les plus importants pour la répartition et la densité de *P. oceanica* (Pergent *Et al.*, 1985 ; Ballesta *et al.*, 2000 ; Diviacco *et al.*, 2001 ; Molinier, 1960 ; Bay, 1979 ; Boudouresque *et al.*, 1990).

Posidonia oceanica craint la dessalure c'est une espèce sténohaline. Elle dépérit immédiatement en deçà de 33‰ et au-delà de 41‰, ce qui explique son absence aux

embouchures des fleuves (Ben Alaya, 1972). L'espèce semble mieux résister aux salinités élevées, en effet, elle est présente dans des lagunes hyper salines de Tunisie (46‰ en moyenne en été) et de Libye (39 - 44‰, en fonction de la saison) ; dans ces lagunes, sa vitalité (estimée par le nombre de feuilles produites par an et la croissance des rhizomes) semble identique, voire supérieure à ce qui est observé en mer ouverte (Pergent et Zaouali, 1992 ; Pergent Et Pergent-Martini, 2000 ; Pergent *et al.*, 2002).

Les températures extrêmes mesurées dans un herbier à *P. oceanica* sont 9,0 et 29,2°C (Augier *et al.*, 1980 ; Robert, 1988). Il est possible toutefois que les températures basses (moins de 10°C) et hautes (plus de 28°C) ne soient supportées qu'exceptionnellement. L'absence de *P. oceanica* des côtes de la Méditerranée Orientale, et sa rareté dans le Nord de l'Adriatique et le long des côtes languedociennes, pourraient être dues respectivement aux températures estivales et hivernales (Boudouresque et Meinesz, 1982).

Posidonia oceanica craint un hydrodynamisme trop intense qui peut arracher des faisceaux de feuilles et éroder la matre, soit directement, soit en la vidant de son sédiment, ce qui la fragilise (Augier et Boudouresque, 1979).

1.3. Rôles des herbiers à *Posidonia oceanica*

Le rôle de l'herbier se situe principalement au niveau écologique (Figure 3), il est considéré comme un écosystème pivot du littoral Méditerranéen (Molinier Et Picard, 1952 ; Boudouresque Et Meinesz, 1982), abritant à plusieurs niveaux (matte, feuilles, canopée) et au cours des saisons, de nombreuses espèces à Les divers stades de développement. De plus, ils sont considérés comme les écosystèmes les plus productifs de la Méditerranée, avec une production totale estimée entre 60 et 705 g C m⁻² a⁻¹, dont 6 à 50 % de cette dernière est exportée vers d'autres écosystèmes où elle constitue la base de nombreux réseaux trophiques littoraux (Pergent *et al.*, 2012).

En outre, ils assurent une production d'oxygène très importante (environ 14 litres par jour et par m² d'herbier) (Bay, 1978 ; Frankignoule Et Distèche, 1984).

Ils constituent une barrière qui atténue l'énergie cinétique des particules, qui se déposent plus rapidement, et contribuent ainsi à améliorer la clarté de l'eau, à réduire l'hydrodynamisme et donc à protéger les côtes de l'érosion (Jeudy De Grissac Et Boudouresque, 1985 ; Terrados Et Duarte, 2000).

L'herbier joue un rôle important dans la séquestration et le stockage du carbone dans les milieux côtiers. Les résultats obtenus par Monnier, (2020) en Corse, ont permis

d'estimer la quantité de CO₂e stockée au sein des mattes de 16,5 à 48,3 millions de tonnes, soit l'équivalent de 9,4 à 27,4 années d'émissions de CO₂ de l'ensemble de la population de la zone.

Quant à l'estimation du rôle économique de l'herbier, les données de Vassallo *et al.* (2013), stipulent que la valeur monétaire des biens et services fournis par les herbiers à *P. oceanica* est de 172 millions d'euros par an. Alors que Campagne *et al.* (2015) ont trouvé que la valeur monétaire se situait entre 283 et 513 millions d'euros par an.

En Méditerranée, l'herbier à *Posidonia oceanica* constitue un puissant intégrateur de la qualité globale des eaux marines (Pergent, 1991 ; Pergent-Martini *et al.*, 2005). Très largement distribué sur tout le littoral, zone très affectée par la pollution et les activités humaines (Meinesz et Laurent, 1978 ; Boudouresque et Meinesz, 1982), solidaire du fond, il rend compte, par sa présence et sa vitalité, de la qualité des eaux qui dérivent au-dessus de lui.

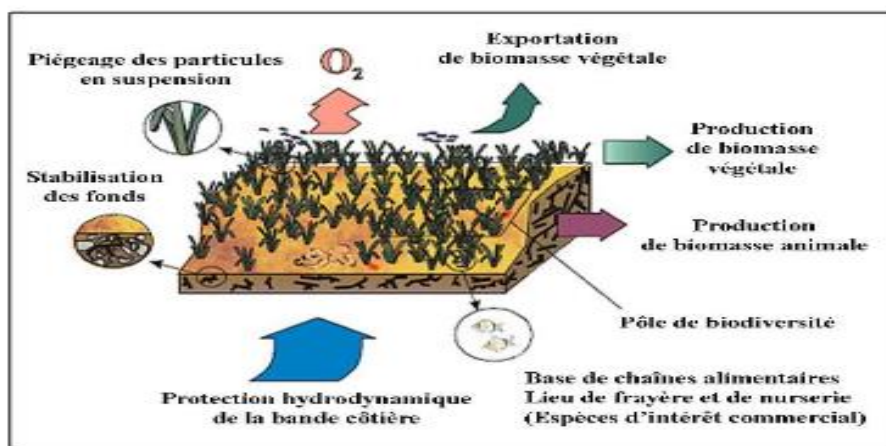


Figure 3. Schématisation des principaux rôles de l'herbier de Posidonies dans l'équilibre écologique des fonds littoraux méditerranéens (d'après Charbonnel *et al.*, 2000).

1.4. Relation : nutriments physiologie de *Posidonia oceanica* :

Les phanérogames marines font face à un paradoxe quant à leurs exigences en nutriments (Hemminga *et al.*, 1991 ; Fourqurean *et al.*, 1992b). D'une part, elles ont besoin de lumière et de nutriments inorganiques pour survivre. D'autre part la présence de nutriments dans la colonne d'eau génère une plus grande production phytoplanctonique et donc une atténuation de la lumière.

En effet, malgré la pauvreté relative de leurs milieux, les phanérogames présentent une

production très élevée (Hemminga *et al.*, 1991).

L'aptitude des phanérogames marines à exploiter plusieurs sources d'azote leur permet d'assurer leurs besoins en nutriments (Pedersen et Borum, 1992). L'origine de l'azote peut être externe (= incorporation) ou interne (=résorption et recyclage). Grâce à leurs racines, elles exploitent les nutriments dissous dans l'eau interstitielle et grâce à leurs feuilles, les nutriments issus de la colonne d'eau (Lepoint, 2001).

Bien que des augmentations modérées de nutriments stimulent la croissance et la production des herbiers (Short, 1987, Short *et al.*, 1990, Pérez *et al.*, 1991, Kenworthy et Fonseca, 1992, Alcoverro *et al.*, 1997, Udy et Dennison, 1997, Udy *et al.*, 1999), ces écosystèmes peuvent être affectés par un enrichissement excessif en ces nutriments, et cela peut être manifesté de plusieurs façons :(i) l'excès de nutriments favorise la prolifération d'espèces à croissance rapide(phytoplancton, les épiphytes et les macroalgues) qui entrent en compétition avec les herbiers pour la lumière et peuvent causer la mortalité par ombrage (Silverstein *et al.*, 1986, Short *et al.*, 1995, Hauxwell *et al.*, 2001), (ii) l'augmentation des taux des nutriments qui stimule la consommation des herbiers par les herbivores, probablement par une augmentation de la qualité nutritionnelle de leurs sources de nourriture (Mcglathery, 1995, Ruiz *et al.*, 2001), ce qui peut conduire à des réductions significatives de la biomasse photosynthétique et par conséquent à la mortalité des herbiers, (iii)

les herbiers sont incapables de réguler l'absorption de l'azote, particulièrement lorsque l'ammonium est la forme la plus abondante (Rabe, 1990 ; Touchette et Burkholder, 2000). Par conséquent, la croissance et la survie de la plante peuvent être freinées par la toxicité directe de l'ammonium (van Katwijk *et al.*, 1997), (iv) Invers *et al* (2004), révèlent que les teneurs élevés de l'azote peuvent affecter la survie des plantes par la diminution de leurs réserves de carbone.

D'autre part, le taux d'azote au niveau des différents tissus de la plante, Le point(2001) montre que les concentrations au niveau des feuilles sont plus élevées que les concentrations mesurées dans les rhizomes et les racines. Cependant, l'assimilation de l'azote par *P. oceanica* est tributaire de l'âge des tissus, la saison, la disponibilité de la lumière et la disponibilité de l'azote. (Kraemer *et al.*, 1997; Lepoint, 2001).

1.5. Utilisation de la Posidonie comme bioindicateur :

En Méditerranée, l'herbier à *Posidonia oceanica* constitue un puissant intégrateur de la qualité globale des eaux marines (Augier, 1985 ; Pergent, 1991b ; Pergent *et al.*, 1995 ; Pergent-Martini *et al.*, 2005b). Très largement distribué sur tout le littoral, particulièrement

réceptif à la pollution (Augier *et al.*, 1984a ; Bourcier, 1989) et aux agressions liées aux activités humaines (Ardizzone et Pelusi, 1984 ; Tunesi et Boudouresque, 2006), solidaire du fond, il rend compte, par sa présence et sa vitalité, de la qualité des eaux qui dérivent au-dessus de lui. L’empreinte de la qualité des eaux sur les herbiers à *Posidonia oceanica* est permanente. Ainsi, de nombreux paramètres sont à même d’être enregistrés par l’herbier (Pergent, 2006) (Tableau 1).

La teneur en nutriments dans les tissus des herbiers marins sont d'excellents indicateurs physiologiques du stress métabolique causé par l'influence anthropique (Cabaço *et al.*, 2013; Jiménez-Casero *et al.*, 2023; Leoni *et al.*, 2008, 2006).

Tableau 1.Liste des descripteurs de l'herbier de posidonie, en réponse à différentes conditions de stress (POMI), employés par l'équipe de l'université de Barcelone (Romero *et al.*, 2007).

Type	Variable	Impact ou stress	Réponse
Descripteurs de la structure	Densité(faisceaux/m ²)	<ul style="list-style-type: none"> Baisse de la lumière disponible Envasement Chalutage, ancrage, aménagements côtiers, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> Baisse de la densité(mortalité des faisceaux)
	Recouvrement(%)	<ul style="list-style-type: none"> Baisse de la lumière disponible Envasement Chalutage, ancrage, aménagements côtiers, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> Baisse du recouvrement
Descripteurs morphologiques	Surface foliaire(cm ² /faisceau)	<ul style="list-style-type: none"> Baisse de la lumière disponible Eutrophisation(liée à la turbidité provoquée par les blooms phytoplanctoniques) 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la surface des feuilles pour optimiser la production photosynthétique
	Taux de nécrose (% feuilles nécrosées/faisceau)	<ul style="list-style-type: none"> Eutrophisation 	<ul style="list-style-type: none"> Consommation par les herbivores à cause de l'augmentation de la teneur en sels nutritifs, ce qui réduit la longueur Des feuilles ou ralentit leur croissance
		<ul style="list-style-type: none"> Baisse de la lumière disponible Anoxieprolongée(engasement) Autres facteurs de stress(composés toxiques, pathogènes, hyper salinité) 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation du % de tissus nécrosés
Descripteurs de l'écosystème	Biomasse d'épiphytes(mg/cm ²)	<ul style="list-style-type: none"> Baisse de la lumière disponible 	<ul style="list-style-type: none"> Baisse de la biomasse des épiphytes
		<ul style="list-style-type: none"> Eutrophisation 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la biomasse d'épiphytes à moins qu'elle ne soit compensée par les herbivores
	Densité de la Macrofaune(échinodermes et <i>Pinnaculites</i>)	<ul style="list-style-type: none"> Eutrophisation 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la densité d'échinodermes est directement liée à l'enrichissement en matière organique
Descripteurs physiologiques	Carbohydrates	<ul style="list-style-type: none"> Baisse de la lumière disponible (liée à l'eutrophisation, sédimentation, Remise en suspension...) Envasement 	<ul style="list-style-type: none"> Baisse des réserves énergétiques dans les rhizomes.
	Azote et phosphore	<ul style="list-style-type: none"> Eutrophisation 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la teneur en nutriments
		<ul style="list-style-type: none"> Baisse de la lumière disponible 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la teneur en nutriments dans les feuilles à cause de la faible Croissance liée aux conditions de Luminosité
		<ul style="list-style-type: none"> Anoxie dans le sédiment 	<ul style="list-style-type: none"> Baisse des nutriments accumulés dans les rhizomes liée à la baisse des apports en nutriments et à l'utilisation par les Racines
	δ ¹⁵ N et δ ³⁴ S	<ul style="list-style-type: none"> Eutrophisation 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation du δ¹⁵N
		<ul style="list-style-type: none"> Anoxie dans le sédiment 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation du δ³⁴S
Eléments traces :Cu, Zn et Pb	<ul style="list-style-type: none"> Contamination 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la teneur en métaux dans les tissus Effets sur la photosynthèse(Cu,Pb,Zn) 	

Matériel & Méthodes

2 Matériel et méthodes

2.1. Présentation des stations

Neuf (09) stations, réparties le long du littoral algérois, sont considérées dans le cadre de ce travail. Ces stations ont déjà fait l'objet d'un suivi, pour la plupart d'entre elles en été 2011, 2013 et 2015. Elles sont choisies en fonction des différents types de pressions anthropiques qui les affectent et sont réparties dans les baies de Bou Ismaïl ; d'Alger, de Zemmouri et Dellys (Figures 4, 5, 6 et 7).

2.1.1. Stations de la baie de Bou-Ismaïl

La baie est située dans la partie centrale du littoral algérien, à 50 km à l'Ouest d'Alger dans la wilaya de Tipaza, entre 2°25' à l'Ouest et à 2°55' à l'Est.

La baie est limitée par de la pointe de Cap Caxine (Ras Acrata) à l'Est, et par le Mont Chenoua à l'Ouest, par la plaine de la Mitidja au Sud et la mer méditerranéenne au Nord. L'ouverture de la baie de Bou-Ismaïl est d'environ 40 Km, et s'oriente du Sud-Ouest à Nord-Est (Braik, 1989, *in* Haddouche, 2003). La baie est le réceptacle d'oued à régime irrégulier : Mazafran, Nador et Béni-messous (Khaoui, 2003). Ces derniers drainent les eaux usées des villes et des industries implantées sur leur parcours et les eaux de lessivage des sols des régions agricoles qu'ils traversent (Bakalem, 2008; Bakalem *et al.*, 2009).

La région littorale et l'arrière-pays de la baie de Bou Ismaïl sont surtout à vocation agricole avec des cultures intensives sous serres ayant recours abusif aux engrais chimiques et produits phytosanitaires (Bakalem, 2008).

Les herbiers de *Posidonia oceanica* constituent la communauté benthique dominante dans les strates inférieures le long de la côte de la baie de Bou Ismaïl.

2.1.1.1 Station de Cap El Hamouche (CH)

La station est située au pied des monts Chenoua, à l'extrémité ouest de la baie de Bou Ismaïl. La région se caractérise par une agriculture intensive et une urbanisation anarchique sur les franges côtières. Le rejet des eaux usées dans la mer, l'extraction du sable des plages et la pêche sur les herbiers marins sont des pressions qui menacent l'environnement marin de la région (UNEP/MAP/PAP RAC, 2006). Selon Sengouga *et al.* (2019), cette station présente un Ecological Quality Ratio (EQR) indiquant un "bon" statut écologique.

2.1.1.2 Station de Kouâli (AK)

La station est située à l'est de la ville de Tipasa, se caractérise par une activité humaine relativement faible, essentiellement représentée par l'occupation saisonnière des lieux de baignade. Ce secteur représente la zone côtière et est la zone la moins urbanisée et la moins développée de la baie de Bou Ismaïl (Grimes, 2011). Par ailleurs, l'ensemble Mont Chenoua-Anses de Kouâli a été sélectionné par les autorités algériennes chargées de l'environnement pour bénéficier du statut d'Aire Marine et Côtière Protégée (AMCP) (Semroud *et al.*, 1971 ; Mangos et Claudot, 2013). La station présente un EQR indiquant un "très bon" statut écologique Sengouga *et al.*(2019).

2.1.1.3 Station de Berrard (Br)

La station est située dans la commune d'Aïn Tagouraït, elle a été choisie pour sa proximité de la ferme aquacole SEAM "Sarl d'Elevage Aquacole Méditerranée". Deux activités aquacoles sont exercées au niveau de cette ferme : une mytiliculture (la moule *Mytilus galloprovincialis*) et une pisciculture (la dorade) dans des cages flottantes. Ces dernières sont distantes d'environ 100m de la station. La mytiliculture introduit dans le milieu des structures physiques qui altèrent la dynamique hydrosédimentaire en modifiant les courants et en augmentant les taux de sédimentation. Les biodépôts rejetés par les moules et les organismes associés accroissent l'eutrophisation et les processus biogéochimiques, modifiant la demande en O₂, le pH, les potentiels redox, les concentrations en sulfures dissous et les flux de CO₂ et de nutriments à l'interface eau-sédiment (Mc Kindsey *et al.*,2011).

Quant à la pisciculture exercée dans la zone, des études ont été menées à partir des années 1990. Elles concernent des fermes aquacoles pratiquant une pisciculture intensive. En effet, l'ombre des cages (indépendamment de la turbidité) réduit significativement la densité des faisceaux de *P. oceanica* (Ruiz-Fernández, 2000 ; Ruiz et Romero, 2001). La biomasse des épiphytes des feuilles de *P. oceanica* augmente fortement à proximité des installations piscicoles (Pergent *et al.*, 1999 ; Ruiz-Fernández, 2000). Cette station présente un EQR indiquant un très bon statut écologique selon Sengouga *et al.*(2019).

2.1.1.4 Station de Bou Ismaïl (Bsm)

La station est située au large du Front de mer de la ville de Bou Ismaïl, la ville la plus industrialisée de la wilaya de Tipasa avec trois (03) unités industrielles classées « Grande Industrie » (PNE, 2010 *in* MRE/DEAH/CTB/2012). Ce secteur est soumis aux rejets domestiques et industriels évacués en mer sans traitement préalable et à de nombreux aménagements littoraux : perrés au-dessus de la plage et épis de protections perpendiculaires à la côte, qui ont entraîné des remblayages incessants et des apports de matériaux artificiels (Braïk, 1989). Cette station est située à 600 mètres au large du réseau collecteur de la ville qui draine une pollution domestique et industrielle. Selon Sengouga *et al* (2019) la station présente un EQR indiquant "bon" statut écologique.

2.1.1.5 Station de la Madrague(LP)

Cette station se situe dans la commune d'Aïn Benian, à l'extrémité est de la baie de Bou Ismaïl, exactement dans la petite baie d'El Djamila. Elle est à 700 m au large du port de pêche et de plaisance d'El Djamila (ex La Madrague). Cette région est marquée par une forte urbanisation qui se concentre sur la marge littorale. Le site subit plusieurs types de nuisances: les activités liées au port de pêche et de plaisance d'El Djamila, l'aménagement d'une plage artificielle et l'évacuation des eaux usées domestiques qui se fait de façon anarchique. La baie d'El Djamila reçoit les apports terrigènes de l'oued Beni Messous (Bakalem, 2008). Son embouchure est à environ 2 km à l'ouest de la station LP. La station présente un EQR indiquant un statut écologique "moyen" (Sengouga *et al.*, 2019).

2.1.1.6 Station d'Aïn Benian(AB)

Cette station se situe aussi dans la commune d'Aïn Benian à l'est de RasAcrata, dans une région caractérisée par une forte urbanisation et des rejets anarchiques des eaux usées non traitées en mer. La station présente un EQR indiquant un statut écologique "moyen" (Sengouga *et al.*., 2019).

2.1.2 Stations de la baie d'Alger

La baie d'Alger occupe la partie centrale de la côte algérienne, qui est limitée par la Pointe Pescade à l'ouest et le cap Matifou à l'est. Elle constitue le réceptacle de plusieurs types de pollution ; les eaux usées déversées sans traitement sont chargées de matières organiques, matières en suspension, détergents et huiles lubrifiantes ce qui génère des pollutions organiques et chimiques (Bachari-Houma,2009).

2.1.2.1 Station de la Pointe Pescade(PP)

La station est située dans la commune de Raïs Hamidou à l'extrémité ouest de la baie d'Alger. Elle se situe à 600 m de l'abri de pêche de Rais Hamidou, et à proximité des deux petits îlots situés à quelques centaines de mètres de la cote. Cette partie du littoral de la commune de Rais Hamidou est affectée par les égouts installés sans aucune étude préalable par les riverains

L'urbanisation au niveau de cette région se concentre au niveau de la frange littorale (Rabehi *et al*(2019). Les principales activités anthropiques qui influence la région sont : (i) la cimenterie de Rais Hamidou (SAADI, 2018) qui possède aussi une concession d'exploitation des carrières calcaires, argile et le gypse (JECDD-2021), (ii) le port de pêche et plaisance de Rais Hamidou qui génère beaucoup de rejets chargés en hydrocarbures et huiles, engendre des pollutions chimiques et organiques importantes et (iii) les plages de la commune qui sont au nombre de 14 sont fortement fréquentées dans la période estivale. la station présente un EQR indiquant un statut écologique "moyen".

2.1.3 Station de la baie de Zemmouri : l'île Agueli(AG)

La baie de Zemmouri se situe à l'est de la baie d'Alger. Elle est limitée à l'ouest par le cap M

atifou et à l'est par le cap Djinet. L'oued Isser constitue le principal tributaire (Benslama,1990). La région prise en considération dans cette étude est située à l'extrémité ouest de la baie de Zemmouri et à 28 km de cet oued. Le choix de ce site a été effectué du fait de sa proximité de l'embouchure du lac de Reghaia qui forme un réceptacle direct des eaux urbaines, industrielles (zone industrielle de Rouiba-Réghaïa) et agricoles. (MADR/DGF/2003 ;PNUE/PAM/CARPAP,2006). Des études ont confirmé la qualité eutrophiques des eaux de ce lac (Haouati, 2015; Haouati *et al.*, 2015).

D'autre part, cette région est influencée par les effets négatifs provoqués par le grand effort de pêche qui est focalisé sur une zone très limitée (îlots de Sandja et île Agueli). (CAR/ASP-PNUE/PAM,2015).

La station AG est située à 200 mètres à l'est de l'île rocheuse d'Agueli, à 1 km de la côte, face à l'embouchure du lac Reghaia. La station présente un EQR indiquant un "très bon" statut écologique selon Sengouga *et al*(2019).

2.1.4 Station de Dellys (Dls)

La station est située à Dellys à l'Est de la Wilaya de Boumerdès. Elle Se trouve à 100 km à l'Est d'Alger. C'est une ville à vocation touristique et agricole, dotée aussi d'un port de pêche. La station est se trouve à 522m de l'oued Brika.

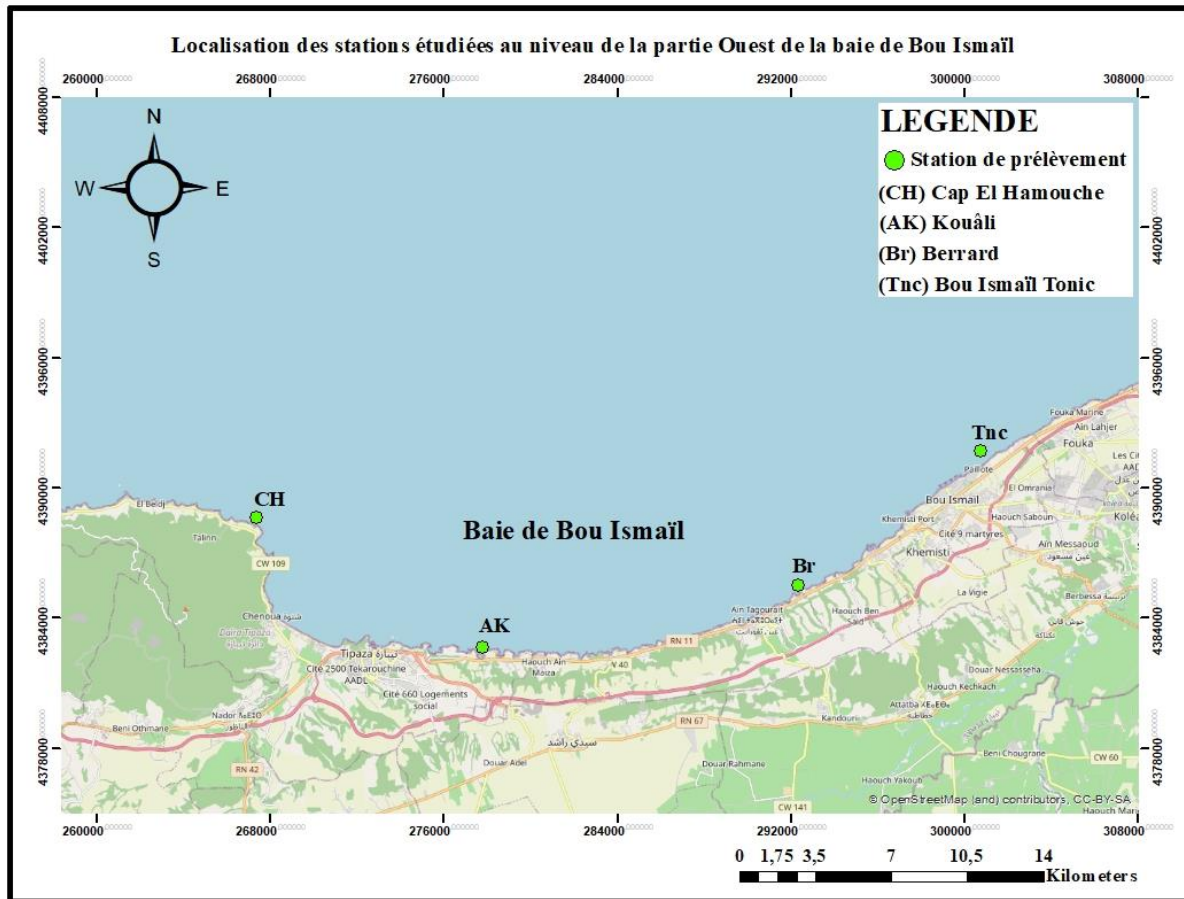


Figure 4. Localisation des stations étudiées au niveau de la partie ouest de la baie de Bou Ismail

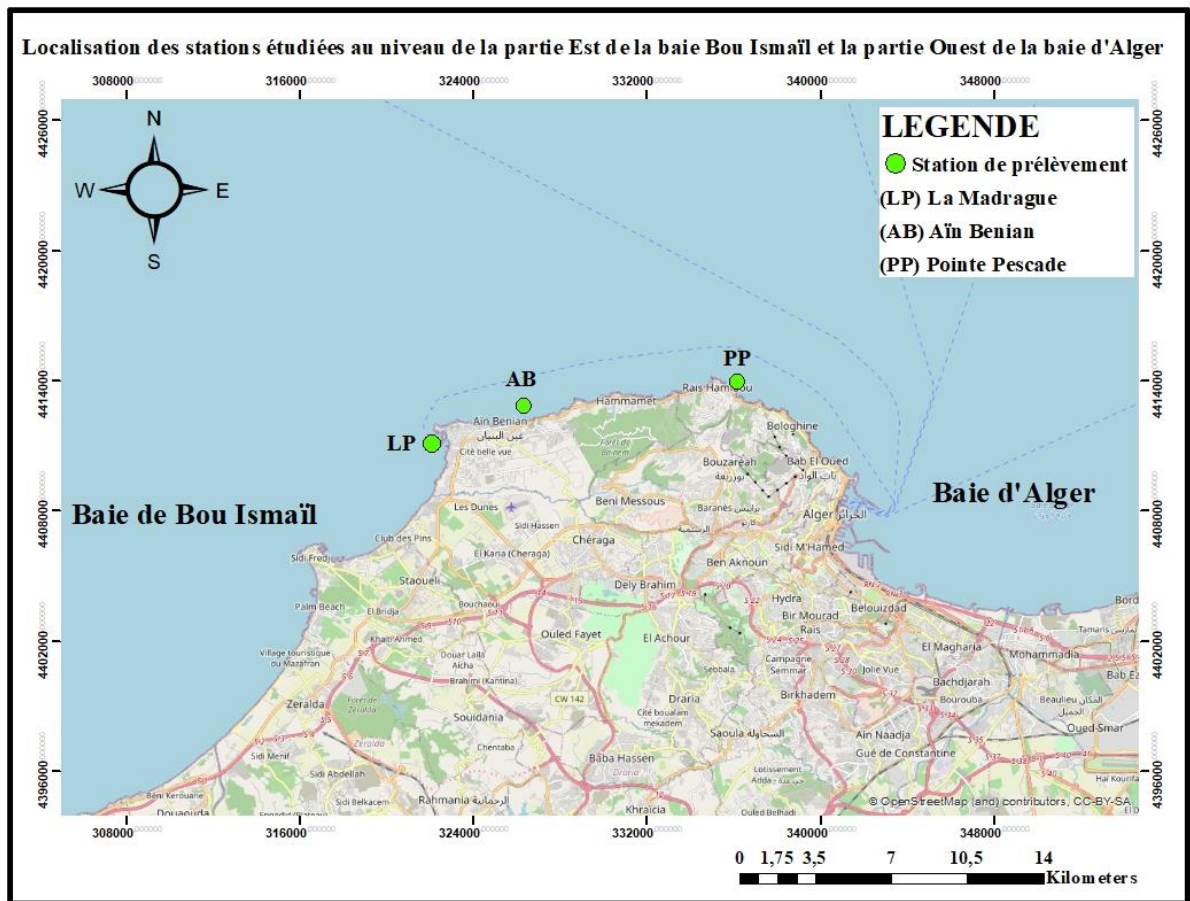


Figure 5. Localisation des stations étudiées au niveau de la partie est de la baie de Bou Ismaïl et la partie ouest de la baie d'Alger.

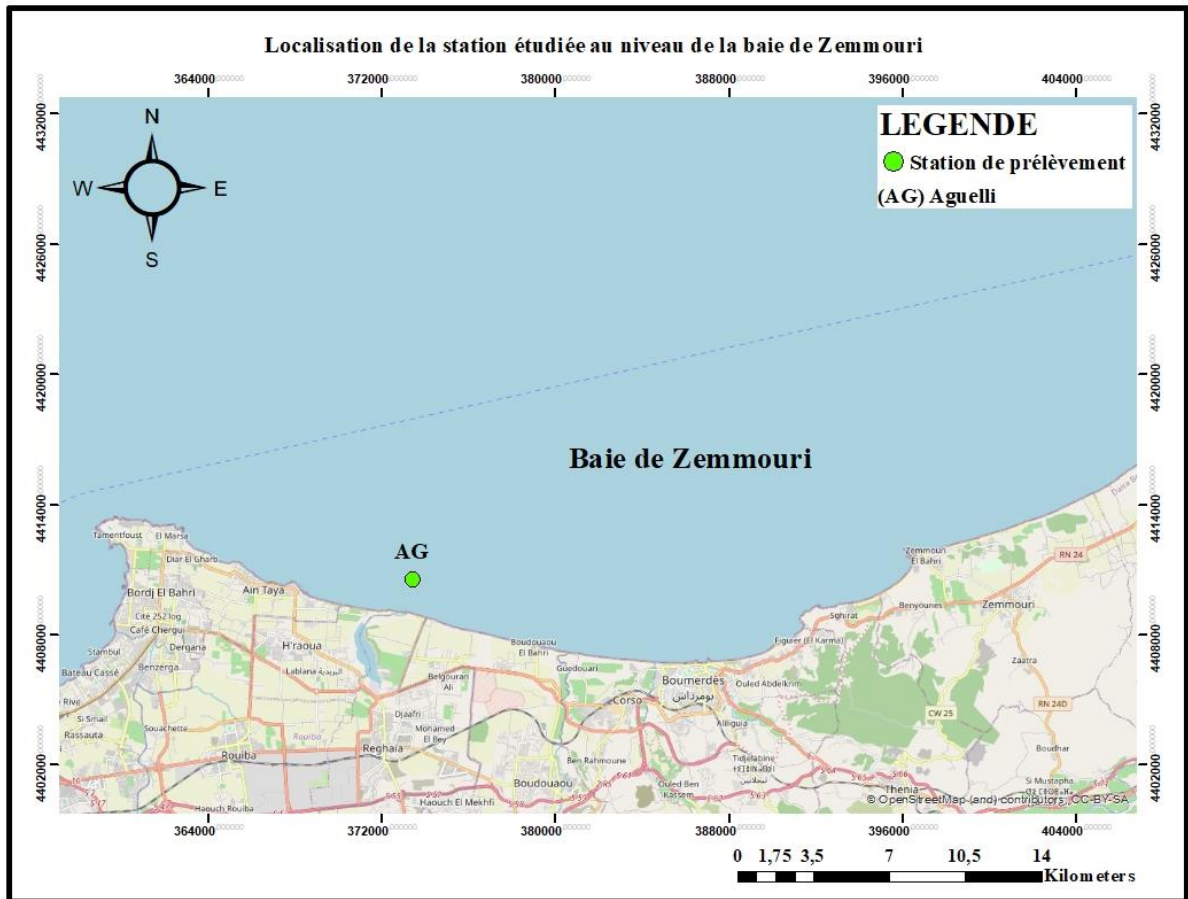


Figure 6. Localisation de la station étudiée au niveau de la baie de Zemmouri.

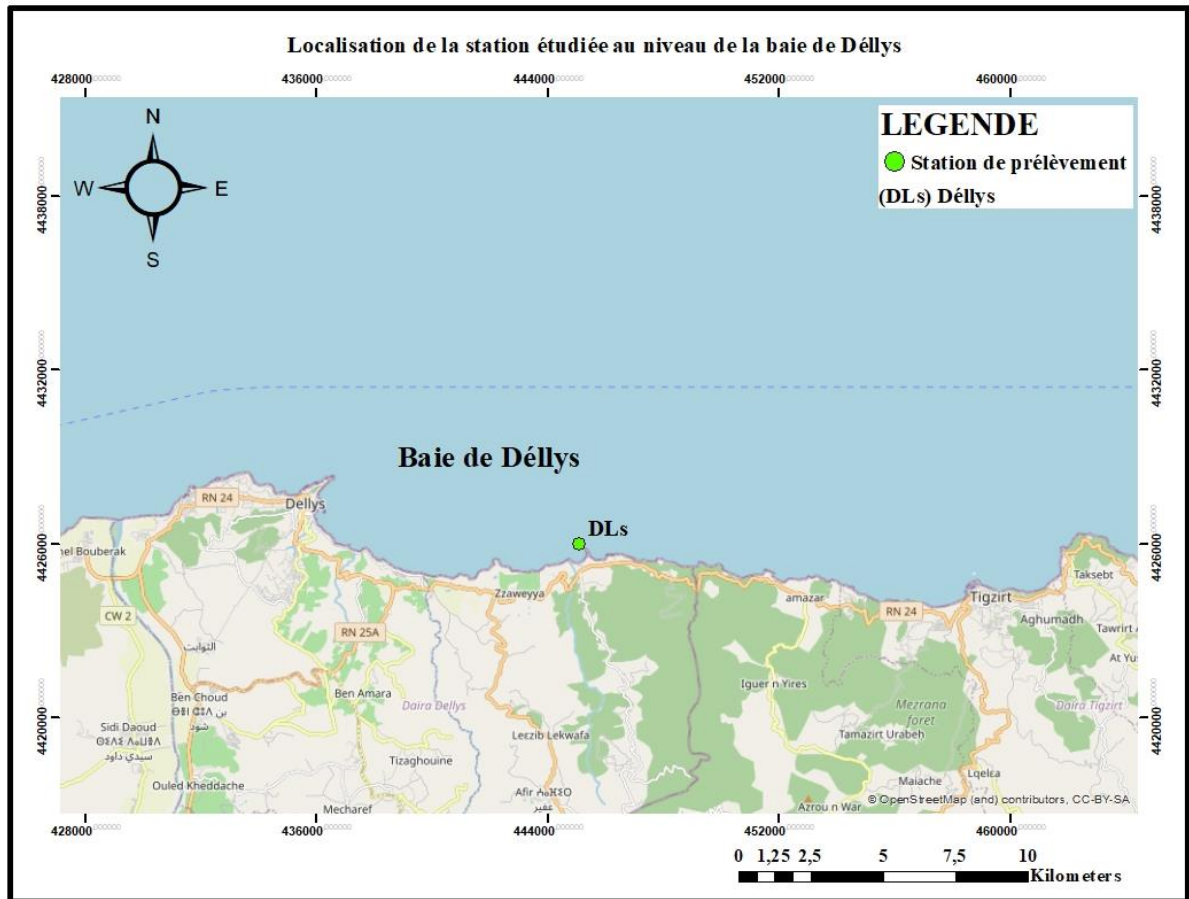


Figure 7. Localisation de la station étudiée au niveau de la baie de Délélys.

2.2 Prélèvement des échantillons et mesures in-situ

Le prélèvement et les mesures in-situ sont effectués durant une période très courte (juillet-août), afin de s'affranchir de l'impact saison sur les différents paramètres étudiés. Pour chacune des stations, 30 rhizomes orthotropes sont prélevés à environ 12 – 14m de profondeur, en plongée en scaphandre autonome. Les rhizomes récoltés sont distants d'environ un mètre les uns des autres, afin d'éviter les individus rattachés à un même rhizome plagiotrope (Pergent,1987). 15 faisceaux destinés à une analyse phénologique sont formolés à 10% avec l'eau de mer dans des sacs en plastique bien fermés et étiquetés (station, date, profondeur et point GPS). Les 15 faisceaux destinés à l'analyse du taux d'azote, sont prélevés dans des sacs en plastiques conditionnés avec du acide chlorhydrique (HCl) et transporté au laboratoire dans une glacière.

2.3 Etude des paramètres biométriques

Pour chaque station, les faisceaux de feuilles détachées des rhizomes ont été décortiqués dans l'ordre d'insertion des feuilles. En effet, les caractéristiques morphologiques et l'âge des feuilles d'un faisceau diffèrent selon la position de la feuille dans le faisceau. Les feuilles se forment au centre et sont d'autant plus âgées qu'elles sont situées vers l'extérieur (Giraud, 1979). Ensuite, les feuilles sont séparées selon le protocole de Giraud (1979) :

- Feuilles adultes, pourvues d'un pétiole (supérieur ou égal à 2mm);
- Feuilles intermédiaires, dépourvues de pétiole ou dont le pétiole est inférieur à 2mm;
- Feuilles juvéniles, dépourvues de pétiole et de longueur un 'excédant pas 50mm.

Seules les feuilles adultes et intermédiaires sont prises en compte.

Pour chaque feuille, la longueur totale et la largeur du limbe sont mesurées, ainsi que la longueur de la base lorsqu'elle existe (Figure 8).

Les paramètres mesurés sont la longueur et la largeur de chaque feuille et le nombre de feuilles par faisceau. À partir de ces données biométriques, la surface foliaire globale pour chaque faisceau est exprimée en cm².

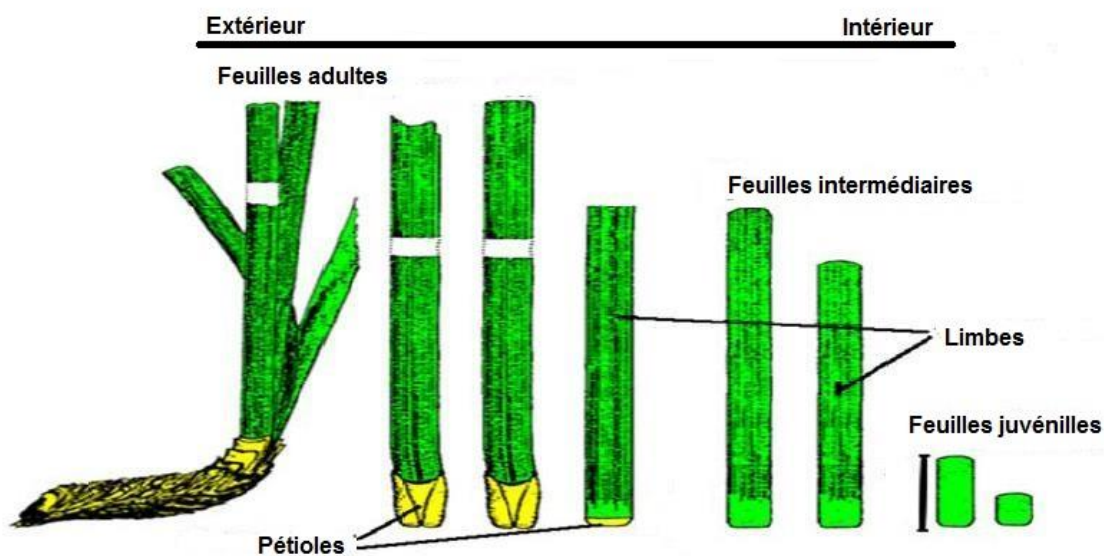


Figure 8.Dissection phénologique de *Posidonia oceanica*(Pergent,1987).

2.4 Biomasse des feuilles et biomasse des épiphytes

Les feuilles de *Posidonia oceanica* constituent un excellent substrat pour les épiphytes (Fucophyta, Erythropphyta, Bryozoaires, Hydra, etc.) (Boudouresque *et al.*, 2006), et leur surdéveloppement peut affecter négativement la plante car elles créent un écran qui réduit la

pénétration de la lumière (Dalla Via *et al.*, 1998). La capacité des épiphytes à réagir rapidement aux changements environnementaux fait de leur biomasse un indicateur important pour les programmes de surveillance et de gestion dans les zones côtières (Giovannetti *et al.*, 2010).

Les faisceaux récoltés pour l'étude phénologique sont également utilisés pour déterminer la biomasse des feuilles et des épiphytes des feuilles.

A l'aide d'une lame de rasoir, les deux faces de chaque feuille sont grattées soigneusement afin de séparer les épiphytes des feuilles. Le produit du raclage des feuilles adultes et intermédiaires est séché séparément à l'étuve pendant 72 h à 70°C. Chaque lot est ensuite pesé. La biomasse des épiphytes est alors exprimée en mg Ps par faisceau.

Pour chaque faisceau, les lots de feuilles adultes et intermédiaires débarrassées de leurs épiphytes sont séchés séparément à l'étuve pendant 72h à 70°C. Chaque lot est ensuite pesé. La biomasse des feuilles est exprimée en g Ps (poids sec) par faisceau.

2.5 Analyse du taux d'azote dans les feuilles de *Posidonia oceanica*

2.5.1 Prétraitement

Les 15 faisceaux destinés à l'analyse des taux d'azote ont été traités directement au laboratoire après le prélèvement. Trois (03) lots de faisceaux de *Posidonia oceanica* sont considérés pour chaque site à raison de cinq (05) faisceaux par lot.

Les feuilles ainsi que leurs épiphytes sont séparées selon l'âge des feuilles en: feuilles adultes, feuilles intermédiaires, bases des feuilles adultes

Les échantillons sont ensuite lyophilisés pour une durée de 72h, broyées et réduits en poudre pour l'analyse des teneurs en azote.

Pour chaque site nous avons les échantillons suivants :

- 03 lots des feuilles adultes
- 03 lots des bases des feuilles adultes
- 03 lots des feuilles intermédiaires

2.5.2 Analyse

L'analyse du taux d'azote dans les feuilles de *Posidonia oceanica* a été effectuée selon le protocole de Kjeldahl (1883). Cette méthode a été largement utilisée pour la détermination de

l'azote sur les aliments, les boissons, la viande, les aliments pour animaux, céréales, fumier, eaux usées, sols et tissus végétaux. Elle est considérée comme une méthode de référence pour l'estimation de l'azote des échantillons biologiques, même ceux d'origines marine comme quelques espèces de faune, des algues et des phanérogames (Aitken and Smith, 1983 ; Duarte, 1990 ; Zaldivar, 1998 Walker *et al.*, 2004 ; S´aez-Plaza *et al.*, 2013).

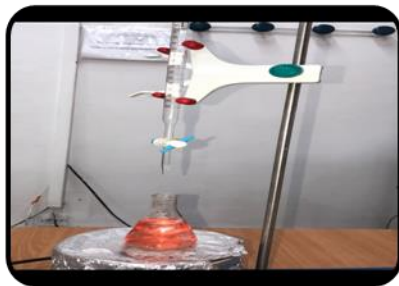
Cette méthode peut être complétée en trois étapes : (i) Digestion humide, (ii) Distillation et (iii) Estimation de l'Ammoniam (Figure 9).



La digestion : 70°C pendant 2h dans un digesteur avec l'acide sulfurique H_2SO_4 et un catalyseur



La distillation : pendant 6min dans un distillateur avec de l'Hydroxyde de Sodium (NaOH)



La titration : se fait avec l'acide sulfurique standardisé, sur le distillat à lequel nous avons rajouter l'acide Boric et un indicateur coloré (Rouge de Méthyle-Vert de Bromocrésol)

Figure 9. L'analyse d'azote selon le protocole de Kjeldahl (1883).

2.6 Traitements statistiques

Les traitements statistiques sont réalisés à l'aide du logiciel R version 2.13.0. Lorsque la normalité (test de Shapiro-Wilk) et l'homogénéité des variances (test de Bartlett) sont

vérifiée, des analyses de variance à un facteur (Anova) sont appliquées afin de comparer les moyennes de chacun des paramètres étudiés (avec un seuil de significativité de 0.05%). Si ces conditions ne sont pas remplies, des tests non paramétriques sont effectués (Kruskall-Wallis). Lorsque des différences significatives sont décelées, le test de Student-Newman-Keuls (SNK) est utilisé pour situer les différences entre stations en non paramétrique et celui de Tukey en paramétrique. La corrélation entre certains paramètres est estimée à l'aide du coefficient de Bravais-Pearson.

Résultats & Discussion

3 Résultats et discussions

3.1 Biométrie foliaire

3.1.1 Nombre des feuilles

Les nombres de feuilles adultes et intermédiaires présentent des variations significatives entre les stations (Kruskall-Wallis, $P < 0.05$). (Figure 10). La valeur moyenne maximale pour les feuilles adultes est obtenue au niveau de [DLS], et le minimum au niveau de [Br]. Pour les feuilles intermédiaires le test post hoc de SNK ne distingue aucune station ($P = 0,03$; Kruskall-Wallis), toutefois, le maximum est obtenu au niveau de [CH] et le minimum au niveau de [Br]. La variation du nombre moyen de feuilles de *Posidonia oceanica* est liée aux conditions du milieu qui peuvent influencer leur rythme de chute et de formation, comme l'hydrodynamisme (Boumaza, 1995 ; Ferrari, 2006; Vela 2006), la quantité de lumière disponible et les concentrations en nutriments (Vela, 2006).

Quant à la comparaison en fonction de l'âge des feuilles, le nombre des feuilles adultes est plus important que celui des intermédiaires quel que soit la station. Des travaux antérieurs par Giraud (1977) et Giraud *et al.*, (1979) ont déjà signalé un déficit en nombre de feuilles intermédiaire dans la même période de prélèvement (entre juin et septembre) suggérant un ralentissement de la croissance en cette période de l'année où les feuilles intermédiaires les plus longues deviennent des feuilles adultes et qui ne sont pas encore remplacées.

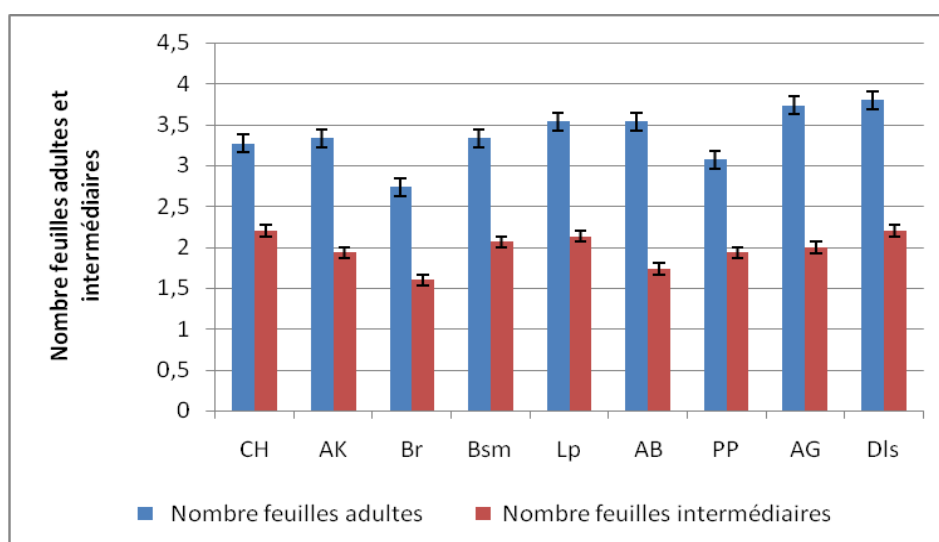


Figure 10. Variation du nombre des feuilles adultes et intermédiaires de *Posidonia oceanica* au niveau des différentes stations.

3.1.2 Longueurs des feuilles adultes et intermédiaires

La longueur des feuilles adultes présente une variation significative entre les stations (ANOVA, $P < 0.05$), le test post hoc de Tukey montre que le maximum est obtenu dans les 02 stations [AK, Br] et le minimum au niveau de la station [Lp].

La longueur des feuilles intermédiaires présente une variation significative entre les stations (Kruskall-Wallis, $P < 0.05$), (Figure 11) le test post hoc de SNK montre que le maximum est obtenu dans les 02 stations [AK, CH] et le minimum au niveau des stations [AB, Lp].

Le minimum de la longueur des feuilles adultes et intermédiaires obtenue dans la station LP pourrait être liée au fait que la station est affectée par une installation portuaire, ce qui a été déjà montré par plusieurs études (Fernandez-Torquemada *et al.*, 2005 ; Maggi *et al.*, 1977 ; Pergent *et al.*, 1988 ; Pergent-Martini, 1994). Ce minimum pourrait être liée aussi à la forte urbanisation que présente cette station, ces derniers gênent des rejets des eaux usées non traitées et jetées directement en mer et qui sont à l'origine d'une diminution de la lumière reçue au niveau de l'herbier. En effet, la quantité de lumière disponible peut influencer la longueur des feuilles (Ruiz & Romero, 2001 ; Masini & Manning, 1997).

D'autres facteurs locaux comme la pression des herbivores et l'hydrodynamisme peuvent aussi affecter la longueur des feuilles (Vela, 2006).

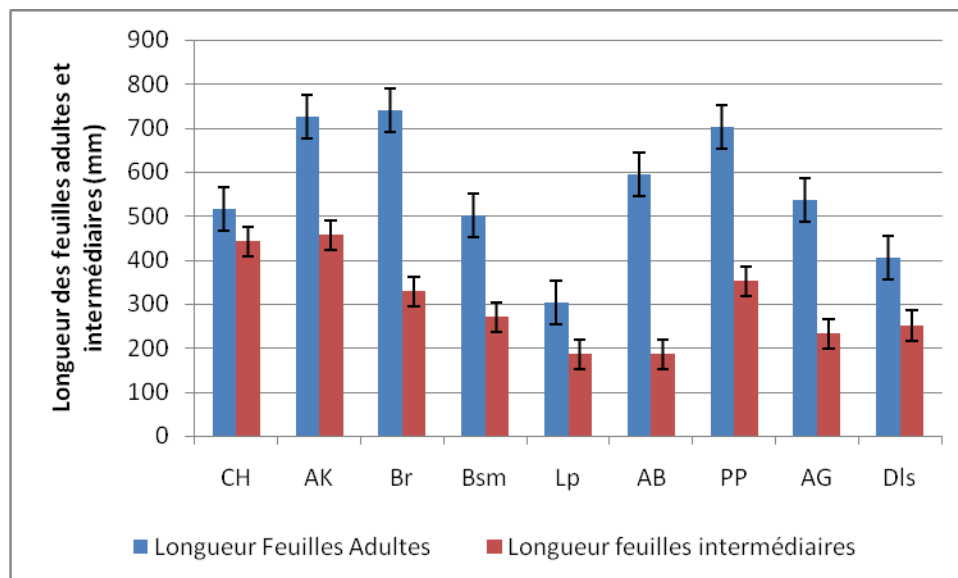


Figure 11. Variation de la longueur des feuilles adultes et intermédiaires de *Posidonia oceanica* au niveau des différentes stations.

3.1.3 Longueur de base feuilles adultes

La longueur de base des feuilles adultes présente une variation significative entre les stations (Kruskall-Wallis, $P < 0.05$), (Figure 12) le test post hoc de SNK montre que le maximum est obtenu dans les 03 stations [AK, Br, AG] et le minimum au niveau de la station [Lp]. Ceci est corrélé aux valeurs maximales et minimales obtenues pour la longueur des feuilles adultes, ce qui est déjà démontré par plusieurs (Pergent, 1987 ; Boumaza, 1995 ; Guidetti & Fabiano, 2000, Vela, 2006). La longueur des bases varie le long du faisceau, elle est maximale pour les feuilles les plus âgées (Pergent Et Pergent-Martini, 1988 ; Vela 2006).

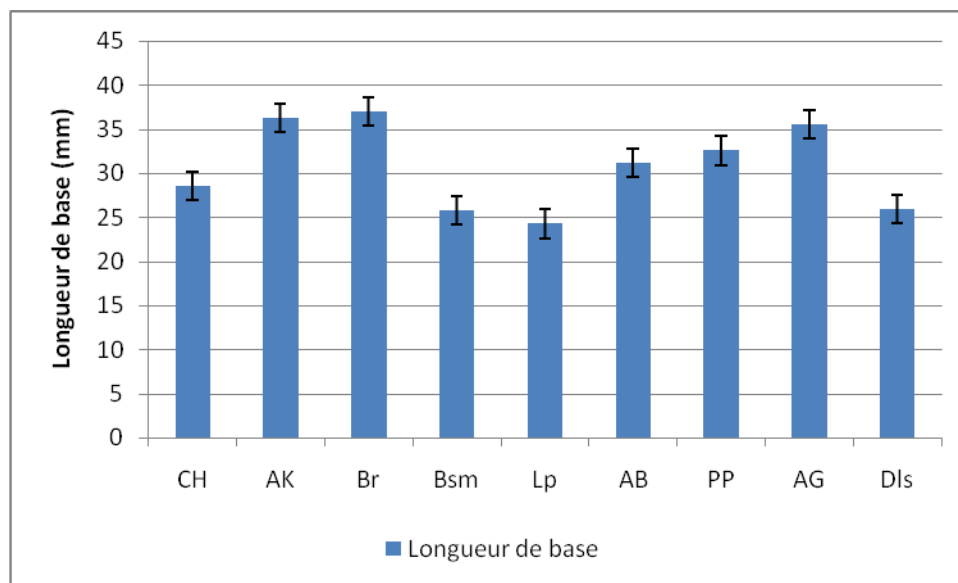


Figure 12. Variation de la longueur des feuilles adultes de *Posidonia oceanica* au niveau des différentes stations.

3.1.4 Largeurs des feuilles adultes et intermédiaires

La largeur des feuilles adultes présente une variation significative entre les stations (ANOVA, $P < 0.05$). (Figure 13) le test post hoc de Tukey montre que le maximum est obtenu dans la station de [AG] et le minimum au niveau de la station de [DIs].

La largeur des feuilles intermédiaires présente une variation significative entre les stations (Kruskall-Wallis, $P < 0.05$). Pareillement pour les feuilles adultes le test post hoc de SNK montre que le maximum est obtenu dans la station [AG] et le minimum au niveau de la station de [DIs].

Le maximum obtenu à AG pourrait être lié au fort hydrodynamisme qui caractérise la zone (Rico-Raimondino, 1995 ; Vela 2006), qui semble être une réponse de *Posidonia oceanica* à la perte de tissus foliaires. Des largeurs de feuilles maximales ont été déjà signalées dans cette

même région par Misraoui et Sengouga (2011) et Gasmi (2018), elles sont très proches de celles trouvées à la Marsa, station voisine de l'île Agueli par Semroud *et al.* 1992, qui proposent ce paramètre comme critère de différenciation d'une population à feuille large.

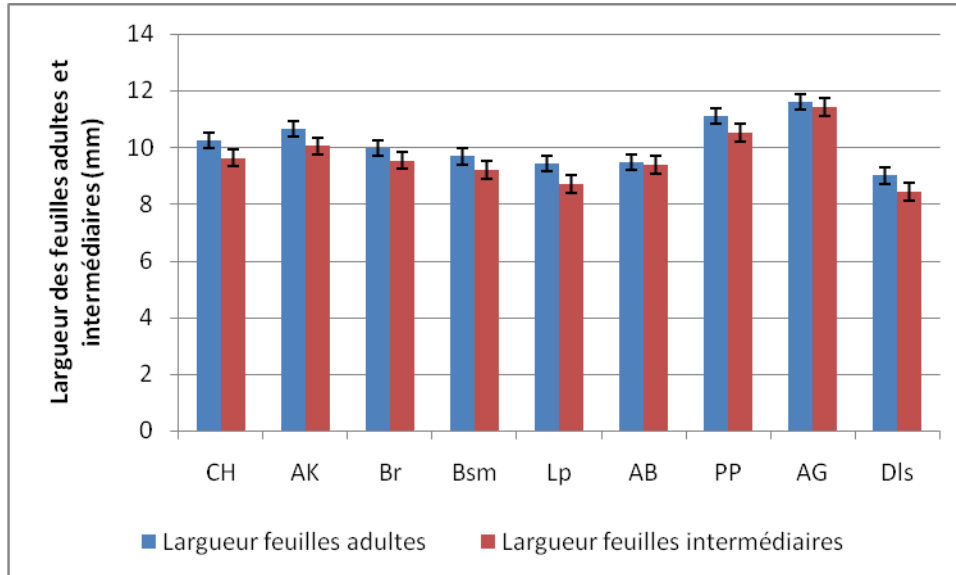


Figure 13 .Variation de la largeur des feuilles adultes et intermédiaires de *Posidonia oceanica* au niveau des différentes stations.

3.1.5 Surface foliaire des feuilles adultes et intermédiaires

La surface foliaire est un paramètre synthétique de la physiologie de la plante, il prend en compte à la fois la longueur, la largeur et le nombre de feuilles (Silvestri, 1993 ; vela,2006).

La surface foliaire des feuilles adultes présente une variation significative entre les stations (ANOVA, $P < 0.05$) (Figure14), le test post hoc de Tukey montre que le maximum est obtenu dans la station AK et le minimum au niveau de LP.

La surface foliaire des feuilles intermédiaires présente une variation significative entre les stations (Kruskall-Wallis, $P < 0.05$), le test post hoc de SNK montre que le maximum est obtenu dans les 02 stations [CH,AK] et le minimum au niveau des stations [LP, AB].

Le minimum de la surface foliaire des feuilles adultes et intermédiaires obtenue à Lp pourrait être liée à la turbidité qui caractérise les eaux de cette station affectée par les rejets et sa proximité d'une structure portuaire (Balestri *et al.*, 2004 ; Fernandez-Torquemada *et al.*, 2005; Ben Brahim *et al.*, 2010 ; Boumaza *et al.*, 2014 ; Sengouga 2017).

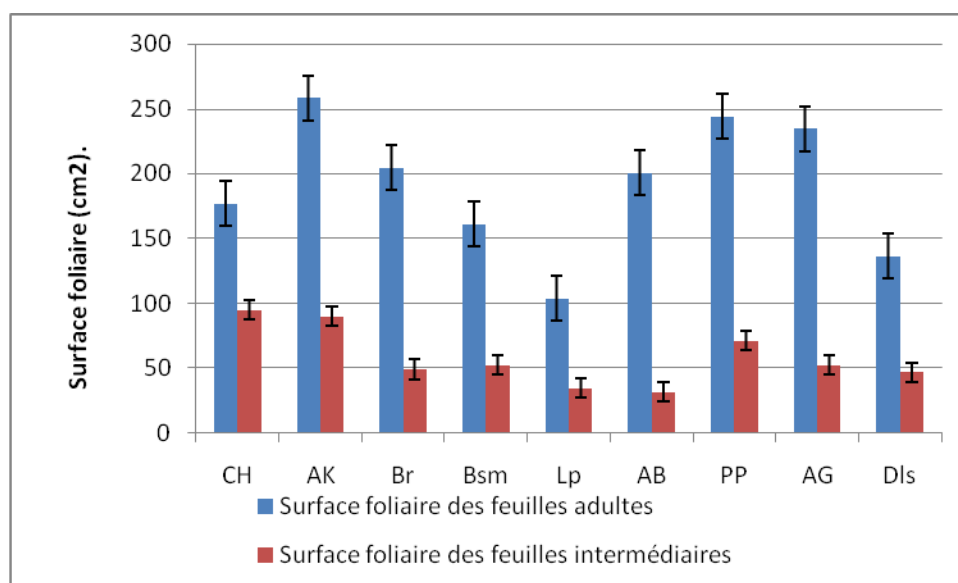


Figure 14 .Variation de la surface des feuilles adultes et intermédiaires de *Posidonia oceanica* au niveau des différentes stations.

3.2 Biomasse des feuilles adultes et intermédiaires

Les biomasses des feuilles adultes et intermédiaires présentent des variations significatives entre les stations (Kruskall-Wallis, $P < 0.05$), (Figure 15) le test post hoc de SNK pour les feuilles adultes montre que, le maximum est obtenu dans les 02 stations : [AK,AG] et le minimum au niveau la station : [Lp]. Pour les feuilles intermédiaires le maximum est au niveau de la station:[AK]et le minimum est obtenu à :[AB].

Le minimum de la biomasse adulte qu'on a eu dans la station Lp, pourrait être lié à la proximité du port d'El Djamil. La diminution de la biomasse foliaire chez *Posidonia oceanica* est rapportée lorsque l'herbier est affecté par les nuisances dues aux installations portuaires (Fernandez-Torquemada *et al.*, 2005 ; Sengouga 2017)

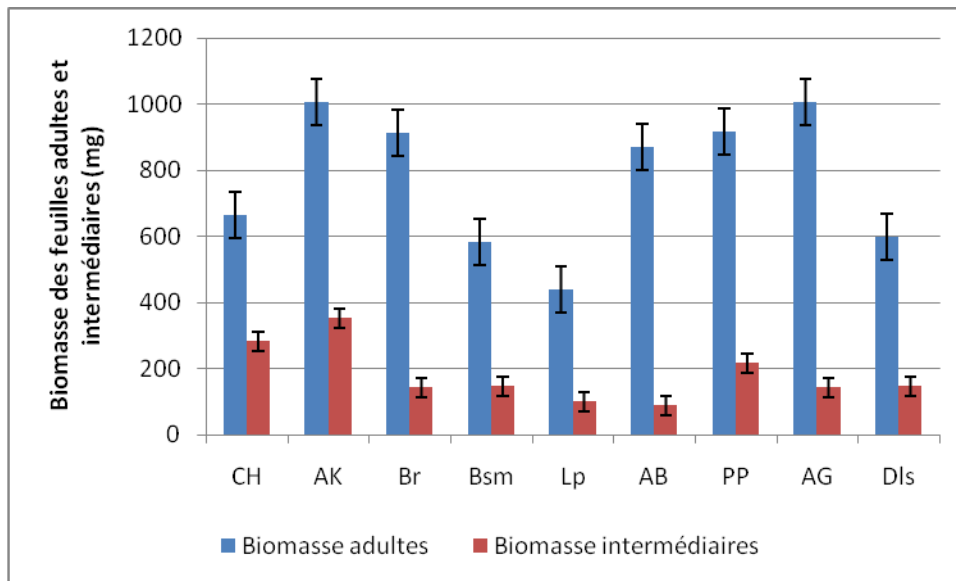


Figure 15 .Variation de la biomasse des feuilles adultes et intermédiaires de *Posidonia oceanica* au niveau des différentes stations.

3.3 Indice épiphytique des feuilles adultes et intermédiaires

L'indice épiphytique est un indicateur pour la surveillance et la gestion des zones côtières (Giovannetti *et al.*, 2010), c'est le rapport de la biomasse des épiphytes sur la surface foliaire. L'indice épiphytique des feuilles adultes et intermédiaires présente des variations significatives entre les stations (Kruskall-Wallis, $P < 0.05$) (Figure 16).

La valeur moyenne maximale pour les feuilles adultes est obtenue au niveau de la station DLS et au niveau de la station AK pour les feuilles intermédiaires. Les valeurs minimales sont obtenues au niveau LP pour les feuilles adultes et au niveau de DLS pour les feuilles intermédiaires.

Les valeurs obtenues pour les feuilles adultes sont nettement supérieures à celles obtenues pour les feuilles intermédiaires, cela est probablement lié à leur position externe -feuilles adultes- dans le faisceau (Alcoverro *et al.*, 1997 ; Peirano *et al.*, 2001). Le maximum obtenu pour les feuilles adultes à la station DLS est probablement expliqué par la proximité de cette station de l'oued Brika (§2.1.3) qui charrie une eau riche en nutriments. En effet, un enrichissement pourrait être à l'origine de l'augmentation de la biomasse des épiphytes (Dimech *et al.* 2002 ; Cancemi *et al.* 2003).

Le minimum d'indice épiphytique obtenu dans la station de LP pour les feuilles adultes pourrait être lié au broutage de ces herbiers par les herbivores (Alcoverro *et al.*, 1997). Il pourrait être aussi lié au facteur de la température qui contrôle la croissance des épiphytes

(Mazzella *et al.*, 1989 ; Alcoverro *et al.*, 1997).

Plusieurs d'autres facteurs peuvent affecter le changement de cet indice tels que le taux de renouvellement des feuilles, la morphologie de l'espèce, mais aussi la forme de l'herbier, le taux de reproduction des épiphytes (Lotfi et Jribi, 2017), la réduction de la quantité de lumière (Ruiz et Romero, 2001) et/ou l'exposition à un hydrodynamisme important constituent un frein à l'accumulation des épiphytes sur les feuilles (Borowistzka *et al.*, 2006). Les facteurs suscités peuvent être à l'origine de la faible valeur obtenue pour cet indice au niveau de la station Br, qui est soumise à une activité piscicole, supposée être une cause principale de l'augmentation de la biomasse des épiphytes des feuilles chez *P. oceanica* (Pergent *et al.*, 1999 ; Ruiz-Fernández, 2000).

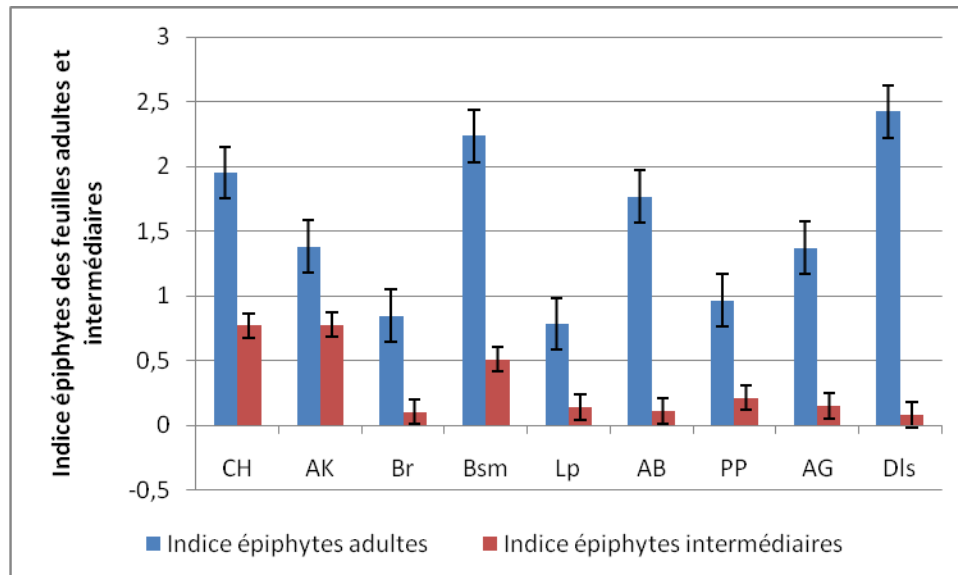


Figure 16. Variation de l'indice épiphytique des feuilles adultes et intermédiaires au niveau des différentes stations.

3.4 Analyse du taux d'Azote dans les feuilles de *Posidonia oceanica* :

3.4.1 Variations du taux d'azote dans les feuilles de *Posidonia oceanica* en fonction des stations

Le taux d'azote dans les feuilles de *Posidonia oceanica* présente une variation significative entre les stations (Kruskall-wallis $P < 0.05$) (Figure 17), le test post hoc de SNK montre que le maximum est obtenu au niveau de la station [Bsm], et le minimum au niveau de la station [Br]. Le maximum du taux d'azote obtenu dans les feuilles de *Posidonia oceanica* [Bsm] pourrait

être lié au fait que la station est située au niveau d'une zone soumise aux rejets domestiques, comme il a été démontré par Jiménez-Casero *et al*(2023).

Le taux d'azote dans les feuilles adultes présente une variation significative entre les stations (Anova $P < 0.05$)(Figure 18), le test post hoc de Tukey montre que le maximum est obtenu dans la station de [Bsm] et le minimum au niveau de la station de [AK ;Br].

Le taux d'azote dans les feuilles intermédiaires présente une variation significative entre les stations (Kruskal-wallis $P < 0.05$) (Figure 18), le test post hoc de SNK montre que le maximum est obtenu au niveau de la station de [Bsm] et le minimum au niveau de la station de [Br].

Les valeurs maximales et minimales du taux d'azote dans les feuilles adultes, intermédiaires et globales sont obtenues dans les mêmes stations [Bsm et Br].

Le maximum obtenu dans la station de [Bsm] est probablement lié au fait que la station est située au niveau d'une zone soumise aux rejets domestiques, comme il a été démontré par Jiménez-Casero *et al*(2023). Le minimum obtenu à Br n'est pas attendu du fait que la station fait face à une activité piscicole qui est censée être une source potentielle de nutriment. En effet, ce résultat pourrait être expliqué par l'hydrodynamisme qui caractérise la zone et qui fait dissiper les nutriments vers le large. Ainsi, la teneur en nutriments des feuilles des herbiers est en fait le résultat de l'équilibre entre la disponibilité en nutriments et les besoins en nutriments de la croissance des herbiers (Duarte 1990 ; Fourqurean *et al.* 1992 ; McClelland & Valiela 1998 ; Castejo n-Silvo & Terrados, 2011) et donc, la relation entre la teneur en éléments nutritifs des feuilles et la disponibilité des éléments nutritifs n'est pas univoque.

Le taux d'azote dans les bases présente une variation non significative entre les stations (Kruskal-wallis $P > 0.05$).

Une corrélation positive importante est obtenue entre le taux d'azote globale et l'indice épiphytique global ($r = 0,7$; $p < 0,05$). Des études (Dimech *et al* 2002 ; Cancemi *et al* 2003) ont montré le lien étroit entre l'enrichissement du milieu en nutriment et l'augmentation de la biomasse des épiphytes. Jiménez-Casero *et al* (2023) ont montré que les valeurs élevées du taux d'azote total dans les feuilles sont fortement liées à la qualité de l'eau, les valeurs sont plus importantes lorsque l'herbier est exposé aux perturbations anthropiques ainsi que rejets domestiques.

Par contre, aucune corrélation n'a été établie entre la teneur en azote des feuilles et le nombre de feuilles et/ou la surface foliaire. Ce résultat a été déjà relevé dans l'étude réalisée par Castejo n-Silvo & Terrados (2011).

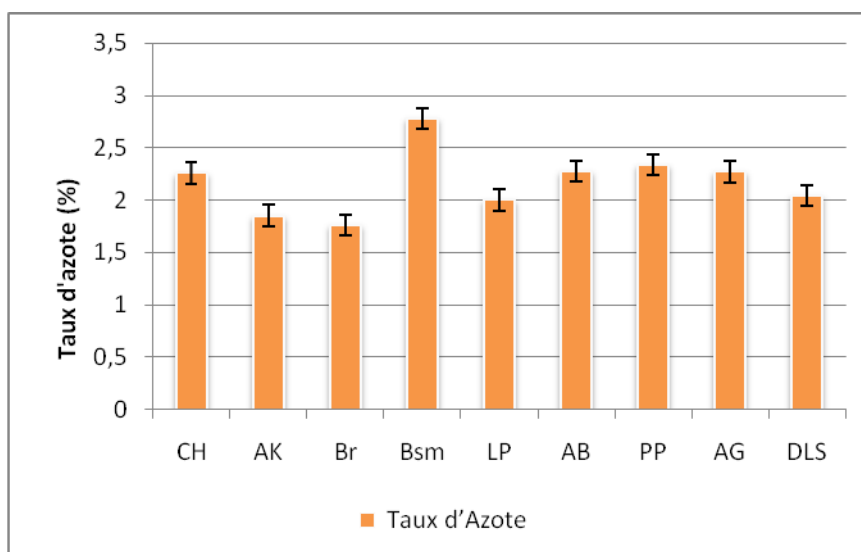


Figure 17 .Variation du taux d'azote des feuilles de *Posidonia oceanica* au niveau des différentes stations.

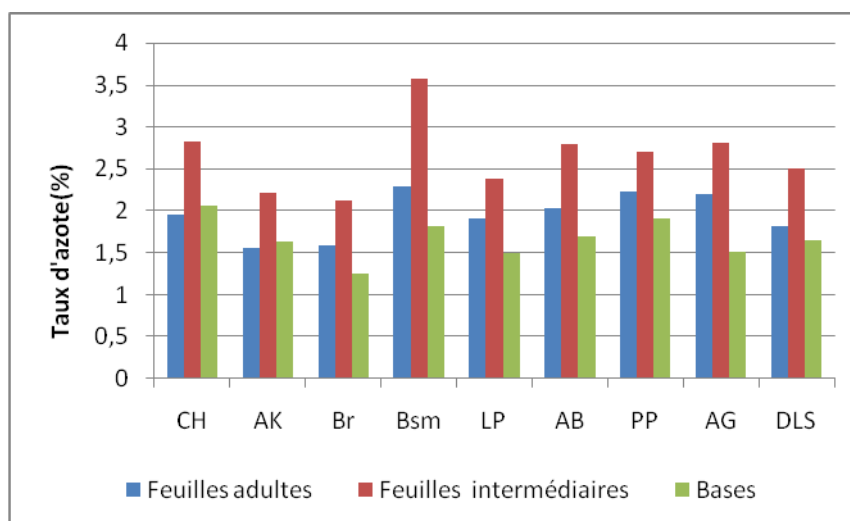


Figure 18 .Variation du taux d'azote des feuilles adultes et intermédiaires et bases de *Posidonia oceanica* au niveau des différentes stations.

3.4.2 Variations du taux d'azote dans les feuilles de *Posidonia oceanica* en fonction du type de tissus des feuilles

Le taux d'azote total présente une variation significative entre les feuilles adultes,

intermédiaires et les bases des feuilles adutes (Kruskall-Wallis, $P < 0.05$) (Figure19), le test post hoc de SNK montre que le maximum est obtenu dans les tissus des feuilles intermédiaires et le minimum au niveau des bases. En effet, la concentration de l'azote dans les feuilles diminue avec l'âge des feuilles, ce qui est courant dans de nombreux herbiers marins (Borum *et al.*, 1989 ; Kraemer et Mazzella, 1999 ; Alcoverro *et al.*, 2000).

Le maximum du taux d'azote obtenu pour les feuilles intermédiaires est liée aussi au processus de résorption des nutriments depuis les feuilles âgées vers les jeunes feuilles en croissance active peuvent couvrir jusqu'à 40 % des besoins en nutriments de ces jeunes feuilles chez *P. oceanica* (Alcoverro *et al.*, 2000; Lepoint *et al.*, 2002; Vangeluwe, 2006)

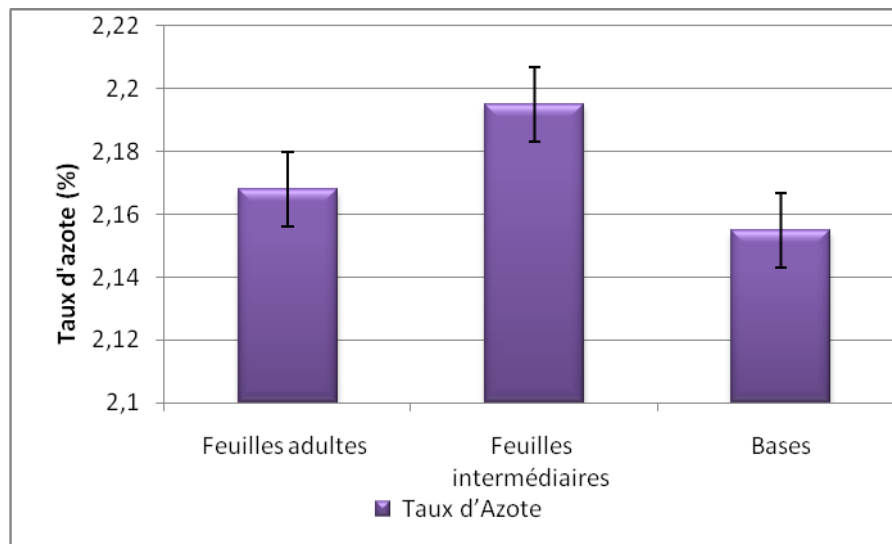


Figure 19 .Variation du taux d'azote dans les feuilles de *Posidonia oceanica* en fonction du type des tissus.

Conclusion

Conclusion

Le principal objectif de cette étude était d'évaluer les paramètres morphologiques et physiologiques des herbiers à *Posidonia oceanica* à fin de pouvoir estimer ses réponses aux stress environnementaux.

L'étude des paramètres phénologiques de *Posidonia oceanica* nous a permis d'évaluer les différents paramètres existants entre les 09 stations et de les comparer avec les travaux d'autres auteurs sur ces herbiers en méditerranée. Dans une première étape l'analyse de la surface foliaire - paramètre synthétique de la physionomie de *Posidonia oceanica* puisqu'il intègre l'ensemble des paramètres biométriques : longueur, largeur et nombre des feuilles par faisceau- nous a permis de révéler une diminution de ce paramètre au niveau de la station LP qui se situe à proximité du port et des rejets des effluents. Ce type de stress est à l'origine d'une augmentation de la turbidité et donc de la réduction de la quantité de lumière disponible. Cette station qui est caractérisée aussi par une longueur de feuilles et une biomasse foliaire minimales puisqu'elle est affectée par les nuisances liées à l'installation portuaire.

Quant à l'indice épiphytique, un maximum lié à la proximité des rejets d'effluents urbains a été relevé pour la station DLS. Toutefois, cette tendance n'est pas notée pour quelques stations influencées par des rejets d'effluents urbains (LP) et (PP) et pour une station influencée par une activité aquacole et conchylicole (Br) ce qui pourrait s'expliquer par l'effet d'autres facteurs comme l'hydrodynamisme et le broutage, qui peut conduire à des changements de la biomasse des épiphytes, minimisant ainsi l'effet de l'enrichissement (Castejónsilvo, 2011).

Pour le taux d'azote au niveau des feuilles, nos résultats étaient similaires à ceux obtenus en Méditerranée occidentale (Alcoverro *et al.* 1995, 1997, Leoni *et al.* 2007, Lepoint *et al.* 2007; Peirano *et al.* 2001 ; Vela 2006). Le maximum est enregistré au niveau des limbes des feuilles adultes, suivi par les feuilles intermédiaires et le minimum au niveau des bases des feuilles adultes.

Quant à l'analyse de la variation du taux d'azote dans les feuilles en fonction des stations, nous a permis de distinguer la station Bsm avec un maximum lié à la proximité de cette station aux rejets d'effluents urbains.

D'un point de vue général, et d'après les résultats obtenus dans cette étude, on remarque que

les paramètres morphologiques étudiés particulièrement la longueur des feuilles, la surface foliaire et la biomasse foliaires ont été surtout influencées par les installations portuaires et les rejets d'effluents d'eaux usées, et que les paramètres physiologiques -le taux d'azote dans les feuilles- sont surtout influencés par la proximité des rejets d'effluents d'eaux usées. Ce résultat est soutenu par la bonne corrélation obtenue entre le taux d'azote globale et l'indice épiphytique global ($r = 0,7$; $p < 0,05$), ce dernier qui a un lien étroit avec l'enrichissement du milieu en nutriment (Dimech *et al* 2002 ; Cancemi *et al* 2003).

Références
bibliographiques

Références bibliographiques

- Aitken, A.; Smith, G. L.:** A comparative study of the Kjeldahl method applied to fish products, Part 2, WEFTA Analytical Working Group meeting, Hamburg, **1983**, 8p.
- Alcoverro T., Cerbian E., Ballesteros E., 2001.** The photosynthetic capacity of the seagrass *Posidonia oceanica*: influence of nitrogen and light . J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 261: 107-120.
- Alcoverro T., Romero J., Duarte C.M., López N.I., 1997.** Spatial and temporal variations in nutrient limitation of seagrass *Posidonia oceanica* growth in the NW Mediterranean. Mar. Ecol. Prog. Ser. 146, 155-161.
- Augier H., et Boudouresque C. F. (1979).** Premières Observations Sur L'herbier De Posidonies Et Le Détritique Côtier De L'île Du Levant C Méditerranée, France), A L'aide Du Sous-Marin Griffon De La Marine Nationale. Trav. Sci. Parc Nation. Port Crs., Tome 5 : 141-153.
- Balestri E., Cinelli F., 2003.** Sexual reproductive success in *Posidonia oceanica*. Aquat. Bot. 75, 21–32.
- Bay, D. (1978).** Etude in situ de la production primaire d'un herbier de Posidonie (*Posidonia oceanica* (L.) Delile) de la baie de Calvi, Corse. Thèse Doctorat : Sciences océanologiques, Université Liège, Belg. : 1-251.
- Ben Alaya H., 1972.** Répartition et conditions d'installation de *Posidonia oceanica* Delile et *Cymodocea nodosa* Ascherson dans le Golfe de Tunis. Bull. Inst. Océanogr. Pêche Salammbô 2, 331-416.
- Borum J., Greve T.M., 2004.** The four european seagrass species. In : European seagrasses: an introduction to monitoring and management. J Borum, CM Duarte, D KrauseJensen, TM Greve, Edit., 1-7.
- Boudouresque C.F., Meinesz A.(1982).** Découverte de l'herbier de Posidonie. Cah. Parc nation. PortCros, Fr., 4: 1-79.
- Boudouresque, C.F., Bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel, E., Diviacco, G., Meinesz, A., Pergent, G., Pergent-Martini, C., Ruitton, S., Tunesi, L. (2006).** Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. RAMOGE Publ., Monaco, Fr. : 1-202.

Boumaza S., 1995. Phénologie, biomasse, lépidochronologie et production primaire de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile de l'anse de Kouâli, Tipaza (Algérie). Thèse Magister : Océanologie, ISMAL, Alger, Alg. : 1-125 + Annexes.

Boumaza, S., Semroud, R. (2000). Evaluation of past and present primary production in *Posidonia oceanica* beds from the cove of Kouali (Tipaza, Algeria) using the lepidochronological method. Institut national des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, BP54, Sidi-Fredj, Algérie : 1-4.

Burkholder, J.M., Mason, K.M., Glasgow, Jr.H.B., 1992. Water-column nitrate enrichment promotes decline of eelgrass *Zostera marina*: evidence from seasonal mesocosm experiments. Marine Ecology Progress Series 81, 163-178.

Cabaço, S., Apostolaki, E.T., García-Marín, P., Gruber, R., Hernández, I., Martínez-Crego, B., Mascaró, O., Pérez, M., Prathep, A., Robinson, C., Romero, J., Schmidt, A.L., Short, F.T., van Tussenbroek, B.I., Santos, R., 2013. Effects of nutrient enrichment on seagrass population dynamics: evidence and synthesis from the biomass–density relationships. Journal of Ecology 101, 1552–1562. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12134>

Campagne, C.S., Salles, J.M., Boissery, P., Deter, J., 2015. The seagrass *Posidonia oceanica*: Ecosystem services identification and economic evaluation of goods and benefits. Mar. Pollut. Bull. 97, 391–400.

Cancemi G., De Falco G., Pergent G., 2003. Effects of organic matter input from a fish farming facility on a *Posidonia oceanica* meadow. Estuar. Coast. Shelf Sci. 56, 961-968.

Castejón Silvo, I. (2011). Grazing on the epiphytic community of *Posidonia oceanica* (L.) Delile: An assessment of its relevance as a buffering process of eutrophication effects. Thèse Ph.D, Université Baléares, Palma, Esp. 1-165.

Castejon, Ines & Terrados, Jorge.(2012). Patterns of spatial variation of nutrient content, epiphyte load and shoot size of *Posidonia oceanica* seagrass meadows (Mediterranean Sea). Marine Ecology. 33. 165-175. 10.1111/j.1439-0485.2011.00477.x.

Charbonnel E., Boudouresque C.F., Meinesz A., Pergent-Martini C., Rico-Raimondino V., San-Martin., Bertrand M. C., Foret P., Ragazzim., Leccia G. (1995). Le Réseau de surveillance Posidonies de la région Provence-Alpes. Côte d'Azur.

Den Hartog, C. (1970). Seagrasses of the World. North-Holland, Amsterdam. pp. 275.

Dimech, M., Borg, J. A., & Schembri, P. J. (2002). Changes in the structure of a *Posidonia oceanica* meadow and in the diversity of associated decapod, mollusc and echinoderm assemblages, resulting from inputs of waste from a marine fish farm (Malta, Central Mediterranean). *Bulletin of Marine Science*, 71(3), 1309-1321.

Duarte C.M., 1990. Seagrass nutrient content. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 67, 201-207.

Duarte, C.M., Sand-Jensen, K.(1990). Seagrass colonization: patch formation and patch growth in *Cymodocea nodosa*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 65,193–200.

Fernández-Torquemada, Y. Et Sánchez-Lizaso, J.L.(2005). Effects of salinity on leafgrowth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.).*Delile. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 320 :57-63.

Fourqurean, James W., Zieman, Joseph C., Powell, George V. N.(1992).Phosphorus limitation of primary production in Florida Bay: Evidence from C:N:P ratios of the dominant seagrass *Thalassia testudinum*, *Limnology and Oceanography*, 37, doi: 10.4319/lo.1992.37.1.0162

Frankignoulle M., Bouquegneau J.M., Ernst E., Biondo R., Rigo M., Bay D., 1984. Contribution de l'activité de l'herbier de posidonies au métabolisme global de la baie de Calvi. Premiers résultats. In : International Workshop on *Posidonia oceanica* Beds. Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. Edit., GIS Posidonie publ. 1, 277-282.

Giraud G.(1977).Contribution à la description et à la phénologie quantitative des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse Doct. 3Cycle, Univ. Aix-Marseille II, Fr. : 1-150.

Giraud G.(1979). Sur une méthode de mesure et de comptage des structures foliaires de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Bulletin du Museum d'Histoires naturelles de Marseille*, 39: 33-39.

Giraud G., Charles-François B., Cinelli F., Mazzella E.L.(1979).Observations sur l'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile autour de l'Ile d'Ischia (Italie), *Giornale botanico italiano*, 113:4, 261-274, DOI: [10.1080/11263507909426647](https://doi.org/10.1080/11263507909426647).

Greve T.M., Binzer T., 2004. Which factors regulate seagrass growth and distribution ? In :European seagrasses : an introduction to monitoring and management. J Borum, CM Duarte, D Krause-Jensen, TM Greve, Edit. 19-23.

Guidetti P., Fabiano M., 2000. The use of lepidochronology to assess the impact of terrigenous discharges on the primary leaf production of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Pollut. Bull.* 40, 449-453.

Haddouche.(2011). Contribution à l'étude de la croissance du *Pagellus acarne* (Risso, 1826) dans la baie de Bou-Ismaïl. Ecole nationale supérieure des sciences de la mer et de l'aménagement du littoral Algérie :67p.

Haouati, H.E., 2015. Adaptation d'un indice phytoplanctonique pour l'évaluation de la qualité des eaux des écosystèmes lacustres algériens. Faculté des Sciences Biologiques.

Haouati, H.E., Arab, A., Tudesque, L., Lek, S., Samraoui, B., 2015. Étude des diatomées du lac de Reghaïa, Nord de l'Algérie. *Revue d'Ecologie, Terre et Vie* 70, 44.

Haouchine A.,Haouchine F.Z.,Labadi A ,2015. Changements climatiques et activités anthropiques: impacts sur les aquifères côtiers en Algérie. *Larhyss Journa* :227-241.

Hemminga M.A, Harrisson P.G., Lent van F., 1991. The balance of nutrient losses and gains in seagrass meadows. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 71, 85-96.

Hemminga M.A.,Duarte C.M., (2000). *Seagrass Ecology.* Cambridge Univ. Press, Cambridge. 1-298.

Hougnandan F.(2020) Impact des pressions anthropiques et de l'environnement sur les herbiers à *Posidonia oceanica* en méditerranée française these en écologie biodiversité.Unité de recherche ISEM et MARBEC.

Invers O., Kraemer G.P., Pérez M., Romero J., 2004. Effects of nitrogen addition on nitrogen metabolism and carbon reserves in the temperate seagrass *Posidonia oceanica*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 303, 97-114.

Jeudy de Grissac, A. Et Boudouresque, C.F. (1985). Rôle des herbiers de Phanérogames marines dans les mouvements de sédiments côtiers : les herbiers à *Posidonia oceanica*. Colloque franco-japonais d'Océanographie. Marseille, 1 : 143-151.

Jiménez-Casero, J., Belando, M. D., Bernardeau-Esteller, J., Marín-Guirao, L., García-Muñoz, R., Sánchez-Lizaso, J. L., & Ruiz, J. M. (2023). A Critical Gap in Seagrass Protection: Impact of Anthropogenic Off-Shore Nutrient Discharges on Deep *Posidonia oceanica* Meadows. *Plants*, 12(3), 457.

Jiménez-Casero, J., Belando, M.D., Bernardeau-Esteller, J., Marín-Guirao, L., García-Muñoz, R., Sánchez-Kraemer, G.P., Mazzella, L., Alberte, R.S., 1997. Nitrogen Assimilation and Partitioning in the Mediterranean Seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Ecology* 18, 175–188. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1997.tb00435.x>

Leoni, V., Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Vela, A., Pergent, G. (2007). Physiological responses of *Posidonia oceanica* to experimental nutrient enrichment of the canopy water. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 349 (1), 73-83.

Leoni, V., Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Vela, A., Pergent, G., 2006. Morphological responses of *Posidonia oceanica* to experimental nutrient enrichment of the canopy water. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 339, 1–14.

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* 18, 202–220. <https://doi.org/10.1002/aqc.842>

Lepoint G., Millet S., Patrick D., Sylvie Gobert and Jean-Marie B.,2002. Annual nitrogen budget of the seagrass *Posidonia oceanica* as determined by in situ uptake experiments. *Marine Ecology Progress Series*.vol 237,87-96.

Lizaso, J.L., Ruiz, J.M., 2023. A Critical Gap in Seagrass Protection: Impact of Anthropogenic Off-Shore Nutrient Discharges on Deep *Posidonia oceanica* Meadows. *Plants* 12, 457. <https://doi.org/10.3390/plants12030457>

Lotfi M.,Jribi I.(2018). Comparaison Des Epiphytes Des Feuilles De Magnoliophytes Marines *Posidonia oceanica* (L.) Delile, *Cymodocea Nodosa* (Ucria) Asch Et *Halophila Stipulacea* (Forssk.) Asch Au Tour Des Ilots De Rass Kaboudia (Chebba, Est De La Tunisie). *Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô*,49-52.

Maggi P.,Yves G.,Patrick L.,Francis K.(1977). Influence de la pollution urbaine sur la vitalité des herbiers à posidonies dans le golfe de Giens (Var). *Science et Pêche*, 269, 5-13. Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00000/7129/>

Masini R.J., Manning C.R., 1997. The photosynthetic responses to irradiance and temperature of four meadow-forming seagrasses. *Aquat. Bot.* 58, 21-36.

Mazzella L., Ott J., 1984. Seasonal changes in some features of *Posidonia oceanica* (L.) Delile leaves and epiphytes at different depths.). In : *International Workshop on Posidonia oceanica Beds*. Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. Edit., GIS Posidonie publ. 1, 119-127.

Molinier R., Picard J., 1952. Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Ann. Inst. Océanogr., Paris.*, 27: 157-234.

Montefalcone M., Albertrlli G.n Morri C., Parravivini V., Bionchi C.N.(2009) Legal

protection is not enough : *Posidonia oceanica* meadows in marine protected area are not healthier than those in unprotected areas of the northwest mediterranean sea, Marine Pollution Bulletin , Volume58. Issue 4, Pages 515-519,ISSN 0025-326 X,<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.12.001>.

Orth, R.J., Carruthers, T. J. B., Dennison, W. C., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W., Heck, K. L., Williams, S. L. (2006). A Global Crisis for Seagrass Ecosystems. *BioScience*, 56(12), 987.

Pedersen M.F., Borum J., 1993. An annual nitrogen budget for a seagrass *Zostera marina* population. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 101, 169-177.

Peirano A., Nicolai I., Mauro R., Bianchi C.N., 2001. Seasonal grazing and food preference of herbivores in a *Posidonia oceanica* meadow. *Sci. Mar.* 65, 367-374.

Peirano A.,Cocito S., Banfi V.,Cupido R., Damasso V., Farina G., Lombardi C., Mauro R., Morri C., Roncarolo I.,Saldaña S., Savini D., Sgorbini S.,Silvestri C.,Stoppelli N.,Torricelli C, Bianchi N.2011. Phenology of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile: Medium and long-term cycles and climate inferences *Aquatic Botany*,94 ,77-92. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2010.11.007>.

Pergent G. (1990) .Lepidochronological analysis of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile : a standardized approach. *Aquat. Bot., Netherl.*, 37 : 39-54.

Pergent G., Pergent-Martini C., Boudouresque C. F. (1995) - Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée : Etat des connaissances. *Mesogée*, 54 : 3-27.

Pergent G., Zaouali J., 1992. Analyse phénologique et lépidochronologique de *Posidonia oceanica* dans unelagune hyperhaline du Sud Tunisien. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 33 : 48.

Pergent, G., Clabaut, P., Mimault, B., Pasqualini, V., Pergent-Martini, C. (2005). Mise en oeuvre d'un Réseau de Surveillance Posidonies le long du littoral de la Corse. Deuxième phase : Porto-Vecchio / Ajaccio. Contrat Office de l'Environnement de la Corse et GIS Posidonie Centre de Corse. *GIS Posidonie Publ.* : 1-133.

Pergent-Martini C., 2000. Protection des habitats d'herbiers de Phanérogames marines de Méditerranée. Les études d'impacts en milieu marin. *CAR/ASP Tunis & EqEL publ.*, 1-49 + Ann.

PNUE/PAM/CAR PAP.(2006). Programme d'Aménagement Côtier (PAC) de la «zone côtière algéroise» (PAC). Rapport final intégré. MAP Tech. Rep. Ser., 64, UNEP, Athènes : 1-190 + Atlas cartographique.

Rabehi, W., Guerfi, M., Mahi, H., 2019. La baie d'Alger, un espace côtier prisé, entre pressions d'urbanisation et gouvernance territoriale. *Geo-Eco-Marina* 25, 113–130. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3609744>

Rico-Raimondino V., 1995. Contribution à l'étude des stocks et flux d'éléments dans les herbiers à *Posidonia oceanica*. Thèse Doct. Univ. Aix-Marseille II, 1-248.

Ruiz J.M., Perez M., Romero J., 2001. Effects of fish farm loadings on seagrass (*Posidonia oceanica*) distribution, growth and photosynthesis. *Mar. Poll. Bull.*, 42(9): 749-760.

Sáez-Plaza, María José Navas, Sławomir Wybraniec, Tadeusz Michałowski & Agustín García Asuero (2013) .An Overview of the Kjeldahl Method of Nitrogen Determination. Part II. Sample Preparation, Working Scale, Instrumental Finish, and Quality Control, *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 43:4, 224-272, DOI: [10.1080/10408347.2012.751787](https://doi.org/10.1080/10408347.2012.751787)

Semroud R., Benkorteb N., Tamouza F.Z., 1990. Phénologie de *Posidonia oceanica* dans la région d'Alger (Algérie) : Données préliminaires sur la biométrie foliaire. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.* 32, 10.

Semroud R., Boumaza S., Boukortt R., Badjou R. , Boumoula N., Hadj Aïssa R., Sidi Boumedienne T.(1998) - Surveillance de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile au large de la Grande Plage d'El Djamila (Baie de Bou-Ismaïl, Algérie). *Contrat DGE / ISMAL* , publ., Alger, Alg. : 48 PP.

Sengouga A., Boumaza S., Zerrouk C., Misraoui A., Semroud R., 2019. Temporal Evolution of Ecological Status in Algerian Coastal Waters. *Proceedings of the Fourteenth International Medcoast Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation Medcoast 2019, 22-26 October 2019, Marmaris, Turkey*, E. Ozhan. P: 373- 378.

Sengouga-Misraoui, A. (2017). Evaluation de l'état des eaux cotieres algeroises par l'utilisation d'un indice. Thèse Magister, Dely-Brahim. ENSSMAL. : 1-87 + Annexes

Silvestri C.(1993).Studio sinecologoco sulla prateria di *P. oceanica* (L) di Monterosso almare (SP): cartografia quali-quantitativee dinamica stragionale». Tesi, Univ. Roma, Italy. : 1-97.

Terrados J., Duarte C.M., 2000. Experimental evidence of reduced particle resuspension within a seagrass (*Posidonia oceanica* L.) meadow. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 243, 45-53.

Udy J.W., Dennison W.C., 1997. Physiological responses of seagrasses used to identify anthropogenic nutrient inputs. Mar. Freshwater Res. 48, 605-614.

Udy J.W., Dennison W.C., Long W.J.L., McKenzie L.J., 1999. Responses of seagrasses to nutrients in the Great Barrier Reef, Australia. Mar. Ecol. Prog. Ser. 185, 257-271.

Vassallo P., Paoli, C., Rovere, A., Montefalcone, M., Morri, C., & Bianchi, C. N. (2013). The value of the seagrass *Posidonia oceanica*: A natural capital assessment. Marine pollution bulletin, 75(1-2), p.p 157-167.

Vela A. (2006). Fonctionnement et production primaire des herbiers à *Posidonia oceanica* (L). Delile en Méditerranée. Thèse de Doctorat, l'université de Corse. P 127.

Walker D.I., Campey, M.L., Kendrick, G.A., 2004. Nutrient dynamics in two seagrass species, *Posidonia oceanica* and *Zostera tasmanica*, on Success Bank, Western Australia. Estuarine, Coastal and Shelf Science 60, 251–260. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.01.003>.

Résumé

Posidonia oceanica constitue l'une des espèces endémiques les plus importantes de l'étage infralittoral de la méditerranée. Elle joue un rôle économique et écologique majeur. Elle est aussi utilisée en routine pour traduire la qualité du milieu côtier méditerranéen. Afin de pouvoir estimer les réponses de *Posidonia oceanica* aux stress environnementaux, une étude d'évaluation des paramètres morphologiques et physiologiques entre neuf (09) stations est a été réalisée. Dans une première étape nous avons analysé la biométrie foliaire en termes de Nombre de feuilles, longueur des feuilles, largeur des feuilles et surface foliaire. Une diminution remarquable de ce dernier paramètre a été mise en relation avec sa proximité d'un port et la présence des rejets des effluents. Ensuite, nous avons considéré l'indice épiphytique qui montre une augmentation probablement liée à la proximité des rejets d'effluents urbains. En dernier, nous avons analysé le taux d'azote dans les feuilles qui semble présenter des valeurs importantes lorsque l'herbier reçoit les effets des rejets urbains. Enfin, une bonne corrélation obtenue entre le taux d'azote globale et l'indice épiphytique global soutient l'utilisation de ce paramètre (taux d'azote dans les feuilles) dans le cadre des programmes de surveillance, comme paramètre susceptible, d'apporter des informations pertinentes sur la vitalité des herbiers à *Posidonia oceanica* au niveau du littoral algérois.

Les mots clés : *Posidonia oceanica* ; biométrie foliaire ; taux d'azote ; bioindicateur ; littoral algérois.

Abstract

Posidonia oceanica is one of the most important endemic species of the infralittoral stage of the Mediterranean Sea. It plays an important economic and ecological role. It is also routinely used as an indicator of the quality of the Mediterranean coastal environment. In order to assess the responses of *Posidonia oceanica* to environmental stresses, a study was conducted to evaluate the morphological and physiological parameters among nine (09) stations. As a first step, we analyzed leaf biometrics in terms of leaf number, leaf length, leaf width, and leaf area. A notable decrease in the latter parameter was associated with proximity to a port and the presence of sewage discharges. Then we considered the epiphyte index, which showed an increase probably related to the proximity of urban wastewater discharges. Finally, we analyzed the nitrogen content in the leaves, which shows significant values when the meadow is polluted with municipal waste. Finally, the good correlation between global nitrogen content and global epiphyte index supports the use of this parameter (nitrogen content in leaves) in monitoring programs as a parameter that can provide important information on the vitality of *Posidonia oceanica* meadows on the Algerian coast.

Keywords: *Posidonia oceanica*; leaf biometrics; nitrogen content; bioindicator; Algerian coast.

ملخص

تعتبر *Posidonia oceanica* أحد أهم الأحياء المتوطنة في البحر الأبيض المتوسط. وهي تلعب دورًا اقتصاديًا وبيئيًا رئيسيًا ، كما أنها تستخدم بشكل روتيني لتعكس جودة البيئة الساحلية للبحر الأبيض المتوسط. من أجل التمكن من تقدير استجابات *Posidonia oceanica* للضغوط البيئية ، تم إجراء دراسة تقييمية للمعايير المورفولوجية والفسولوجية لديها من خلال تسع (09) اماكن. في الخطوة الأولى قمنا بتحليل القياسات الحيوية للأوراق من حيث عدد الأوراق وطول الورقة وعرضها ومساحتها. بالتالي تم ربط الانخفاض الملحوظ في المساحة الورقية بقربه من الميناء ووجود مياه الصرف الصحي. بعد ذلك ، أخذنا في الاعتبار المؤشر الايبيفيتي الذي يُظهر زيادة مرتبطة على الأرجح بوجود مياه الصرف الصحي. أخيرًا ، قمنا بتحليل نسبة النيتروجين في الأوراق ، والذي يبدو أنه يقدم قيمًا مهمة عندما يتلقى المرج تآثيرات المياه المستعملة. أخيرًا ، يدعم الارتباط الجيد الذي تم الحصول عليه بين نسبة النيتروجين و المؤشر الايبيفيتي استخدام هذه المعيار (نسبة النيتروجين في الأوراق) في إطار برامج المراقبة ، كمعيار يمكن ان يساهم في اعطاء المعلومات الحيوية الخاصة بدرجة صحة مروج *Posidonia oceanica* على الساحل الجزائري.

الكلمات الأساسية *Posidonia oceanica* ؛ المعايير الحيوية للأوراق. نسبة النيتروجين ، مؤشر حيوي. الساحل الجزائري.