



DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AQUACULTURE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

Medjahed Abderrahmene & Mechenguel Mohamed

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN HYDROBIOLOGIE MARINE ET CONTINENTALE

Spécialité: Bioressources Marines

THÈME

État des herbiers à *Posidonia oceanica* au niveau de
quelques sites de la côte de Mostaganem

Soutenue le 29/06/2026

DEVANT LE JURY

Président Dr. BEKADA Djemel Eddine MCA

U. Mostaganem

Encadreur Dr. BELBACHIR Nor Eddine MCA

U. Mostaganem

Examinatrice Dr. BENZIDANE Dehiba MCA

U. Mostaganem

A decorative border with intricate black floral and scrollwork patterns framing the text.

Remerciements

*Nous remercions tout d'abord ALLAH qui nous a donné la force
pour terminer ce modeste travail.*

*Toute notre infinie gratitude va à notre promoteur
M. BELBACHIR Nor Eddine pour son encadrement
et ses conseils précieux.*

*Nous remercions l'ensemble des membres de jury, à savoir M. BEKADA
DJEMEL EDDINE (Président) et M^{me} BENZIDANE Dehiba (examinatrice)
qui nous ont fait l'honneur d'accepter de juger notre travail.*

*Nous remercions aussi ingénieurs du laboratoire halieutique M^{me} BENMAHAS
Amina pour ses orientations.*

*Enfin nous remercions nos parents et tous ceux qui ont contribué
de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail, qu'ils trouvent ici
l'expression de notre profonde gratitude et respect.*

A decorative border of black floral and scrollwork patterns frames the text. The patterns are symmetrical and ornate, with leaves and swirling lines.

Dédicace

Nous avons l'honneur de dédier ce modeste travail

A nos parents,

A nos frères et sœurs,

Toutes nos familles,

A tous les amis qui ont toujours été à nos côtés dans les bons et mauvais moments,

A tous les collègues de la promotion 2025-2026,

2^{ème} Année master en Bioressources marines.

MAROUANE et MOHAMED

Résumé

Afin d'évaluer l'état des herbiers à *Posidonia oceanica* de la côte de Mostaganem, un suivi de paramètres phénologiques a été réalisé au niveau des deux sites de Hadjadj et Petit Port, à une profondeur entre -1,20 et -1,50 m, durant le mois de mai 2026.

L'herbier du site de Hadjadj se développe sur substrat meuble. Les résultats montrent un nombre moyen de feuilles par faisceau plus élevé, des feuilles globalement plus courtes mais légèrement larges, un coefficient A plus important ainsi qu'une charge épiphytique, un recouvrement et une fréquence d'apex broutés plus élevées. Ces caractéristiques suggèrent une influence plus marquée des interactions biologiques et environnementales au niveau de ce site.

L'herbier du site de Petit Port se développe sur un substrat mixte sableux et rocheux. Il présente des feuilles plus longues, une surface foliaire moyenne supérieure et une fréquence d'apex cassés plus élevée. Ces observations pourraient s'expliquer par des courants plus forts provoquant un battement mécanique abrasif des feuilles.

Globalement, les résultats mettent en évidence des disparités environnementales nettes entre les deux sites. Alors que le site de Hadjadj s'avère plus sensible aux pressions biotiques (épiphytisme et herbivorie), Petit Port semble plus nettement influencé par les facteurs hydrodynamiques.

Mots clés : *Posidonia oceanica*, herbier, phénologie, vitalité, épiphytes, herbivorie, hydrodynamisme, Mostaganem.

Abstract

In order to assess the condition of the *Posidonia oceanica* seagrass beds off the coast of Mostaganem, phenological parameters were monitored at the two sites of Hadjadj and Petit Port, at depths of between -1.20 and -1.50 m, during the month of May 2026.

The seagrass bed at the Hadjadj site grows on loose substrate. The results show a higher average number of leaves per tuft, leaves that are generally shorter but slightly wider, a higher A coefficient, as well as higher epiphytic load and recovery rate, and a higher frequency of grazed apices. These characteristics suggest a more pronounced influence of biological and environmental interactions at this site.

The seagrass bed at the Petit Port site grows on a mixed sandy and rocky substrate. It has longer leaves, resulting in a larger average leaf area, and a higher frequency of broken apices. These observations could be explained by stronger currents, the movement which causes mechanical stress on the leaves.

Overall, the results highlight clear environmental disparities between the two sites. Whilst the Hadjadj site appears to be more sensitive to biotic pressures (epiphytism and herbivory), Petit Port seems to be more clearly influenced by hydrodynamic factors.

Keywords: *Posidonia oceanica*, seagrass bed, phenology, vitality, epiphytes, herbivory, hydrodynamics, Mostaganem

ملخص:

من اجل تقييم الوضع البيئي وحيوية مروج الأعشاب البحرية (*Posidonia oceanica*) على طول ساحل مستغانم. ولهذا الغرض، ركزت الدراسة على رصد المؤشرات الفينولوجية وتطورها خلال شهر ماي 2026 في موقعين متباينين هما "حجاج" و"الميناء الصغير"، وضمن نطاق عمق يتراوح بين -1.20 و -1.50 متراً.

أظهرت المقارنة بين الموقعين تبايناً بيئياً واضحاً يرتبط مباشرة بطبيعة القاع والعوامل المحيطة:

موقع «حجاج»: تتوطن المروج هنا فوق ركيزة رسوبية رخوة. وقد كشفت النتائج عن تسجيل أعلى معدل لأعداد الأوراق في الحزمة الواحدة؛ ورغم أن هذه الأوراق بدت أقصر طولاً بوجه عام، إلا أنها تميزت بعرض أكبر، وقيم مرتفعة لـ "المعامل A" علاوة على ذلك، لوحظت كثافة عالية في حمولة النباتات الملتصقة (Epiphytes) مع تزايد واضح في آثار القضم الناتجة عن الحيوانات العاشبة، وهي مؤشرات تعكس بوضوح قوة التفاعلات البيولوجية والضغط البيئية في هذه المحطة.

موقع «الميناء الصغير»: تنمو الأعشاب فوق قاع مختلط يجمع بين الصخور والرمال. واتسمت المروج في هذا الموقع بأوراق أكثر طولاً، مما ساهم في زيادة متوسط المساحة الورقية، لكنها في المقابل شهدت تكراراً كبيراً لظاهرة تكسر القمم الورقية. ويُفسر ذلك بالنشاط الهيدروديناميكي القوي والتيارات البحرية التي تعرض الأوراق لإجهاد ميكانيكي مستمر.

تأسست الدراسة على استنتاج جوهري يسلط الضوء على التمايز البيئي بين المنطقتين؛ فبينما تقع مروج "حجاج" تحت تأثير الضغوط الحيوية (الرعي العشبي والالتصاق) (Herbivorie et épiphytisme)، تقع مروج "الميناء الصغير" متأثراً بشكل أوضح بالعوامل الهيدروديناميكية.

الكلمات المفتاحية: بوسيدونيا أوسيانিকা، مروج بحرية، فينولوجيا، حيوية، نباتات ملتصقة، حيوانات عاشبة، هيدروديناميكية، مستغانم.

Liste des figures

Figure 1 : Répartition géographique de <i>Posidonia oceanica</i> en mer Méditerranée (trait rouge). A : Rhône ; B : Pô ; C : Nil (d'après Pergent et al., 2012).	5
Figure 2 : Dynamique de croissance des rhizomes et édification de la matre chez <i>Posidonia oceanica</i> (Source : Boudouresque et Meinesz, 1982).	6
Figure 3 : Morphologie générale de <i>Posidoniaoceanica</i> (Source : GIS Posidonie).	7
Figure 4 : Epiphytes des feuilles de Posidonies. Colonie d' <i>Electra posidoniae</i> (A). Algues rouges encroûtantes épiphytes (B).	11
Figure 5 : Schématisation des principaux rôles de l'herbier de Posidonies dans l'équilibre écologique des fonds littoraux méditerranéens (d'après Charbonnel et al., 2000).	14
Figure 6 : Situation géographique des deux sites étudiés de Hadjadj et de Petit Port (Source : www.maps.google.com , 2026 ; modifiée).	19
Figure 7 : Aspect morphologique de la plage de Hadjadj (Source : Présent travail).	20
Figure 8 : Aspect morphologique de la plage de Petit Port (Source : Présent travail).	21
Figure 9 : Décortication des feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> de chaque faisceau. (Source : Présent travail).	22
Figure 10 : Schéma descriptif des différentes catégories d'âge des feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> et de leur biométrie foliaire (Source : Boudouresque et Meinesz (1982)).	23
Figure 11 : Paramètres morphologiques mesurés sur les feuilles : A. Longueur du limbe ; B. Largeur du limbe ; C. Longueur du pétiole (Présent travail).	24
Figure 12 : (A) un apex entier ; (B) un apex brisé de feuilles de <i>P. oceanica</i> (Présent travail).	26
Figure 13 : Types d'impacts d'herbivorie sur l'apex des feuilles de <i>P. oceanica</i> . (A) <i>Paracentrotus lividus</i> ; (B) Crustacés isopodes ; (C) <i>Sarpa salpa</i> (Modifié d'après Boudouresque & Meinesz, 1982).	27
Figure 14 : Fragments de feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> avec différentes espèces d'épiphytes (Présent travail).	29
Figure 15 : Séchage et pesée des feuilles et des épiphytes de Posidonie (Présent travail).	30
Figure 16 : Nombre moyen de feuilles adultes de <i>Posidonia oceanica</i> par faisceau au niveau des deux sites d'études.	32
Figure 17 : Nombre moyen de feuilles intermédiaires de <i>Posidonia oceanica</i> par faisceau au niveau des deux sites d'études.	33
Figure 18 : Nombre moyen de feuilles juvéniles de <i>Posidonia oceanica</i> par faisceau au niveau des deux sites d'études.	34
Figure 19 : Nombre moyen de feuilles globales de <i>Posidonia oceanica</i> par faisceau au niveau	35

des deux sites d'études.

Figure 20 : Longueur moyenne des feuilles adultes de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études. 36

Figure 21 : Longueur moyenne des feuilles intermédiaires de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études. 37

Figure 22 : Longueur moyenne des feuilles juvéniles de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études. 38

Figure 23 : Longueur moyenne des feuilles globales de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études. 39

Figure 24 : Largeur moyenne des feuilles adultes de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études. 40

Figure 25 : Largeur moyenne des feuilles intermédiaires de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études. 41

Figure 26 : Largeur moyenne des feuilles juvéniles de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études. 42

Figure 27 : Largeur moyenne des feuilles globales de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études. 43

Figure 28 : Longueur moyenne du pétiole des feuilles adultes de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études. 44

Figure 29 : Surface foliaire moyenne des feuilles adultes de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études. 45

Figure 30 : Surface foliaire moyenne des feuilles intermédiaires de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études. 46

Figure 31 : Surface foliaire moyenne des feuilles globales de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études. 47

Figure 32 : Coefficient A moyenne des feuilles adultes de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études. 48

Figure 33 : Coefficient A moyenne des feuilles intermédiaires de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études. 49

Figure 34 : Coefficient A moyenne des feuilles globales de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études. 50

Figure 35 : Proportion moyenne des apex foliaires de *Posidonia oceanica* broutés par l'oursin *Paracentrotus lividus* (Type a) au niveau des deux sites d'études. 51

Figure 36 : Proportion moyenne des apex foliaires de *Posidonia oceanica* broutés par les Crustacés isopodes (Type b) au niveau des deux sites d'études. 52

Figure 37 : Proportion moyenne des apex foliaires de *Posidonia oceanica* broutés par la saupe *Sarpa salpa* (Type c) au niveau des deux sites d'études. 53

Figure 38 : Proportion moyenne globale des apex foliaires de <i>Posidonia oceanica</i> broutés (Type a+b+c) au niveau des deux sites d'études.	54
Figure 39 : Proportion moyenne des apex foliaires de <i>Posidonia oceanica</i> cassés par abrasion mécanique (Type x) au niveau des deux sites d'études.	55
Figure 40 : Taux de recouvrement moyen des épiphytes sur les feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> adultes (bleu) et intermédiaires (orange) du site de Petit Port.	56
Figure 41 : Taux de recouvrement moyen des épiphytes sur les feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> adultes (bleu) et intermédiaires (orange) du site de Hadjadj.	57
Figure 42 : Taux de recouvrement moyen des épiphytes sur les feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> globales des sites de Petit Port (bleu) et Hadjadj (orange).	58
Figure 43 : Charge épiphyte moyenne sur les feuilles adultes de <i>Posidonia oceanica</i> au niveau des deux sites d'études.	59
Figure 44 : Charge épiphyte moyenne sur les feuilles intermédiaires de <i>Posidonia oceanica</i> au niveau des deux sites d'études.	60
Figure 45 : Charge épiphyte moyenne sur les feuilles globales de <i>Posidonia oceanica</i> au niveau des deux sites d'études.	61

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicaces

Résumé

Liste des figures

Introduction..... 1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. Présentation de <i>Posidonia oceanica</i>	3
I.1. Historique et évolution	3
I.2. Position systématique	4
I.3. Distribution géographique	4
I.4. Caractéristiques morphologiques	5
I.5. Cycle de vie	8
I.5.1. Cycle des feuilles	8
I.5.2. Reproduction	8
I.6. Facteurs écologiques	9
I.7. Epiphytes associés à la Posidonie	10
I.8. Importance écologique	13
I.9. Menaces sur les herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>	15
I.9.1. Menaces anthropiques	15
I.9.2. Changements climatiques et phénomènes naturels	16
I.10. La Posidonie comme bio-indicateur	17

Chapitre II : Matériel et Méthodes

I. Objectif de l'étude	18
II. Présentation des sites d'étude	18
II.1. Description du site de Hadjadj	19
II.2. Description du site de Petit Port	20
III. Echantillonnage	21
VI. Analyse des paramètres phénologiques.....	22

VI.1. Surface foliaire moyenne par faisceau	24
VI.2. Coefficient A	25
V. Analyse des épiphytes.....	28
V.1. Recouvrement des épiphytes	28
V.2. Charge épiphyte (E/L)	30

Chapitre III : Résultats et discussion

I. Analyse des paramètres phénologique.....	32
I.1. Surface foliaire moyenne par faisceau	44
I.2. Coefficient A	47
II. Analyse des épiphytes.....	55
II.1. Recouvrement des épiphytes	55
II.2. Charge épiphyte (E/L)	58
Conclusion.....	70
Références bibliographiques.....	72
Annexe.....	81

INTRODUCTION

Introduction

Les herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile constituent un écosystème clé de la mer Méditerranée. Ces herbiers rendent des services essentiels au littoral. En stabilisant les fonds marins, ils freinent l'érosion qui ronge les plages et brisent l'énergie de la houle. C'est aussi une nurserie et un refuge pour une multitude d'espèces marines, sans oublier leur rôle de puits de carbone indispensable face au réchauffement climatique (Boudouresque et al., 2012). Mais la Posidonie reste une plante fragile. Comme elle réagit rapidement dès que son environnement se dégrade, les scientifiques l'utilisent comme une sentinelle naturelle pour évaluer la qualité des eaux côtières (Pergent-Martini et al., 2005).

Ce patrimoine subit un déclin alarmant en Méditerranée. L'impact direct des activités humaines, combiné au dérèglement climatique, accélère sa régression (Marbà et al., 2014). Les côtes algériennes partagent ce constat, et le littoral de Mostaganem en est un exemple typique. La vulnérabilité de l'herbier varie selon l'exposition de la côte et la nature des pressions locales.

Pour cette étude, nous avons travaillé sur deux sites avec des conditions différentes : Hadjadj et Petit Port. À Hadjadj, l'herbier s'installe sur un fond sableux ouvert, où la plante doit composer entre les rejets des exploitations agricoles voisines et la fréquentation des touristes en été. A Petit Port, le milieu est plus abrité, sur substrat mixte (sableux et rocheux), mais il subit les effets du port, des rejets et des bateaux qui s'amarrent souvent. Ces constats nous conduisent à formuler la problématique suivante : quel est l'impact de ces variations stationnelles et de ces facteurs anthropiques sur le développement morphologique et la santé de *Posidonia oceanica* ?

Nous avons donc réalisé ce travail de fin d'études pour répondre à cette question. Il porte sur l'« État des herbiers à *Posidonia oceanica* au niveau des sites de Hadjadj et Petit Port de la

côte de Mostaganem ». Notre objectif est de comparer les paramètres phénologiques des deux herbiers et d'évaluer la dynamique de leurs épiphytes, pour déterminer leur niveau de stress face aux pressions locales et identifier les différences de vulnérabilité entre les deux sites.

Notre mémoire est structuré en trois chapitres. Le premier est une synthèse bibliographique sur la biologie et l'écologie de *Posidonia oceanica*. Le deuxième, Matériel et Méthodes, présente les sites d'études (Hadjadj et Petit Port), le protocole d'échantillonnage en mer et les mesures au laboratoire. Le troisième aborde les Résultats et Discussion. Enfin, une conclusion et quelques perspectives de recherche pour clore le travail.

CHAPITRE 1 :

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Présentation de *Posidonia oceanica*

I.1. Historique et évolution

Il y a environ 100 à 120 millions d'années durant le Crétacé, certaines plantes à fleurs terrestres sont retournées vers le milieu marin, constituant les phanérogames marines. Den Hartog (1970) proposait des conformités avec certaines monocotylédones des Alismatales. Ces hypothèses des relations évolutives entre les différentes lignées de d'angiospermes ont été affinées par des analyses de l'ADN et des gènes (Les et al., 1997 ; Olsen et al., 2016 ; Lee et al., 2016 ; Ma et al., 2024). Le passage vers le milieu aquatique s'est fait progressivement à partir de zones littorales saumâtres comparables aux mangroves actuelles. Parmi les adaptations importantes obtenues au cours de cette évolution est le passage d'une pollinisation aérienne à une pollinisation hydrophile nécessaire pour la reproduction sexuée sous l'eau (Van Tussenbroek et al., 2016). Les données suggèrent une origine terrestre de ces plantes et mettent en évidence un regroupement étroit des familles Posidoniaceae, Ruppiaceae et Cymodoceaceae (Les et al., 1997). Des fossiles liés au genre *Posidonia* ont été découverts dans des formations du Crétacé d'Europe occidentale, notamment en Westphalie (Allemagne) (Saporta & Marion, 1878 ; Stockmans, 1932). Ce genre connaît une diversification importante au Cénozoïque, au Paléocène la *Posidonia perforata*, une espèce fossile caractérisée par des rhizomes épais, des feuilles larges et des cellules à tannins (Saporta & Marion, 1878 ; Stockmans, 1932) et à l'Éocène, la *Posidonia parisiensis*, physiquement proche des formes qu'on connaît aujourd'hui, qui occupait les mers européennes depuis le bassin parisien jusqu'à l'Ukraine (Boudouresque & Jeudy de Grissac, 1983). Les fossiles de *Posidonia oceanica* ont été découverts au Pléistocène à Ischia en Italie (Rittmann, 1930 ; Boudouresque & Jeudy de Grissac, 1983), puis à l'Holocène à Giens en France (Blanc, 1958). La fermeture progressive de l'océan Téthys à la limite Crétacé-Tertiaire aurait isolé les populations méditerranéennes de *Posidonia*, les séparant des huit autres espèces actuelles du genre qui sont réparties dans les

eaux australiennes (Aires et al., 2011). Cette évolution a conduit à l'isolement biogéographique de *P. oceanica*, considérée comme une espèce endémique stricte de la Méditerranée (Pérès & Picard, 1964). Sur le plan taxonomique, l'espèce est mentionnée par G. Bauhin au début du XVII^{ème} siècle sous le nom d'*Alga marina* (Den Hartog, 1970). En 1813, A. R. Delile établit officiellement la dénomination binominale *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile dans la Flore d'Égypte. Le nom *Posidonia* fait référence à Poséidon, dieu grec de la mer, tandis que l'épithète *oceanica*, selon Den Hartog (1970) pourrait résulter d'une ancienne confusion taxonomique avec certaines zostères atlantiques.

I.2. Position systématique

La classification de *Posidonia oceanica*, validée par le Registre mondial des espèces marines (WoRMS, 2024), confirme qu'il s'agit d'une plante à fleurs marine et non d'une algue :

Règne : Plantae

Embranchement : Tracheophyta (plantes vasculaires)

Classe : Magnoliopsida (Monocotylédones)

Ordre : Alismatales

Famille : Posidoniaceae

Genre : *Posidonia*

Espèce: *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813.

I.3. Distribution géographique

Posidonia oceanica est une espèce endémique à la mer Méditerranée ; elle est totalement absente de la mer Noire et de l'océan Atlantique (Den Hartog, 1970). Sa distribution n'est pas homogène au sein du bassin. L'herbier s'interrompt au niveau du détroit de Gibraltar et à

proximité des grands estuaires, notamment le Nil, le Pô ou le Rhône où les apports d'eau douce limitent leur développement (Figure 1). À cet égard, les travaux de Telesca et al. (2015) recensent précisément 1 224 707 ha d'herbiers. Il est à souligner que cela ne couvre que 11 907 km de linéaire côtier sur les 46 000 km que compte la Méditerranée. Les cartographies récentes par télédétection confirment d'ailleurs cette étendue, elles révèlent environ 19 020 km² cartographiés jusqu'à 25 m de profondeur (Traganos et al., 2022).



Figure 1. Répartition géographique de *Posidonia oceanica* en mer Méditerranée (trait rouge). A : Rhône ; B : Pô ; C : Nil (d'après Pergent et al., 2012).

I.4. Caractéristiques morphologiques

La structure de *Posidonia oceanica* se base sur un système de rhizomes qui sont des tiges rampantes horizontales ou dressées verticales, généralement enfouies dans le sédiment (Den Hartog, 1970). Ces rhizomes se divisent en deux types selon leur dynamique de croissance : les rhizomes plagiotropes, qui assurent l'extension latérale de l'herbier par un développement horizontal et les rhizomes orthotropes, qui croissent verticalement vers la surface (Caye, 1980) (Fig. 2). Cette croissance verticale est une adaptation cruciale pour éviter l'asphyxie

sous l'apport sédimentaire constant. Au-delà de la fixation, le rhizome joue un rôle métabolique majeur dans le stockage du carbone (Fourqurean, 2012).

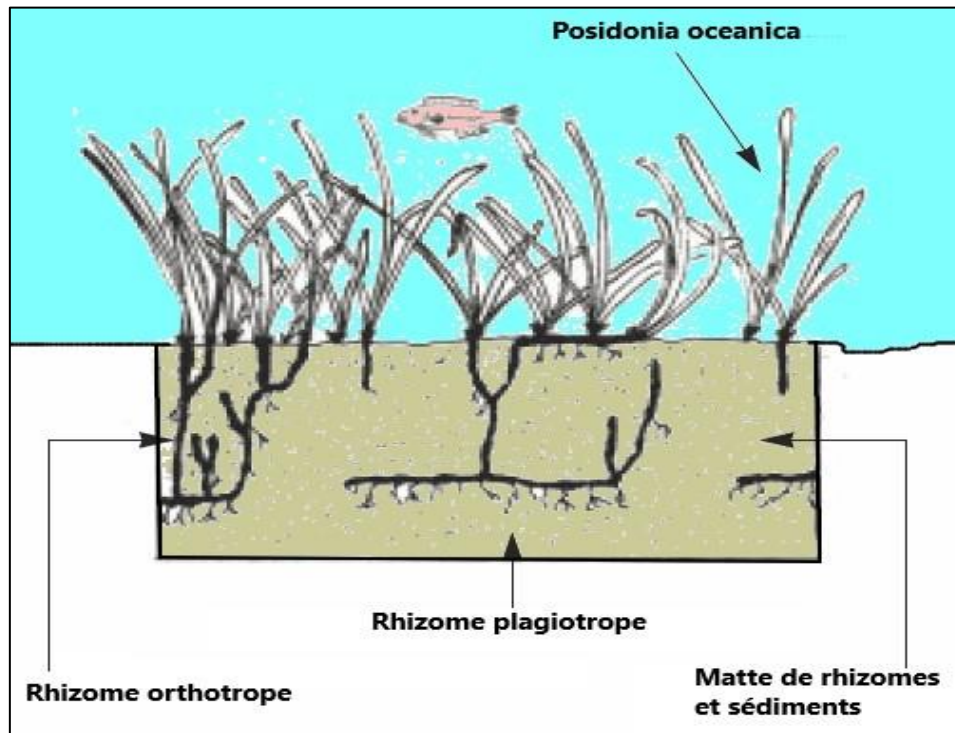


Figure 2 : Dynamique de croissance des rhizomes et édification de la matrice chez *Posidonia oceanica* (Source : Boudouresque et Meinesz, 1982)

La fixation au substrat est renforcée par des racines adventives issues des nœuds des rhizomes, qui peuvent atteindre localement 70 cm de profondeur dans le sol (Giraud, 1979). L'entrelacement des racines, des rhizomes et des sédiments piégés constitue la « matrice » qui est un massif biogénique compact tellement résistant que ses vestiges organiques perdurent durant des millénaires, agissant comme une véritable archive géologique (Molinier & Picard, 1952 ; Mateo et al., 1997).

L'appareil foliaire est constitué de faisceaux de 4 à 8 feuilles organisés en éventail. Ces feuilles rubanées présentent une largeur de 8 à 11 mm et une longueur qui varie entre 20 et 80 cm, pouvant atteindre exceptionnellement 1,2 m (Giraud, 1979). Morphologiquement, la feuille se décompose en deux parties : le limbe (partie photosynthétique verte) et la gaine basale. Cette gaine incolore reste fixée au rhizome après la chute des feuilles, constituant des écailles (ou bases foliaires) qui s'accumulent au fil du temps (Fig. 3).

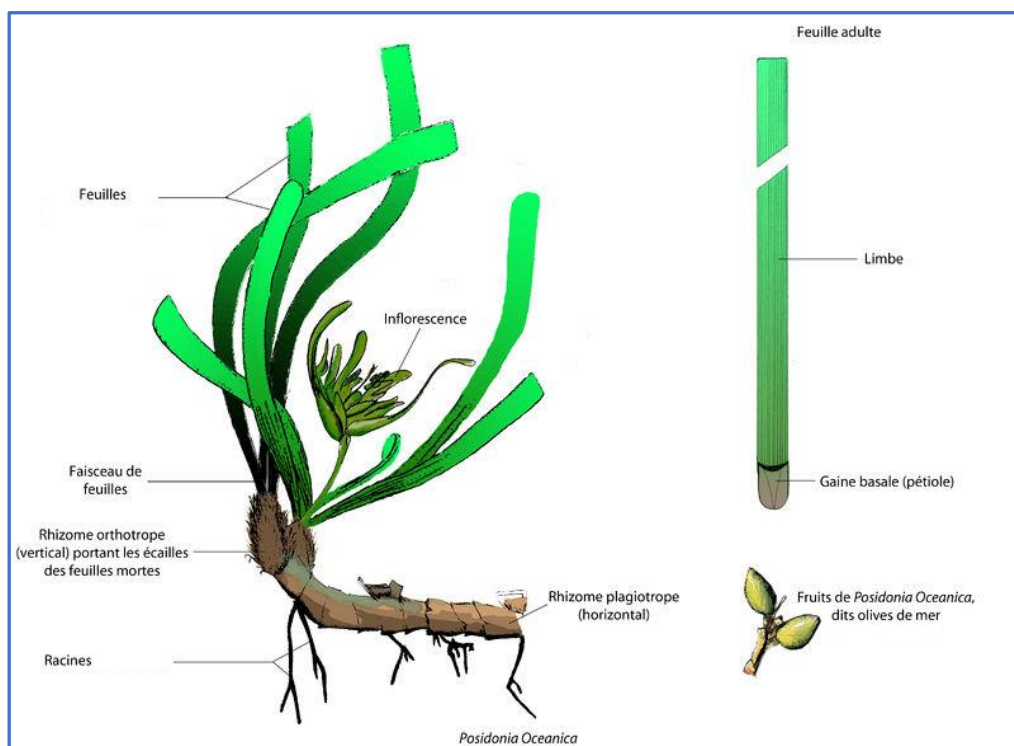


Figure 3 : Morphologie générale de *Posidonia oceanica* (Source : GIS Posidonie).

La distribution des feuilles au sein du faisceau suit une hiérarchie précise. Giraud (1979) y distingue trois types : au centre se trouvent les feuilles juvéniles (moins de 5 cm, sans gaine), suivies des feuilles intermédiaires (gaine en formation) et, enfin, des feuilles adultes en périphérie (à l'extérieur), reconnaissables à leur gaine complète. Sur le plan de la

reproduction, bien que la voie sexuée soit irrégulière, elle se manifeste par l'apparition de fleurs hermaphrodites vertes (Boudouresque & Meinesz, 1982 ; Belbachir & Mezali, 2019). Le fruit produit, "l'olive de mer", est une drupe huileuse contenant une seule graine qui assure le brassage génétique de l'espèce.

I.5. Cycle de vie

I.5.1. Cycle des feuilles

Le cycle biologique de *Posidonia oceanica* varie selon les saisons qui contrôlent la vitesse de développement des feuilles. Le renouvellement foliaire commence en automne et s'augmente durant l'hiver qui est la période de croissance active des jeunes tissus (Boudouresque & Meinesz, 1982). Le pic de production est généralement atteint au printemps, entre mars et mai, avec une biomasse foliaire maximale (Boudouresque et al., 2012b).

L'augmentation de la température estivale provoque une vieillesse coordonnée. Les feuilles âgées sont rejetées en masse et s'accumulent sur le littoral pour constituer des banquettes (Bentaallah, 2012 ; Boudouresque et al., 2012b). La durée de vie d'une feuille varie de 5 à 8 mois, pouvant atteindre exceptionnellement 13 mois. Lors de la chute de la feuille, seul le limbe se détache au niveau de la ligule ; la gaine reste fixée au rhizome, constituant ainsi les écailles protectrices.

I.5.2. Reproduction

La reproduction de l'espèce se fait généralement par voie asexuée par l'accroissement végétative des rhizomes. Ce processus est très lent : les rhizomes plagiotropes progressent de 3 à 7 cm par an parfois jusqu'à 10 cm, tandis que les rhizomes orthotropes croissent d'environ 1 cm par an (Caye, 1980 ; Boudouresque et al., 2006). Cette croissance lente explique la

fragilité de l'herbier qui une fois détruit, sa recolonisation naturelle peut s'étendre sur plusieurs décennies.

La reproduction sexuée demeure un événement discontinu et imprévisible, souvent déclenché par des anomalies thermiques positives durant l'été (Stipcich et al., 2024). Les fleurs hermaphrodites s'épanouissent entre septembre et novembre (Belbachir & Mezali, 2019). Les fruits "olive de mer" arrivent à maturité après plusieurs mois de développement et ils flottent au printemps suivant grâce à leur pulpe huileuse et dérivent plusieurs jours avant de libérer une graine unique. Ce mécanisme de dispersion hydrochore permet la colonisation de nouveaux sites. La germination est immédiate dès que la graine rencontre un substrat favorable. Ce cycle assure le brassage génétique indispensable à la résilience de l'herbier sur le long terme (Boudouresque et al., 2006 ; Díaz-Almela et al., 2009).

I.6. Facteurs écologiques et exigences du milieu

La lumière est le facteur principal du développement, de la distribution et de la densité des herbiers (Ballesta et al., 2000 ; El kalay et al., 2003). La Posidonie est une espèce héliophile très exigeante, qui a besoin d'un maximum de lumière, soit au moins 12 à 16 % de l'intensité lumineuse de la surface (Alcoverro et al., 2001 ; Ruiz et Romero, 2001). C'est pourquoi ce besoin vital détermine la profondeur maximale de son extension. Une turbidité trop élevée de l'eau remonte donc automatiquement la limite inférieure de survie et réduit ainsi très fortement la surface de l'herbier (Boudouresque & Meinesz, 1982).

Concernant la température, *Posidonia oceanica* est une espèce sténotherme dont le cycle biologique est influencé par les saisons (Marba et al., 1996). Elle tolère une variation de 12 à 27 °C, mais se développe de façon idéale entre 17 et 20 °C (Mayot et al., 2005). La température agit sur la vitesse de croissance des rhizomes et le déclenchement de la floraison.

Les canicules marines, de plus en plus fréquentes et dépassant les 27 °C, provoquent un stress thermique sévère, qui affecte gravement la densité des faisceaux (SPA/RAC, 2023).

La plante est très sensible à la salinité, ce qui traduit son caractère sténohalin. Elle a besoin de conditions stables, conformes à celles de la mer ouverte, avec une salinité d'environ 37 à 38 g/L, même si elle peut supporter des variations comprises entre 33 et 40 g/L. D'un autre côté, toute perturbation du milieu, qu'il s'agisse d'une diminution sous les 33 g/L, souvent observée près des oueds, ou d'une hypersalinité liée notamment aux rejets des usines de dessalement, peut fortement altérer sa vitalité et perturber son fonctionnement (Sánchez-Lizaso et al., 2008).

La houle et les courants hydrodynamiques modèlent littéralement la structure de l'herbier. L'agitation de surface définit la limite supérieure, généralement comprise entre 0 et -5 m, seuil au-delà duquel la fixation devient instable (Pergent et al., 1995). Sur les côtes exposées, l'énergie mécanique importante peut découvrir les racines ou même dégrader complètement les mattes, notamment lors des tempêtes hivernales (GIS Posidonie, 2013 ; Boudouresque et al., 2012b). Enfin, la Posidonie préfère se fixer solidement sur des substrats rocheux renforcés par la formation de mattes, ou dans des poches sédimentaires sur roche (Molinier & Picard, 1952). Elle tolère les sables fins, mais nécessite une consolidation par ses propres débris organiques pour éviter l'arrachement (Boudouresque et al., 2012b). A l'inverse, elle ne peut pas survivre dans les milieux vaseux anoxiques, où l'absence d'oxygène asphyxie ses racines (Duarte, 2002).

I.7. Epiphytes associés à *Posidonia oceanica*

L'organisation particulière de la Posidonie attire de nombreuses formes de vie comme les épiphytes (organismes vivants) qui s'installent fixés durablement sur les feuilles, les rhizomes ou les racines formant une communauté écologique étroitement associée à la plante hôte et

son environnement marin (Jacquemart & Demoulin, 2006). Dans le bassin méditerranéen, ce sont surtout les macroalgues épiphytes qui sont remarquées dans cette diversité. On observe beaucoup des algues rouges « Rhodophyta », dont les corallinacées encroûtantes sont les plus dominantes et à leurs côtés (Fig. 4), les algues brunes « Phaeophyceae », jouent un rôle important, comme certaines espèces appartenant aux Ectocarpales, présents généralement sur les limbes foliaires (Jacquemart & Demoulin, 2006).

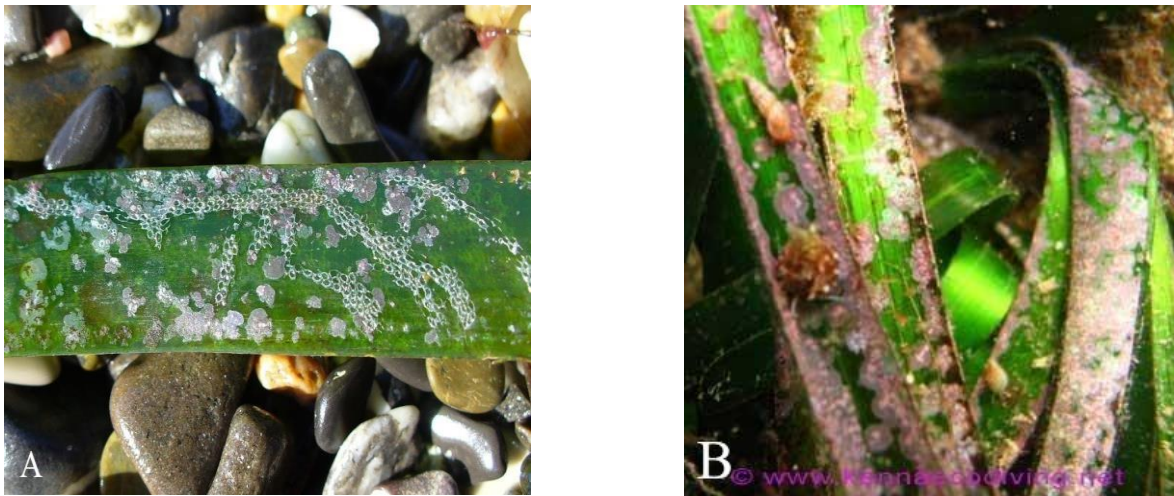


Figure 4 : Epiphytes des feuilles de Posidonies. Colonie d'*Electra posidoniae* (A). Algues rouges encroûtantes épiphytes (B).

La dynamique de peuplement des épiphytes est commandée par les facteurs abiotiques : la lumière, l'hydrodynamisme et les caractéristiques physico-chimiques du milieu (Montefalcone, 2009 ; Vacchiet al., 2012 ; Pergentet al., 2014 ; Boudouresqueet al., 2012b). La lumière est le facteur principal qui impose une colonisation précise sur la surface de la feuille : les épiphytes photophiles s'installent sur les bordures et les faces les plus exposées à la lumière, tandis que les espèces sciaphiles ou encroûtantes, adaptées à l'ombre préfèrent se regrouper dans les zones moins éclairées ou sur la face inférieure du limbe (Trautman & Borowitzka, 1999 ; Dalla Via et al., 1998 ; Giovannetti et al., 2006). Cette dynamique de colonisation des feuilles de *Posidonia oceanica* correspond un cycle saisonnier régulier : la

biomasse épiphytique atteint généralement un pic à la fin de l'été (de juillet à septembre), puis diminue durant l'hiver (Chahrour, 2013 ; Chahrour et al., 2013).

Du point de vue fonctionnement écologique, les épiphytes participent activement dans les cycles biogéochimiques de l'herbier. Leurs activités consistent à capturer certains composés nutritifs et les transformer, tout en affectant les échanges de carbone entre les compartiments environnants. Ils contribuent aussi au transfert de matière organique issue de leur décomposition vers les fonds marins (Gobert et al., 2006; Bentaallah, 2017). Etant donné que leur métabolisme réagit rapidement aux variations de nutriments dans l'eau (à cause du rejet d'eaux usées, d'engrais agricoles, etc.), ce phénomène est appelé « eutrophisation », c'est pour ça que les épiphytes sont utilisés généralement comme indicateurs fiables pour évaluer la qualité des eaux marines et des pressions anthropiques (Piazzi et al., 2016 ; Boudouresque et al., 2009b).

Concernant le littoral algérien, plusieurs études indiquent une prédominance des espèces végétales marines, surtout les algues rouges et brunes comme ce qu'il a été observé dans d'autres régions méditerranéennes (Bentaallah et al., 2023) en plus de certains animaux microscopiques tels que les bryozoaires ou hydrozoaires (Bouchher, 2015 ; Ghellai et al., 2021). Le bryzoaire *Electra posidoniae* (Fig. 4), colonise abondamment les feuilles de Posidonie dans les sites soumis à des conditions favorables à son développement (Jacquemart & Demoulin, 2006 ; Piazzi et al., 2016).

Enfin, la charge et le recouvrement épiphytiques sont de plus en plus utilisés comme indicateurs de l'impact des activités humaines. Une augmentation excessive du recouvrement, souvent associée aux rejets d'eaux usées et à l'eutrophisation, traduit généralement une dégradation du milieu (Bouchher, 2015 ; Chahrour, 2013). L'étude de ces peuplements épiphytes est donc un outil précieux pour évaluer l'état écologique des herbiers de Posidonie,

aussi bien à l'échelle de la Méditerranée qu'au niveau du littoral algérien (Boudouresque et al., 2009a ; Bentaallah et al., 2023).

I.8. Importance écologique

Au-delà de sa simple présence végétale, l'herbier à *Posidonia oceanica* occupe la position d'une espèce-ingénieur d'écosystème, qui structure l'ensemble de l'environnement côtier méditerranéen (Wright & Jones, 2006). Elle transforme de façon durable son biotope, à la fois sur le plan physique (morphologie des fonds, réduction de l'hydrodynamisme, stabilisation et piégeage des sédiments) et biologique (composition de la communauté, organisation des réseaux trophiques), ce qui confère à cet habitat marin une valeur écologique exceptionnelle (Gacia & Duarte, 2001 ; Hemminga & Duarte, 2000 ; Orth et al., 2006).

Sur le plan de la productivité, ces herbiers comptent parmi les écosystèmes les plus actifs de la Méditerranée, en raison de leur grande capacité de production primaire et de leur rôle majeur dans le stockage de carbone organique (Duarte & Chiscano, 1999 ; Hemminga & Duarte, 2000). La production primaire nette varie généralement entre 60 et 180 g C m⁻² an⁻¹ selon les conditions environnementales, ce qui permet de maintenir un réseau trophique riche et diversifié, incluant des communautés benthiques, des poissons et des invertébrés, ainsi que des macro-invertébrés associés aux herbiers (Mateo et al., 1997). Une part importante de cette production est exportée sous forme de matière organique détritique (feuilles mortes et débris de rhizomes) vers d'autres compartiments côtiers, où elle soutient les chaînes alimentaires littorales et benthiques (Duarte & Cebrián 1996) (Fig. 5).

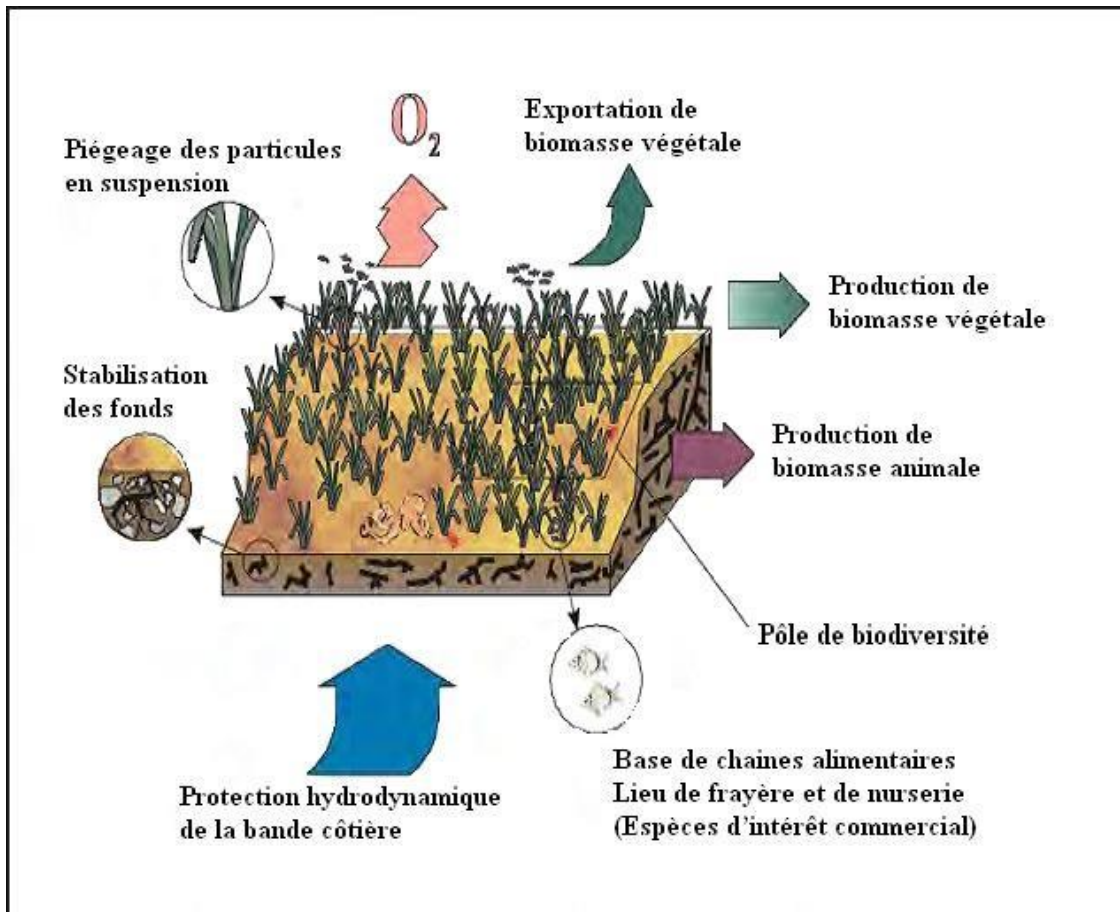


Figure 5 : Schématisation des principaux rôles de l'herbier de Posidonies dans l'équilibre écologique des fonds littoraux méditerranéens (d'après Charbonnel et al., 2000).

Parallèlement, la Posidonie intervient comme un facteur majeur de l'oxygénation du milieu marin (Hemminga & Duarte, 2000, Koopmans et al., 2020). La photosynthèse massive de la canopée herbacée génère une production d'oxygène de l'ordre de 14 L m^{-2} par jour ce qui contribue de manière significative à l'oxygénation de l'eau et au maintien de conditions oxydantes dans le sédiment superficiel, favorables à de nombreuses espèces benthiques (Koopmans et al., 2020 ; Duarte et al., 2005). Par ailleurs, l'herbier constitue un puits de carbone bleu de premier ordre : la matte stocke environ $80 \text{ à } 120 \text{ g C m}^{-2} \text{ an}^{-1}$, ce qui en fait un réservoir durable de carbone capable de se conserver sur plusieurs millénaires (Mateo et al., 1997 ; Duarte et al., 2005) (Fig. 5).

L'herbier de *Posidonia oceanica* est également un pôle de biodiversité majeur : il abrite une proportion importante des espèces présentes en Méditerranée (Hemminga & Duarte, 2000 ; Boudouresque et al., 2012a), et constitue une zone de nurserie et de nourrissage pour un grand nombre de poissons et d'invertébrés, dont plusieurs espèces de valeur commerciale (Boudouresque, 2004) (Fig. 5). La structure complexe offerte par le feuillage et la matte favorise l'installation de nombreuses formes d'épiphytes, allant des bactéries aux macroalgues et invertébrés, ce qui renforce la diversité fonctionnelle et la stabilité de l'habitat (Gobert et al., 2009 ; Hemminga & Duarte, 2000).

Sur le plan de la protection physique du littoral, l'herbier joue un rôle de barrière naturelle contre la houle et la dérive sédimentaire. Les feuilles agissent comme un amortisseur hydraulique, capable de réduire l'énergie des vagues de l'ordre de 30 à 50 % selon les conditions hydrodynamiques locales, ce qui favorise la sédimentation et la stabilisation des plages sableuses (Infantes et al., 2012 ; Boudouresque et al., 2012a). Les rhizomes et la matte fixent le fond, tandis que, sur la plage, les banquettes de feuilles mortes constituent un frein naturel contre l'érosion et les tempêtes hivernales, en fixant le sable et en réduisant directement l'impact des vagues sur le rivage (Jeudy de Grissac & Boudouresque, 1985 ; Simeone & De Falco, 2012).

I.9. Menaces sur les herbiers à *Posidonia oceanica*

I.9.1. Menaces anthropiques (liées aux activités humaines)

Sur l'ensemble de la Méditerranée particulièrement sur le littoral algérien, les herbiers de *Posidonia oceanica* sont de plus en plus sévèrement agressés. C'est souvent la pollution, urbaine ou industrielle, qui dégrade le plus le milieu qui mène à son eutrophisation : l'augmentation des nutriments provoque une multiplication de croissance des algues opportunistes. Elles finissent par " étouffer " la Posidonie en lui prenant sa place et surtout en

créant un écran qui bloque la lumière indispensable à sa photosynthèse (Orth et al., 2006 ; Marbà et al., 2014).

Mais les dégâts ne s'arrêtent pas là, les attaques physiques telles que la pêche ou l'ancrage des bateaux, ont un effet dévastateur et quasi immédiat par le passage des engins traînants ou par l'effet d'une ancre mal jetée provoquent un arrachage mécanique des rhizomes et des " trouées " béantes dans la matte. Ce qui est préoccupant, c'est la lenteur de la récupération de la plante ; il faut parfois entre 10 et 100 ans pour qu'un herbier reprenne sa densité initiale (Boudouresque et al., 2012b ; Ruiz & Romero, 2003 ; Jeudy de Grissac & Boudouresque, 1985).

Enfin, la construction sur les côtes (ports, digues) modifie les courants et aggrave l'envasement. Ce dépôt de sédiments finit par ensevelir les jeunes faisceaux, mettant en péril la survie à long terme de l'herbier (Ruiz & Romero, 2003 ; Boudouresque et al., 2012b ; Pergent-Martini & Le Ravallec, 2007).

I.9.2. Menaces liées aux phénomènes naturels et changements climatiques

En plus des actions humaines directes, les herbiers doivent également faire face aux bouleversements globaux qui perturbent leur équilibre. La posidonie, très sensible à la montée des températures de l'eau, elle souffre dès que la température dépasse 27°C. Lors des canicules marines, les feuilles brunissent nettement et la photosynthèse ralentit. Cela empêche les rhizomes de se développer et perturbe la reproduction (Marbà et al., 2016 ; Mayot et al., 2005 ; Diaz-Almela et al., 2007 ; Boudouresque et al., 2012a). L'acidification des océans vient également compliquer les choses en modifiant la chimie de l'eau et donc en perturbant la physiologie interne de la plante (Jordà et al., 2012 ; Pergent-Martini et al., 2021). Sur le plan physique, l'intensification des tempêtes et des houles violentes fragmente violemment la matte. Ces zones dégradées mettent beaucoup de temps pour se reconstruire,

jusqu'à 50 ans parfois (Boudouresque et al., 2012b ; Ruiz & Romero, 2003). Enfin, l'érosion dénude les rhizomes qui devraient rester enfouis. Une fois les rhizomes déchaussés, leur capacité de fixation au fond est considérablement réduite. L'herbier devient alors très fragile et la biodiversité qui l'utilise comme refuge est en danger (Marbà et al., 2016).

I.10. *Posidonia oceanica* comme bio-indicateur

L'utilisation de *Posidonia oceanica* comme bio-indicateur repose sur sa capacité à traduire, par ses modifications morphologiques ou dynamiques, l'état de son environnement (Pergent-Martini et al., 2005). Plusieurs caractéristiques biologiques justifient ce rôle de sentinelle écologique à savoir : Sa nature sténobiontique c'est-à-dire sa faible tolérance aux variations de la qualité de l'eau (pollution, turbidité, nutriments) la rend extrêmement réactive aux perturbations (Boudouresque et al., 2021) et sa sédentarité, étant fixée au substrat, la plante subit directement les pressions locales sans possibilité de fuite, reflétant ainsi l'état stationnel du site (Telesca et al., 2015). Aussi, sa croissance lente lui permet d'enregistrer les variations environnementales sur plusieurs décennies, agissant comme une véritable archive biologique du littoral (Pergent et al., 1995). Par ailleurs, sa large distribution à l'échelle du bassin méditerranéen permet une standardisation des suivis et une comparaison inter-sites (Telesca et al., 2015). Son pouvoir de bio-accumulation des éléments traces métalliques (Pb, Hg, Zn, Cu, etc.) renforce également son intérêt pour le diagnostic de la contamination chimique (Richir et al., 2015).

CHAPITRE 2 :

MATERIEL ET METHODES

I. Objectif de l'étude

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'état des herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile au niveau des deux sites de Petit Port et de Hadjadj de la côte de Mostaganem. Cette étude vise précisément à caractériser la structure foliaire des faisceaux de *Posidonia oceanica* ; déterminer les caractéristiques biométriques fondamentales des feuilles, à savoir leur longueur, leur largeur, la dimension du pétiole ainsi que la surface foliaire ; évaluer le coefficient A, indicateur du taux de perte des apex foliaires ; quantifier le développement des communautés épiphytiques associées aux feuilles à travers la charge épiphytique et le recouvrement des épiphytes, puis comparer tout ces caractéristiques entre les herbiers des deux sites étudiés.

II. Présentation des sites d'étude

La zone d'étude est située dans la wilaya de Mostaganem qui est localisée au nord-ouest de l'Algérie. Mostaganem possède une côte qui s'étend sur 124,5 km, s'étalant de l'embouchure de l'oued El-Macta à l'ouest (limite avec la wilaya d'Oran) jusqu'au Cap Magraoua à l'est (limite avec la wilaya de Chlef) (Fig. 6).



Figure 6 : Situation géographique des deux sites étudiés de Hadjadj et de Petit Port
(Source : www.maps.google.com, 2026 ; modifiée).

II.1. Description du site de Hadjadj

Le site de Hadjadj se situe à environ 40 km au nord-est de Mostaganem aux coordonnées 36°08' N et 0°09' E (Fig. 7). Situé entre les embouchures de l'oued Chéliff à l'ouest et de l'oued Abid à l'est, ce site se distingue par une vaste plage de sable bordée d'un cordon dunaire. Les fonds marins y sont essentiellement sableux, parsemés de structures rocheuses localisées. C'est dans cette zone infralittorale de faible profondeur que se développe l'herbier superficiel de *Posidonia oceanica*. Enfin, le site reste soumis à une pression anthropique notable, alimentée par l'activité agricole environnante et à la fréquentation touristique estivale.



Figure 7 : Aspect morphologique de la plage de Hadjadj (Source : Présent travail).

II.2. Description du site de Petit Port

Le site de Petit Port est rattaché à la commune de Sidi Lakhdar et se situe à une cinquantaine de kilomètres à l'est de Mostaganem, aux coordonnées 36°13' N et 0°24' E (Fig. 8). Sa façade littorale présente une alternance de substrats sableux et rocheux, adossée à un cordon dunaire. En milieu marin, la faible profondeur de ce site offre une configuration particulièrement propice à l'établissement et à l'épanouissement de l'herbier à *Posidonia oceanica*. Ce site abrite un petit abri de pêche et subit une fréquentation touristique pendant la saison d'été. Ces activités constituent les principales sources de pression anthropique exercée sur le littoral de ce site. Malgré ces influences, le site a un intérêt écologique important en raison de la présence de l'herbier de *Posidonia oceanica*.



Figure 8 : Aspect morphologique de la plage de Petit Port (Source : Présent travail).

III. Echantillonnage

Les travaux de terrain ont été menés sur les deux sites au cours de la saison printanière (Mai 2026). Cette période correspond au pic de l'activité végétative et au développement maximal des feuilles de *Posidonies* (Panayotidis & Giraud, 1981 ; Pergent & Pergent-Martini, 1991). Afin de s'affranchir de l'effet de la bathymétrie, les prélèvements ont été réalisés à une profondeur superficielle homogène, comprise entre 1,20 et 1,50 mètre.

La collecte des échantillons a suivi un protocole standardisé : Dans chaque site, 20 faisceaux de *Posidonia oceanica*, ont été récoltés de manière aléatoire, en respectant une distance d'environ 1 mètre entre les prélèvements pour assurer la représentativité du lot. Au total, 40 faisceaux ont ainsi été réunis. Dès leur sortie de l'eau, les échantillons ont été conditionnés dans des sachets plastiques hermétiques étiquetés, puis fixés à l'eau de mer formolée à 10 % pour préserver l'intégrité des structures végétales et des communautés épiphytiques. Les sachets ont ensuite été stockés à l'obscurité et maintenus à basse température (4°C) et jusqu'aux analyses de laboratoire.

VI. Analyse des paramètres phénologique

L'analyse phénologique vise à caractériser la structure démographique des faisceaux foliaires et à évaluer l'activité végétative de l'herbier. Au laboratoire, Chacun des 40 faisceaux prélevés dans les deux sites d'étude a été détaché du rhizome puis décortiqué feuille par feuille en respectant l'ordre distique de leur insertion. Les feuilles de chaque faisceau ont ensuite été séparées et dénombrées (Fig. 9).



Figure 9 : Décortication des feuilles de *Posidonia oceanica* de chaque faisceau. (Source : Présent travail).

Les feuilles ont ensuite été triées et classées selon de leur stade de maturité, conformément au protocole de Giraud (1977; 1979) (Fig. 10) : Trois catégories principales ont été distinguées :

- **Les feuilles adultes :** d'une longueur supérieure ou égale à 5 cm, elles se caractérisent par la présence d'une ligule (une marque blanche en forme de demi-lune visible à la jonction du limbe et du pétiole) et d'un pétiole bien développé (≥ 2 mm) ;

- **Les feuilles intermédiaires** : d'une longueur également supérieure ou égale à 5 cm, elles se définissent par l'absence de pétiole ou par un pétiole embryonnaire (≤ 2 mm) ;
- **Les feuilles juvéniles** : d'une longueur inférieure à 5 cm, elles se définissent par l'absence de pétiole.

Cette classification permet de déterminer la composition des faisceaux en feuilles adultes, intermédiaires et juvéniles.

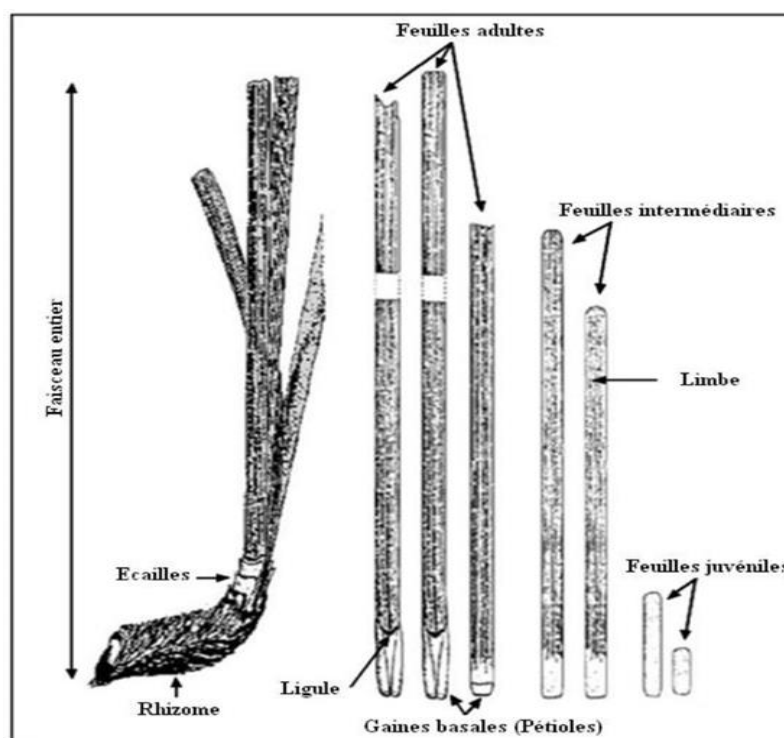


Figure 10 : Schéma descriptif des différentes catégories d'âge des feuilles de *Posidonia oceanica* et de leur biométrie foliaire (Source : Boudouresque et Meinesz (1982)).

Des analyses biométriques ont permis de caractériser la morphologie foliaire à travers plusieurs descripteurs. Pour chaque feuille de Posidonie, la longueur du limbe (L), sa largeur (l) mesurée à mi-hauteur, ainsi que la longueur du pétiole (pour les feuilles adultes) ont été relevées minutieusement à l'aide d'une règle graduée au millimètre près (Fig. 11).

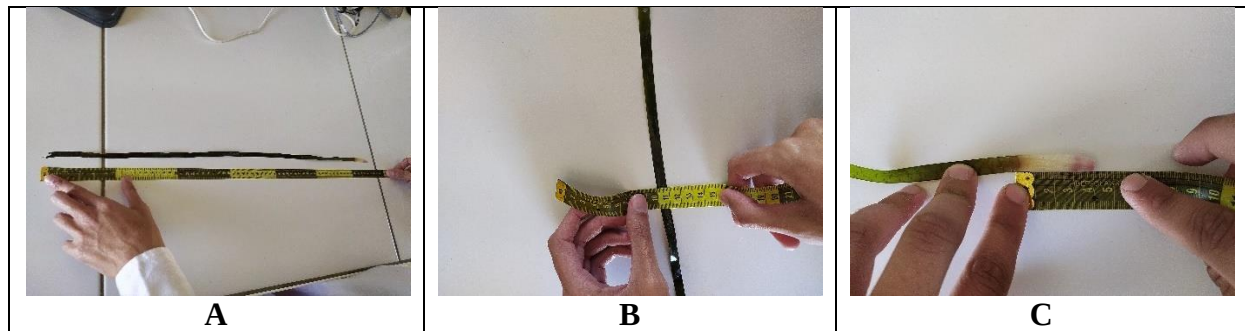


Figure 11 : Paramètres morphologiques mesurés sur les feuilles : **A.** Longueur du limbe ; **B.** Largeur du limbe ; **C.** Longueur du pétiole (Présent travail).

VI.1. Surface foliaire moyenne par faisceau

La surface foliaire globale (SFG), exprimée en cm²/faisceau, constitue un descripteur biométrique fondamental. Elle représente la surface totale fonctionnelle de l'appareil photosynthétique (cumulant les feuilles adultes et intermédiaires) et s'avère être un excellent indicateur de la productivité primaire ainsi que de l'état de santé des herbiers à *Posidonia oceanica*.

En se basant sur les données morphologiques recueillies selon le protocole de Giraud (1979), la surface foliaire de chaque faisceau a été calculée en appliquant les formules de Pergent-Martini *et al.* (1994):

$$SFA = (\sum L_{adultes} * \bar{I}_{adultes})$$

Avec :

- SFA= Surface foliaire des feuilles adultes par faisceau ;
- $\sum L_{adultes}$ = Somme des longueurs des feuilles adultes du faisceau ;
- $\bar{I}_{adultes}$ = Largeur moyenne des feuilles adultes du faisceau.

$$\text{SFI} = (\sum L_{\text{intermédiaires}} * \bar{I}_{\text{intermédiaires}})$$

Avec :

- SFI = Surface foliaire des feuilles intermédiaires par faisceau ;
- $\sum L_{\text{intermédiaires}}$ = Somme des longueurs des feuilles intermédiaires du faisceau ;
- $\bar{I}_{\text{intermédiaires}}$ = Largeur moyenne des feuilles intermédiaires du faisceau.

$$\text{SFG} = \text{SFA} + \text{SFI}$$

Avec : SFG = Surface foliaire globale d'un faisceau (feuilles adultes et intermédiaires).

VI.2. Coefficient A

Les structures foliaires ont été réparties en deux catégories distincts : les feuilles à apex entier et celles à apex brisé (Fig. 12). L'examen de l'extrémité des limbes s'avère un bio-indicateur précieux pour apprécier la nature des pressions environnementales subies par l'herbier. Il permet de discriminer l'impact du broutage par les herbivores de celui des contraintes hydrodynamiques et des tempêtes (Mazzella *et al.*, 1981 ; Wittmann *et al.*, 1981 ; Velimirov, 1984 ; Zupo & Fresi, 1984 ; Verlaque, 1987).

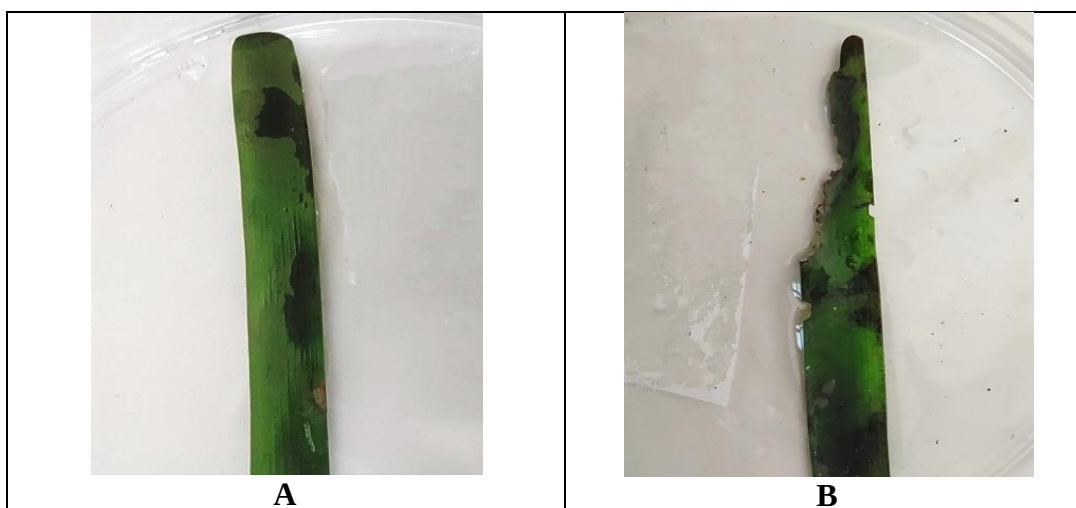


Figure 12 : (A) un apex entier ; (B) un apex brisé de feuilles de *P. oceanica* (Présent travail).

Le coefficient A correspond au pourcentage de feuilles ayant perdu leur apex par faisceau de *Posidonia oceanica*, selon la méthode de Giraud (1977).

$$\text{Coefficient A (\%)} = \frac{\text{Nombre de feuilles sans apex}}{\text{Nombre total de feuilles adultes et intermédiaires}} \times 100$$

Lorsque l'apex était brisé, la morphologie de la cassure était examinée afin d'identifier son origine probable selon la typologie décrite par Boudouresque et Meinesz (1982). Quatre catégories ont été distinguées :

- Type A : apex brouté par l'oursin *Paracentrotus lividus* ;
- Type B : apex brouté par les crustacés isopodes ;
- Type C : apex brouté par le poisson *Sarpa salpa* ;
- Type X : apex cassé par une action purement mécanique.

Globalement, chaque catégorie d'herbivores laisse une signature de consommation bien spécifique. Ces traces caractéristiques permettent de distinguer avec précision les différentes

pressions de broutage exercées sur les feuilles de *Posidonia oceanica* (Boudouresque & Meinesz, 1982) (Fig. 13). Ces observations ont permis de calculer la fréquence de chaque type d'apex pour tous les faisceaux analysés par site.

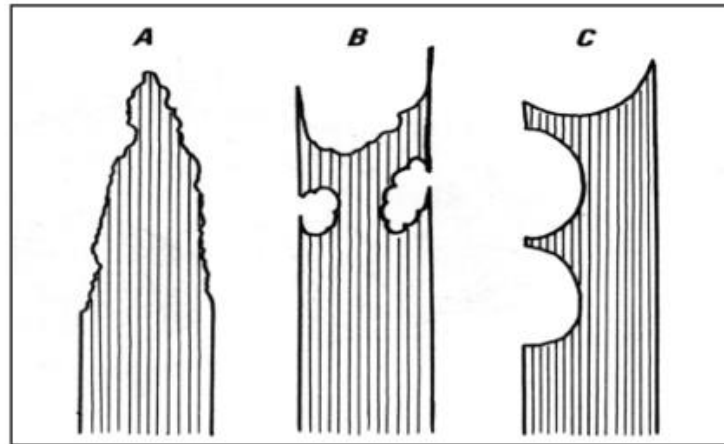


Figure 13 : Types d'impacts d'herbivorie sur l'apex des feuilles de *P. oceanica*. (A) *Paracentrotus lividus* ; (B) Crustacés isopodes ; (C) *Sarpa salpa* (Modifié d'après Boudouresque & Meinesz, 1982).

L'apex cassé par l'action mécanique est imputable à l'hydrodynamisme du milieu (vagues, courants), il peut être fortement accentué par le développement des épiphytes. En recouvrant le limbe, ces organismes fixés alourdissent et fragilisent les tissus foliaires, les rendant plus sensibles à la rupture (Mazzella et al., 1981 ; Wittmann et al., 1981 ; Pergent, 2007).

Les fréquences relatives de chaque type d'apex ont été calculées par rapport au nombre total des feuilles cassées selon la formule :

$$F_{\text{Type}}(\%) = \left(\frac{N_{\text{Type}}}{N_{\text{cassées}}} \right) \times 100$$

Avec :

F_{Type} : Fréquence du type de cassure considéré ;

N_{Type} : Nombre de feuilles appartenant à ce type de cassure ;

N_{cassées} : Nombre total de feuilles cassées.

Ce paramètre met en évidence la nature dominante des altérations physiques subies par l'appareil foliaire de *Posidonia oceanica*. En effet, la distribution des différentes typologies d'apex constitue une signature écologique précieuse pour identifier et hiérarchiser les principales pressions environnementales qui affectent l'herbier, qu'il s'agisse de contraintes hydrodynamiques, de l'intensité de l'herbivorie ou d'autres perturbations anthropiques locales (Prado *et al.*, 2007 ; Gera *et al.*, 2013).

V. Analyse des épiphytes

V.1. Recouvrement des épiphytes

L'évaluation de la communauté épiphytique a été réalisée en appliquant la méthode standardisée de Van der Ben (1971). Ce protocole a permis d'estimer avec précision le taux de recouvrement des épiphytes sur les différentes catégories de feuilles de *Posidonia oceanica*. Les deux faces de la feuille ont été examinées sous une loupe binoculaire. Pour ce faire, les feuilles ont été préalablement découpées en fragments de 8 cm de longueur, leur nombre variant en fonction de la longueur de la feuille. Le recouvrement de chaque espèce a ensuite été estimé pour chaque fragment puis extrapolé à la surface totale de la feuille (Fig. 14).

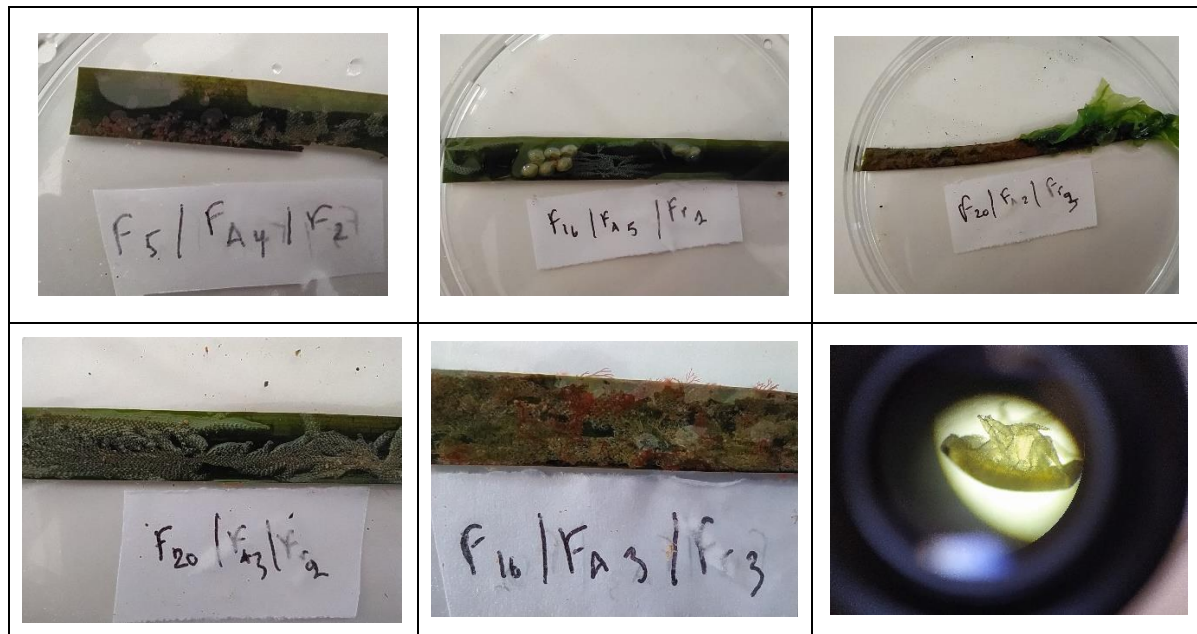


Figure 14 : Fragments de feuilles de *Posidonia oceanica* avec différentes espèces d'épiphytes (Présent travail).

Le recouvrement relatif de chaque espèce épiphyte a été estimé en pourcentage de la surface foliaire totale. Il correspond à la surface occupée par l'espèce considérée, projetée orthogonalement sur la surface de la feuille.

Le recouvrement relatif de l'épiphyte *i* (*Ri*) a été calculé selon la formule suivante :

$$Ri (\%) = \sum_{i=1}^n \frac{Rifr * Sfr}{St}$$

Avec :

n : Nombre de fragments analysés ;

Ri : recouvrement de l'épiphyte *i* (%) ;

Rifr : recouvrement de l'épiphyte *i* dans le fragment considéré ;

Sfr : surface du fragment ;

St : surface totale de la feuille.

V.2. Charge épiphytique (E/F)

Sur les mêmes faisceaux que ceux sélectionnés pour l'étude phénologique, chaque face des feuilles adultes et intermédiaires a été minutieusement grattée à l'aide d'une lame de scalpel. Cette opération permet de récolter l'intégralité de la communauté épiphytique, qu'elle soit d'origine animale (épifaune) ou végétale (épiflore dressée ou encroûtante) (Dauby & Poulicek, 1995). Ensuite, la biomasse foliaire et celle épiphytique d'un même faisceau ont ensuite été calculées séparément. Pour ce faire, les échantillons de feuilles et d'épiphytes ont été placées à l'étuve à 70°C pendant 48 heures jusqu'à obtention d'un poids sec constant, puis pesées sur une balance analytique de précision ($\pm 0,1$ mg) (Fig. 15) (Pergent et al., 1995). La biomasse des épiphytes et des feuilles est alors exprimée en g PS par faisceau.

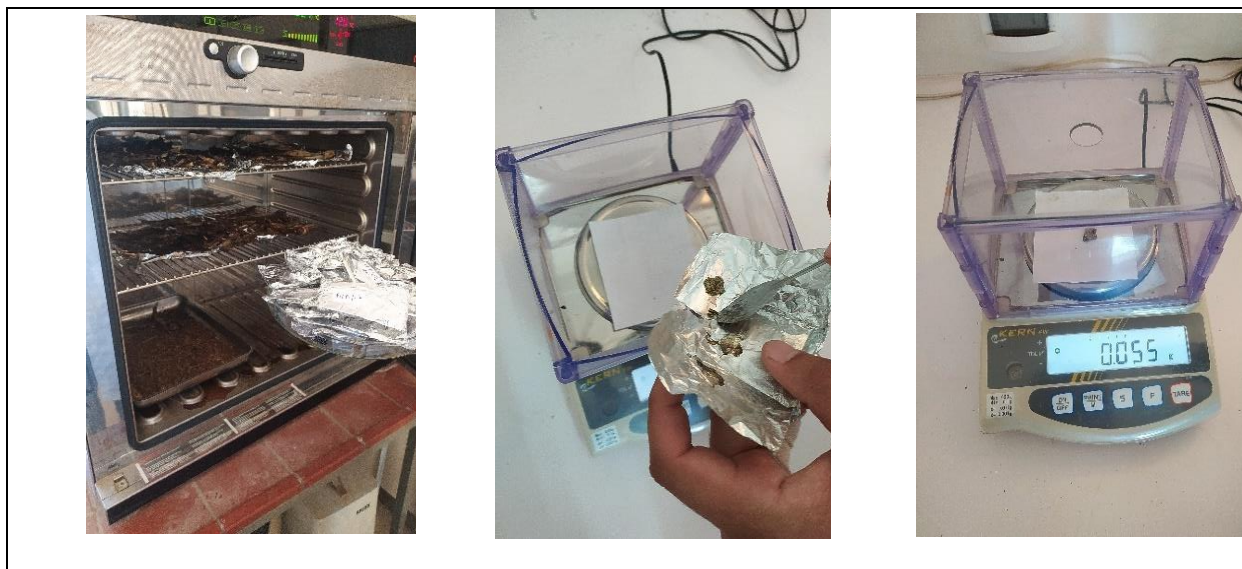


Figure 15 : Séchage et pesée des feuilles et des épiphytes de Posidonie (Présent travail).

La charge épiphytique (E/F) correspond au rapport entre la biomasse sèche des épiphytes (E) et la biomasse sèche des feuilles (F) issues d'un même faisceau de *Posidonia oceanica* (Gobert *et al.*, 2009). Ce ratio a été calculé selon la formule suivante :

$$E/F = \frac{\text{Poids sec des épiphytes du faisceau}}{\text{Poids sec des feuilles du même faisceau}}$$

Les structures foliaires de *P. oceanica* constituent un substrat complexe pour de nombreuses espèces épiphytes végétales et animales (Piazzini *et al.*, 2016). La quantification de cette charge est un paramètre essentiel pour caractériser la dynamique des communautés associées, offrant ainsi un descripteur complémentaire de l'état écologique et de la qualité du milieu (Borum, 1985 ; Frankovich *et al.*, 2009).

CHAPITRE 3 :

RESULTATS ET DISCUSSION

I. Résultats

II. Analyse des paramètres phénologiques

II.1. Nombre moyen de feuilles par faisceau

II.1.1. Nombre moyen de feuilles adultes par faisceau

Le nombre de feuilles adultes de *Posidonia oceanica* du site de Petit Port est supérieur à celui de Hadjadj (Fig. 16). La valeur moyenne au niveau de Petit Port atteint $(3,35 \pm 1,04)$ feuille par faisceau, avec un nombre variant entre 2 et 5 feuilles par faisceau. À Hadjadj, le nombre moyen feuilles adultes est égale à $(2,85 \pm 0,59)$ feuilles par faisceau, avec un effectif oscillant entre 2 et 4 feuilles par faisceau (Fig. 16).

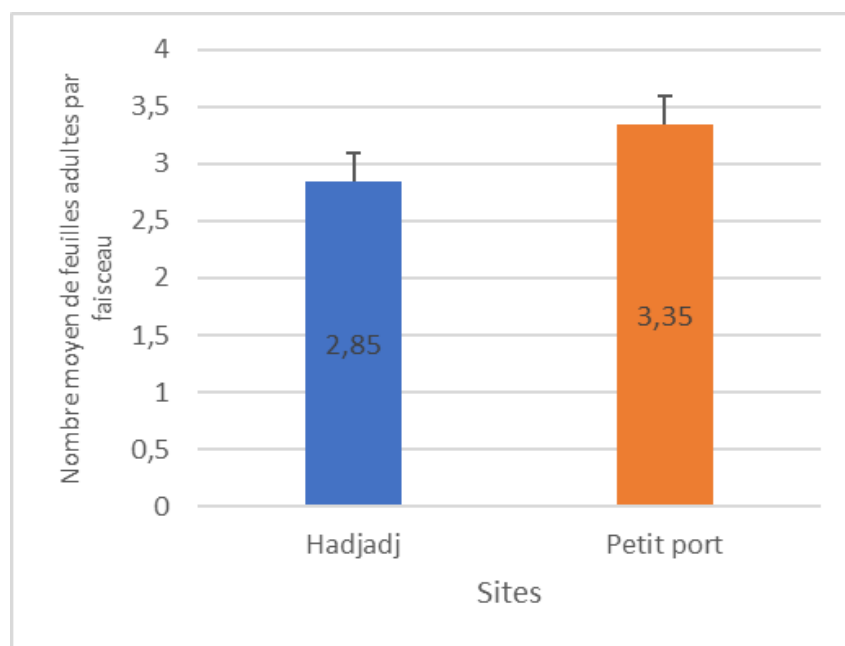


Figure 16 : Nombre moyen de feuilles adultes de *Posidonia oceanica* par faisceau au niveau des deux sites d'études.

II.1.2. Nombre moyen de feuilles intermédiaires par faisceau

La tendance s'inverse concernant le nombre moyen de feuilles intermédiaires de *Posidonia oceanica* (Fig. 17).

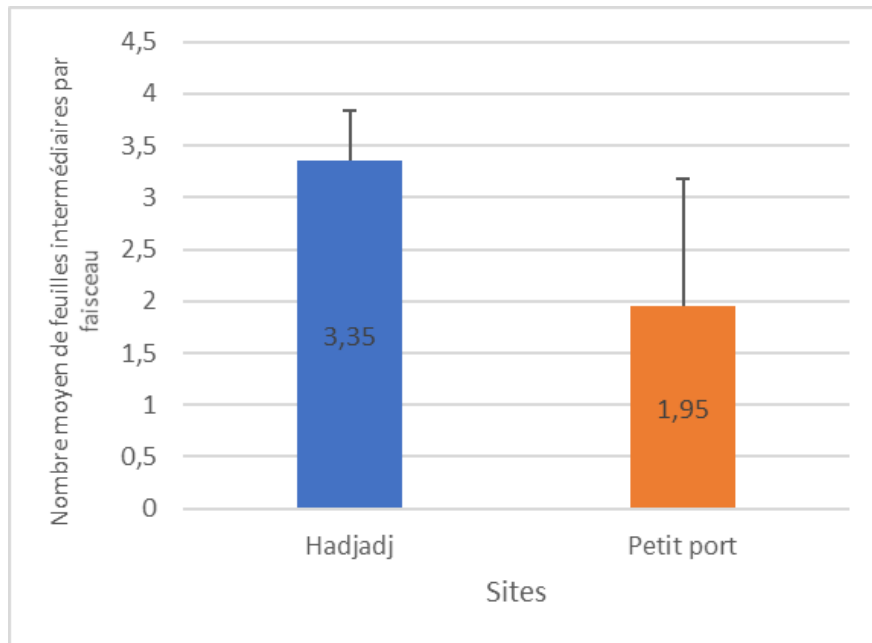


Figure 17 : Nombre moyen de feuilles intermédiaires de *Posidonia oceanica* par faisceau au niveau des deux sites d'études.

C'est le site de Hadjadj qui présente la plus haute valeur moyenne de ce paramètre ($3,35 \pm 0,49$) (Fig. 17), montrant une structure relativement homogène (3 à 4 feuilles par faisceau). A l'inverse, le site de Petit Port affiche une valeur moyenne nettement plus basse de ($1,95 \pm 1,23$) feuilles intermédiaires par faisceau (Fig. 17), associée à une forte hétérogénéité puisque certains faisceaux ne comptaient aucune feuille intermédiaire quand d'autres en comptaient 5.

II.1.3. Nombre moyen de feuilles juvéniles par faisceau

Les feuilles juvéniles s'avèrent globalement rares sur les deux sites d'études (Fig. 18). Hadjadj enregistre une faible moyenne de $(0,30 \pm 0,73)$ feuille juvénile par faisceau (avec un maximum de 3), tandis que Petit Port affiche une plus faible moyenne de $(0,15 \pm 0,37)$ feuille juvénile par faisceau (les valeurs ne dépassant jamais 1 feuille) (Fig. 18).

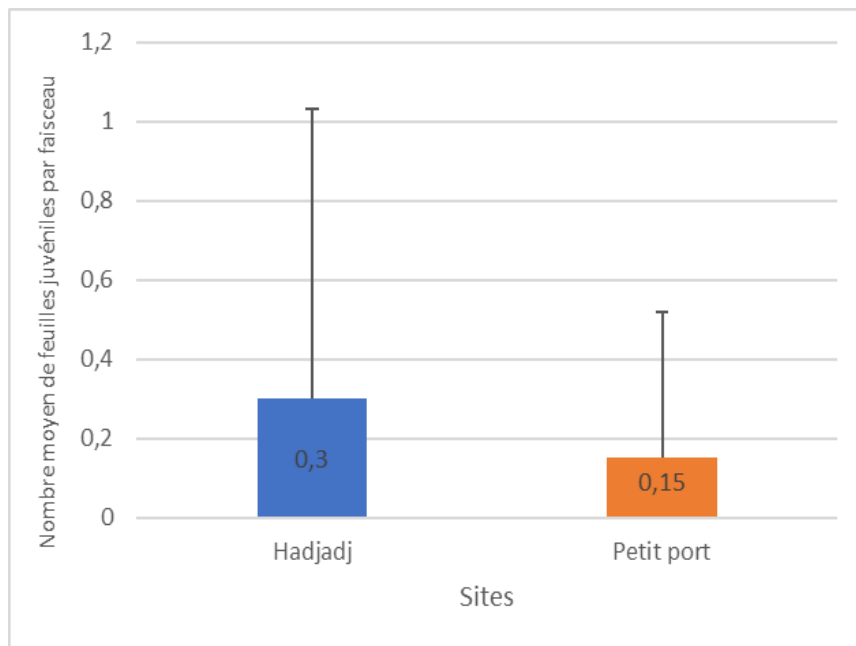


Figure 18 : Nombre moyen de feuilles juvéniles de *Posidonia oceanica* par faisceau au niveau des deux sites d'études.

II.1.4. Nombre moyen de feuilles globales (adultes et intermédiaires) par faisceau

En combinant les feuilles adultes et intermédiaires, le nombre de feuilles globales est clairement supérieur à Hadjadj (Fig. 19). Ce paramètre atteint $(6,20 \pm 0,83)$ feuille par faisceau à Hadjadj, avec des valeurs comprises entre 5 et 8 feuilles (Fig. 19). Par contre, le nombre moyen de feuilles globales par faisceau obtenu à Petit Port est de $(5,30 \pm 1,08)$ (Fig. 19), avec un effectif qui varie entre 4 et 8 feuilles par faisceau.

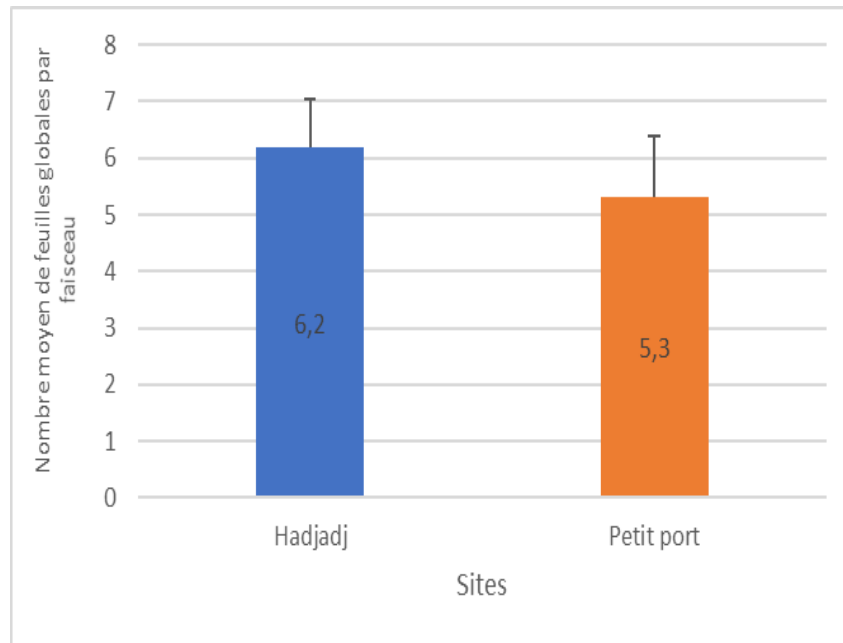


Figure 19 : Nombre moyen de feuilles globales de *Posidonia oceanica* par faisceau au niveau des deux sites d'études.

II.2. Longueur moyenne des feuilles

II.2.1. Longueur moyenne des feuilles adultes

Les résultats obtenus pour la longueur moyenne des feuilles adultes de *Posidonia oceanica* montrent des valeurs nettement plus importantes à Petit Port par rapport à Hadjadj (Fig. 20). La longueur moyenne des feuilles adultes atteint (30,79 cm $\pm$ 13,51) à Petit Port (Fig. 20), avec des valeurs qui varient entre de 10,47 cm et 56,50 cm. Par ailleurs, la longueur moyenne des feuilles adultes de la Posidonie du site de Hadjadj est de (21,61 cm $\pm$ 5,90) (Fig. 20), avec un minimum de 12,20 cm et un maximum de 34,07 cm.

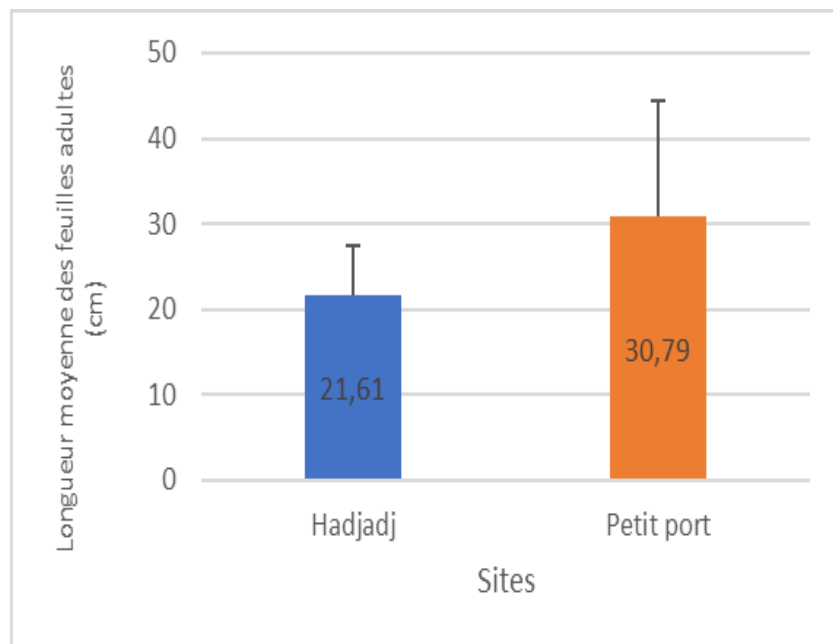


Figure 20 : Longueur moyenne des feuilles adultes de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études.

II.2.2. Longueur moyenne des feuilles intermédiaires

Une longueur moyenne des feuilles intermédiaires de Posidonie atteignant (32,34 cm $\pm$ 15,56) est obtenue à Petit Port (Fig. 21), avec des valeurs extrêmes de 5 cm pour les plus petites feuilles à près de 59,67 cm pour les plus grandes. D'autre part, une moyenne de (24,90 cm $\pm$ 5,71) est obtenue à Hadjadj avec des valeurs comprises entre 14,53 cm et 35,17 cm (Fig. 21).

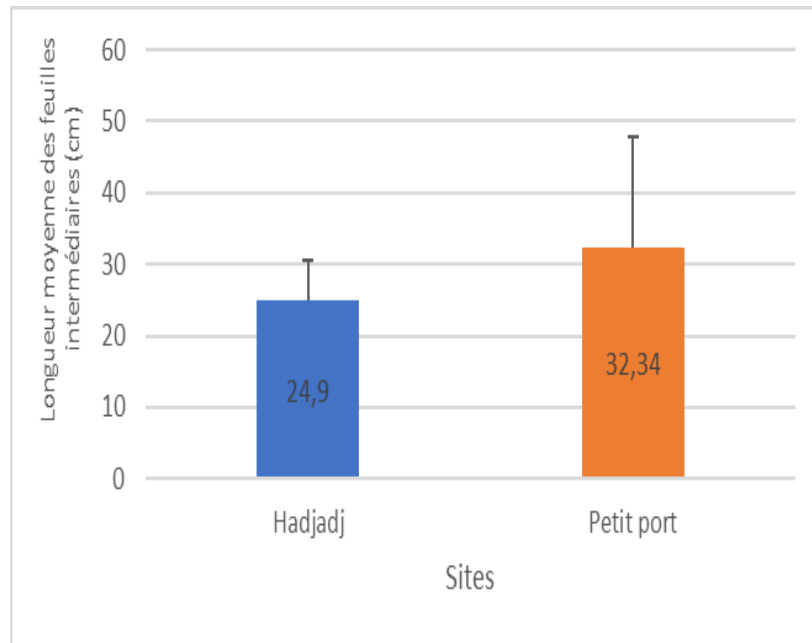


Figure 21 : Longueur moyenne des feuilles intermédiaires de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études.

II.2.3. Longueur moyenne des feuilles juvéniles

La longueur des feuilles juvéniles de Posidonie affichent des valeurs relativement réduites et très proches entre les deux sites d'études (Fig. 22). Ce paramètre atteint ($3,33 \text{ cm} \pm 0,88$) à Hadjadj (avec des valeurs comprises entre de 2,50 cm à 4,50 cm) et ($3,10 \text{ cm} \pm 1,23$) à Petit Port (avec des valeurs allant de 1,70 cm à 4 cm) (Fig. 22).

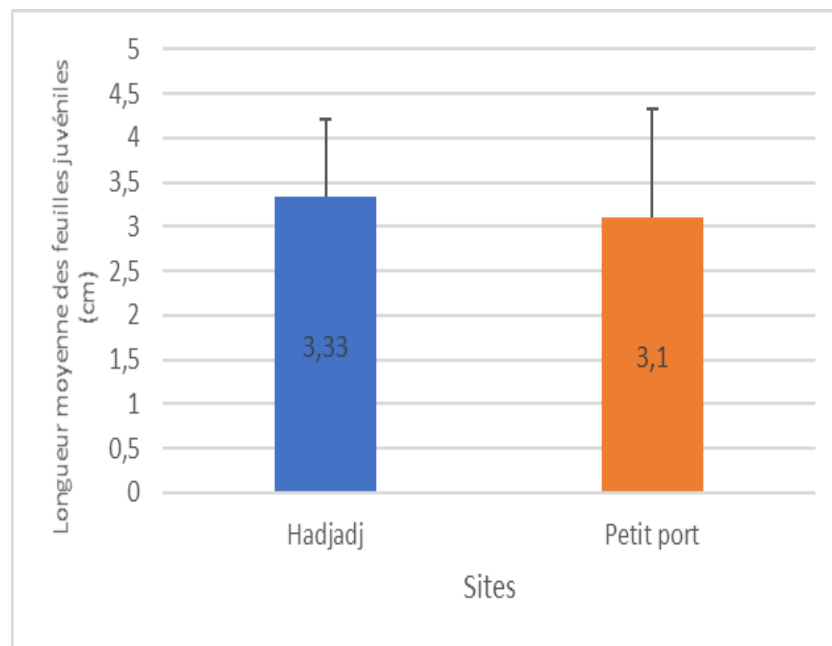


Figure 22 : Longueur moyenne des feuilles juvéniles de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études.

II.2.4. Longueur moyenne des feuilles globales

La longueur moyenne des feuilles globales de Posidonie confirme la supériorité des tailles à Petit Port (Fig. 23). L'herbier de Hadjadj se caractérise par une longueur moyenne des feuilles globales de (23,61 cm $\pm$ 4,72), alors que celui de Petit Port affiche une moyenne de (31,32 cm $\pm$ 13,71) (Fig. 23).

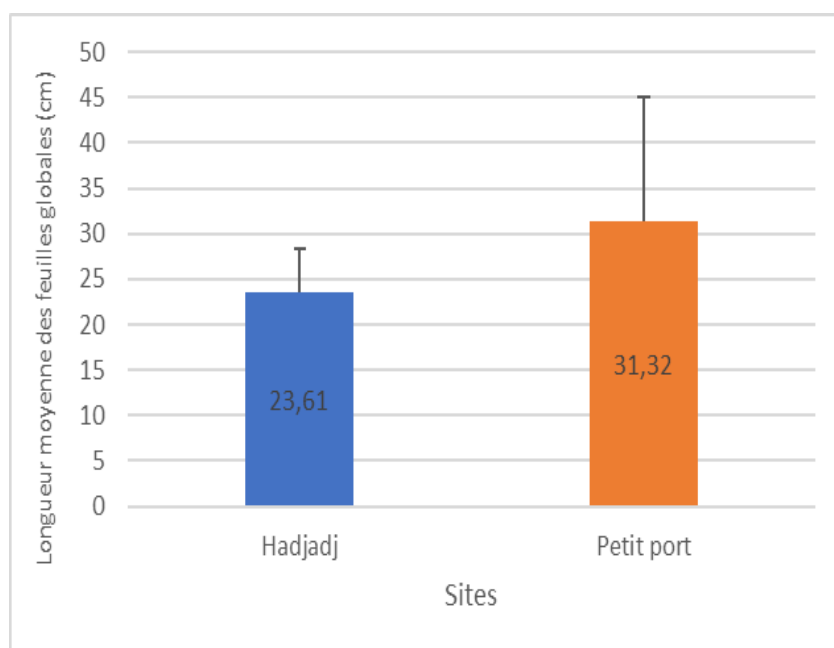


Figure 23 : Longueur moyenne des feuilles globales de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études.

II.3. Largeur moyenne des feuilles

3.1.3.1. Largeur moyenne des feuilles adultes

Pour ce qui est des feuilles adultes, les données indiquent des largeurs foliaires légèrement plus importantes à Hadjadj par rapport à Petit Port (Fig. 24). Au niveau de Hadjadj, la largeur moyenne des feuilles adultes est de (0,91 cm $\pm$ 0,07) (variant entre 0,8 cm à 1 cm) ; alors que la moyenne de ce paramètre atteint (0,85 cm $\pm$ 0,10) au niveau du site de Petit Port (Fig. 24), avec des valeurs allant de 0,7 cm et 1,05 cm.

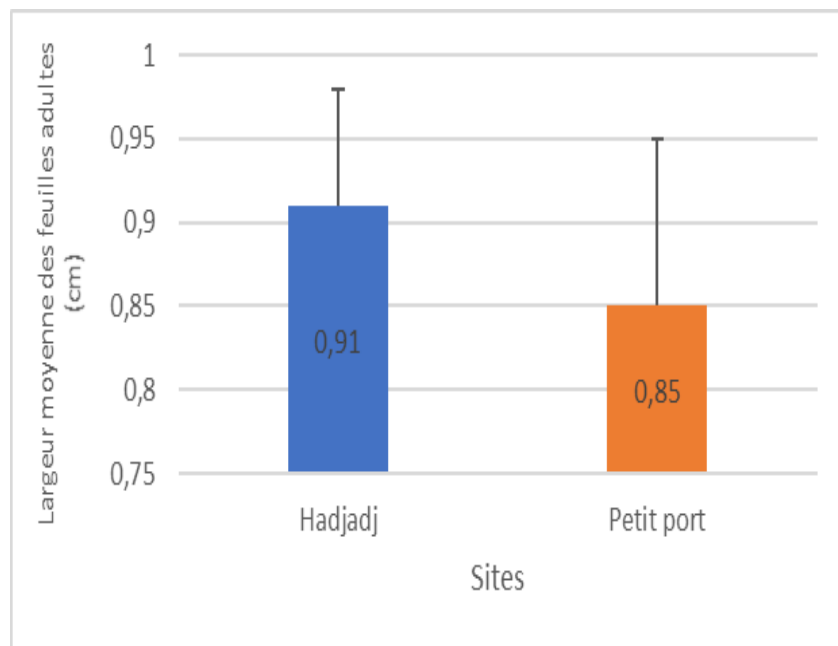


Figure 24 : Largeur moyenne des feuilles adultes de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études.

3.1.3.2. Largeur moyenne des feuilles intermédiaires

L'examen des feuilles intermédiaires met en évidence une tendance similaire à ceux des feuilles adultes (Fig. 25). A Hadjadj, le limbe affiche une largeur moyenne de (0,89 cm $\pm$ 0,06) (Fig. 25), avec des largeurs entre 0,78 cm et 1,03 cm. En revanche, le site de Petit Port se caractérise par des feuilles intermédiaires plus étroites, dont la moyenne est égale à (0,80 cm $\pm$ 0,10) (Fig. 25), avec des valeurs comprise entre 0,65 cm et 0,95 cm.

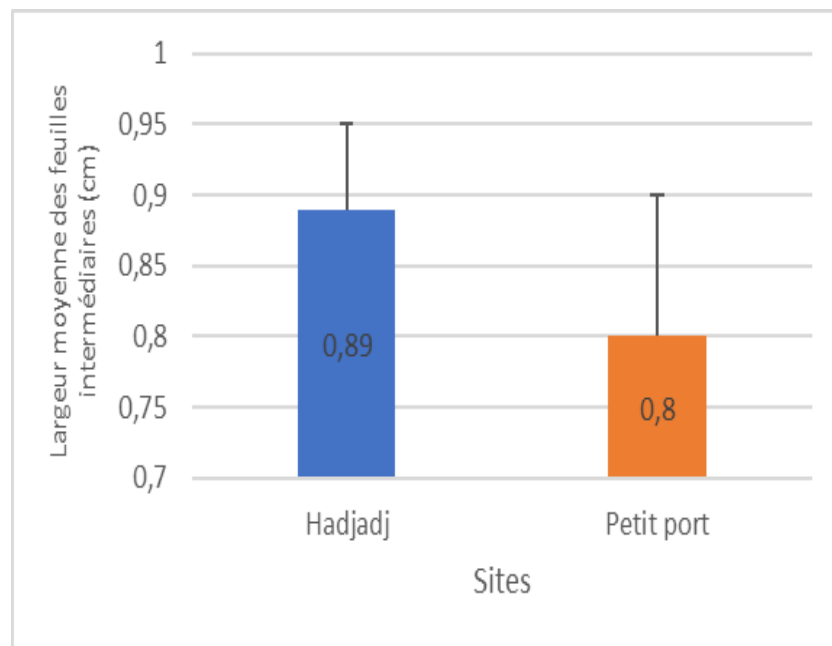


Figure 25 : Largeur moyenne des feuilles intermédiaires de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études.

3.1.3.3. Largeur moyenne des feuilles juvéniles

Les feuilles juvéniles présentent les plus faibles épaisseurs de limbe (Fig. 26). Le site de Hadjadj conserve les valeurs les plus hautes, avec une moyenne de (0,83 cm $\pm$ 0,10) (valeurs entre 0,70 cm à 0,90 cm) ; tandis que la largeur moyenne à Petit Port n'atteint que (0,70 cm $\pm$ 0,10) (valeurs minimales et maximales comprises entre 0,60 cm et 0,80 cm) (Fig. 26).

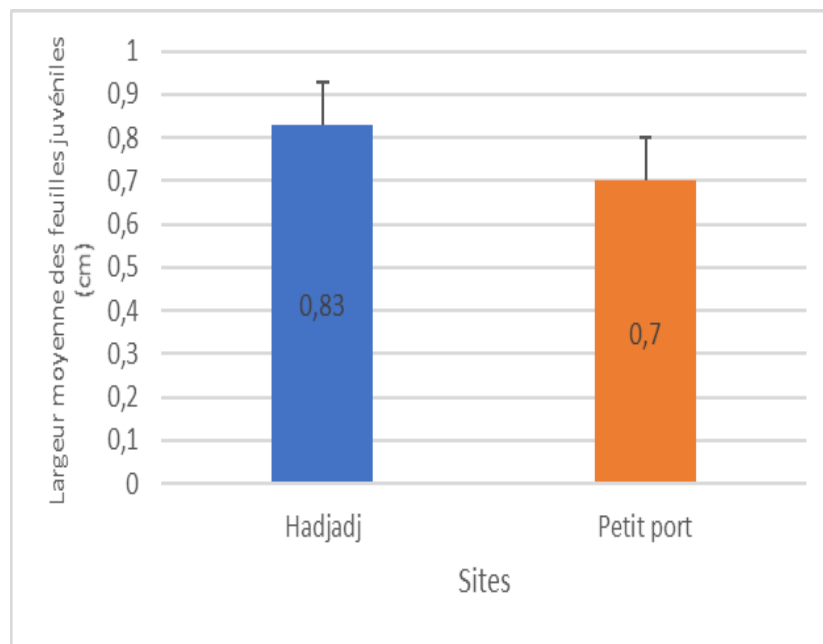


Figure 26 : Largeur moyenne des feuilles juvéniles de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études.

3.1.3.4. Largeur moyenne des feuilles globales

La largeur moyenne des feuilles globales de *Posidonia oceanica* confirme les résultats obtenus pour les différentes catégories d'âge des feuilles, avec les plus importantes valeurs enregistrées à Hadjadj (Fig. 27). Au niveau de ce dernier, la largeur moyenne des feuilles globales est de (0,90 cm $\pm$ 0,06) (valeurs entre 0,80 cm et 1,02 cm) ; alors que ce paramètre atteint une moyenne de (0,83 cm $\pm$ 0,10) à Petit Port (Fig. 27), avec des valeurs comprises entre 0,68 cm et 1,02 cm.

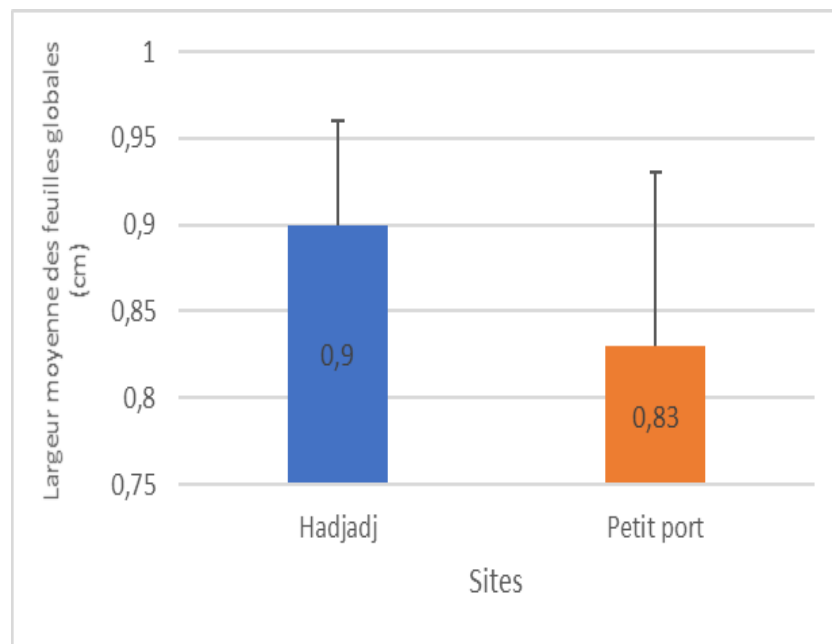


Figure 27 : Largeur moyenne des feuilles globales de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études.

II.4. Longueur moyenne des pétioles des feuilles adultes

À Hadjadj, la taille moyenne de ces structures s'élève à (3,28 cm $\pm$ 0,49) (Fig. 28), avec des valeurs allant de 2,33 cm et 4,14 cm. D'autre part, on note une moyenne légèrement supérieure de (3,48 cm $\pm$ 1,26) à Petit Port (Fig. 28), avec des valeurs extrêmes compris entre 1,67 cm et 5,80 cm.

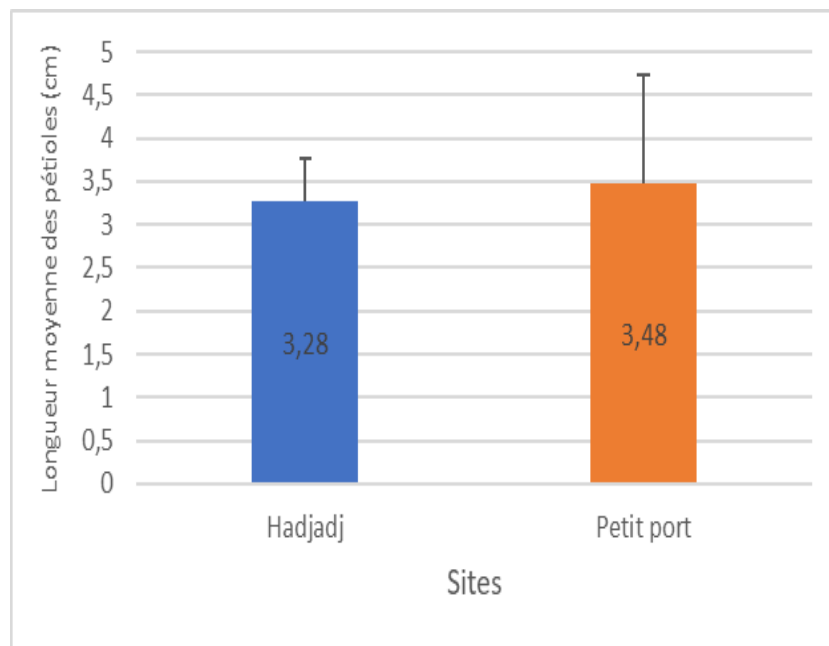


Figure 28 : Longueur moyenne du pétiole des feuilles adultes de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études.

II.5. Surface foliaire moyenne

II.5.1. Surface foliaire moyenne des feuilles adultes

Pour la catégorie des feuilles adultes, les résultats mettent en évidence un net avantage en faveur du site de Petit Port (Fig. 29). En effet, si l'herbier de Hadjadj affiche une surface foliaire moyenne de feuilles adultes de ($56,45 \text{ cm}^2 \pm 21,77$) (pour des valeurs oscillant entre $27,80 \text{ cm}^2$ et $108,90 \text{ cm}^2$) (Fig. 29), celui de Petit Port atteint une moyenne bien plus importante de ($89,55 \text{ cm}^2 \pm 54,30$) (Fig. 29), avec un minimum de $21,98 \text{ cm}^2$ et un maximum de $203,29 \text{ cm}^2$.

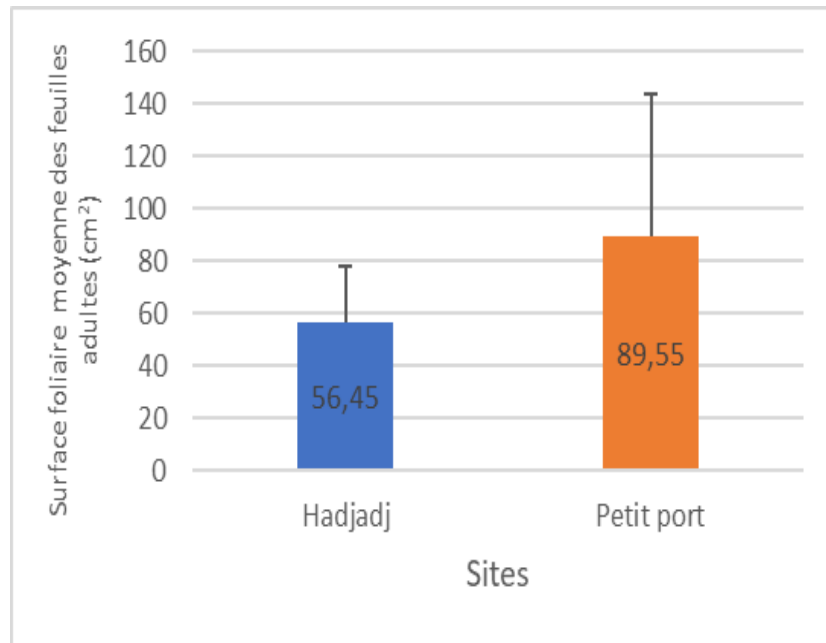


Figure 29 : Surface foliaire moyenne des feuilles adultes de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études.

II.5.2. Surface foliaire moyenne des feuilles intermédiaires

La tendance s'inverse légèrement lorsqu'on examine le cas des feuilles intermédiaires (Fig. 30). C'est au niveau de Hadjadj que la surface foliaire moyenne montre la plus importante valeur avec ($73,80 \text{ cm}^2 \pm 21,82$) (surfaces comprises entre $38,96 \text{ cm}^2$ et $133,30 \text{ cm}^2$); alors que le site de Petit Port n'enregistre qu'une valeur de ($66,88 \text{ cm}^2 \pm 44,41$) (Fig. 30), avec un minimum de $3,50 \text{ cm}^2$ un maximum de $161,10 \text{ cm}^2$.

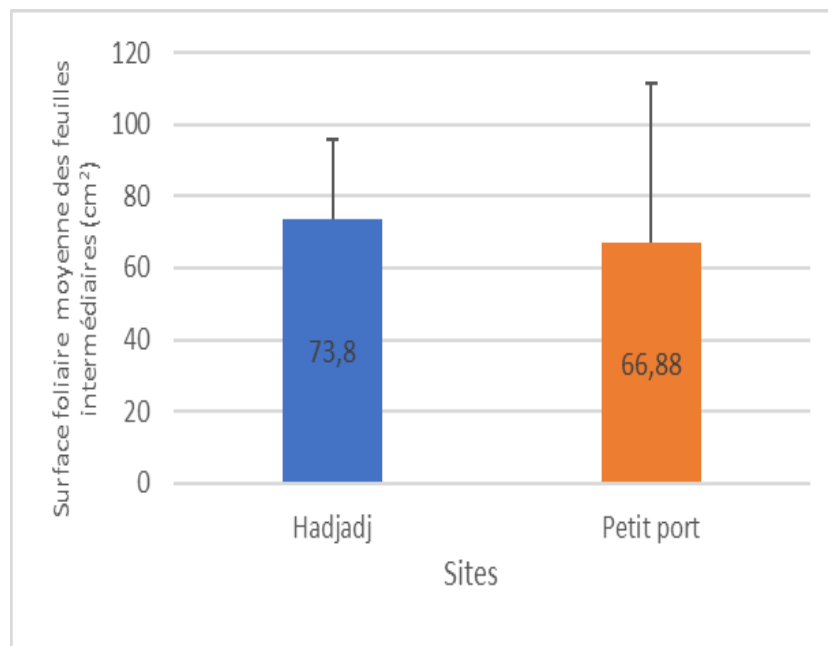


Figure 30 : Surface foliaire moyenne des feuilles intermédiaires de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études.

II.5.3. Surface foliaire moyenne des feuilles globales

Nous avons obtenu une surface foliaire moyenne des feuilles globale de $(130,25 \text{ cm}^2 \pm 33,39)$ au niveau de Hadjadj (Fig. 31), avec des valeurs comprises entre $85,80 \text{ cm}^2$ et $192,99 \text{ cm}^2$. En revanche, à Petit Port, cette surface foliaire moyenne par faisceau s'élève à $(146,39 \text{ cm}^2 \pm 90,95)$ (Fig. 31), présentant une forte variabilité entre les feuilles (valeurs entre $40,50 \text{ cm}^2$ et $324,95 \text{ cm}^2$).

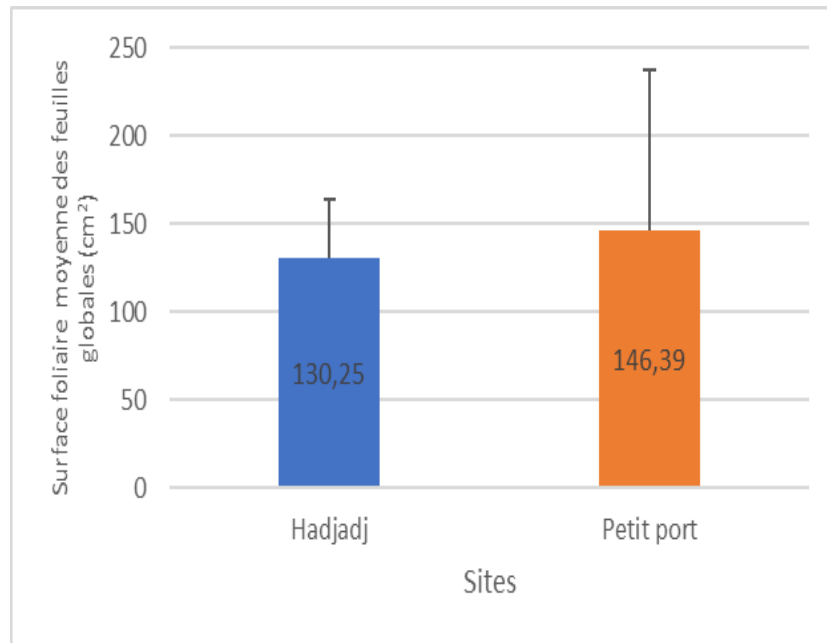


Figure 31 : Surface foliaire moyenne des feuilles globales de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études.

II.6. Coefficient A

II.6.1. Coefficient A moyen des feuilles adultes

L'indice d'apex perdus feuilles adultes s'avère particulièrement élevé au niveau des deux sites d'étude (Fig. 32). A Hadjadj, le coefficient A moyen pour cette catégorie d'âge atteint (87,08 % $\pm$ 31,12) ; ce qui est légèrement inférieure à celui enregistré à Petit Port (75,08 % $\pm$ 29,60) (Fig. 32). Il est à noter que la variabilité entre les faisceaux est très importante au niveau des deux sites d'études (valeurs fluctuant entre 0 à 100 %).

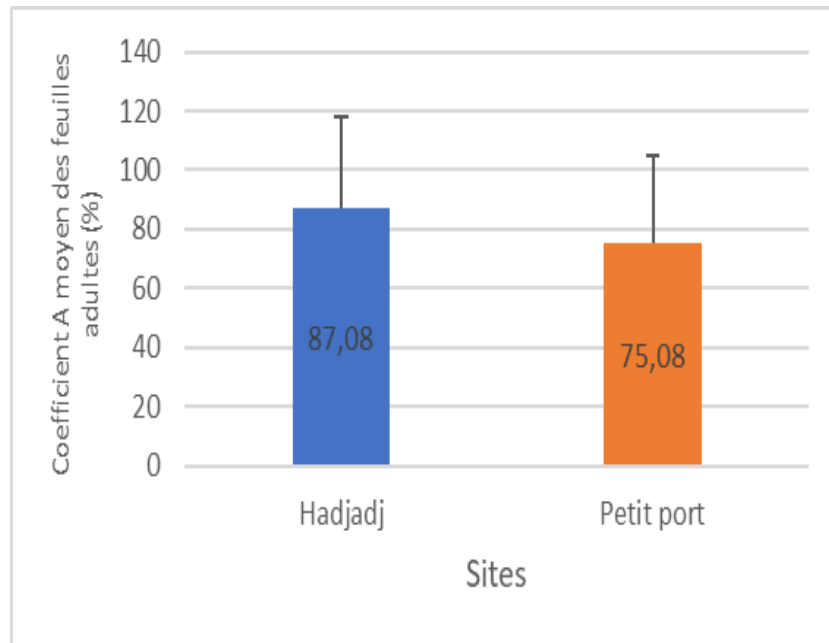


Figure 32 : Coefficient A moyenne des feuilles adultes de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études.

II.6.2. Coefficient A moyen des feuilles intermédiaires

Le taux d'apex cassés des feuilles intermédiaires est nettement inférieur à celui des feuilles adultes (Fig. 33). C'est au niveau du site de Hadjadj que le coefficient A reste le plus important, avec une valeur moyenne de $(35,00 \% \pm 25,88)$ (valeurs oscillantes entre 0 et 75 %). Par contre, les feuilles intermédiaires de la Posidonie de Petit Port affichent un coefficient A extrêmement faible avec une valeur moyenne de $(7,50 \% \pm 19,10)$ (Fig. 33), même si quelques faisceaux isolés ont pu présenter un taux de 66,67 %.

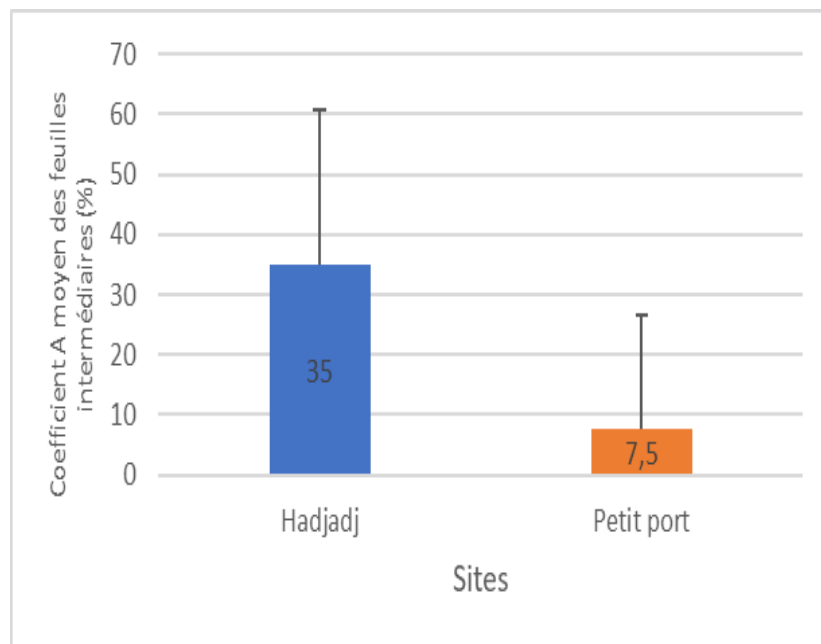


Figure 33 : Coefficient A moyenne des feuilles intermédiaires de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études.

II.6.3. Coefficient A moyen des feuilles globales

Le coefficient A des feuilles globales montre des valeurs relativement proches entre les deux herbiers de Posidonies (Fig. 34). Le site de Hadjadj présente une moyenne de $(59,04 \% \pm 24,24)$, tandis que celui de Petit Port affiche $(52,33 \% \pm 26,47)$ (Fig. 34).

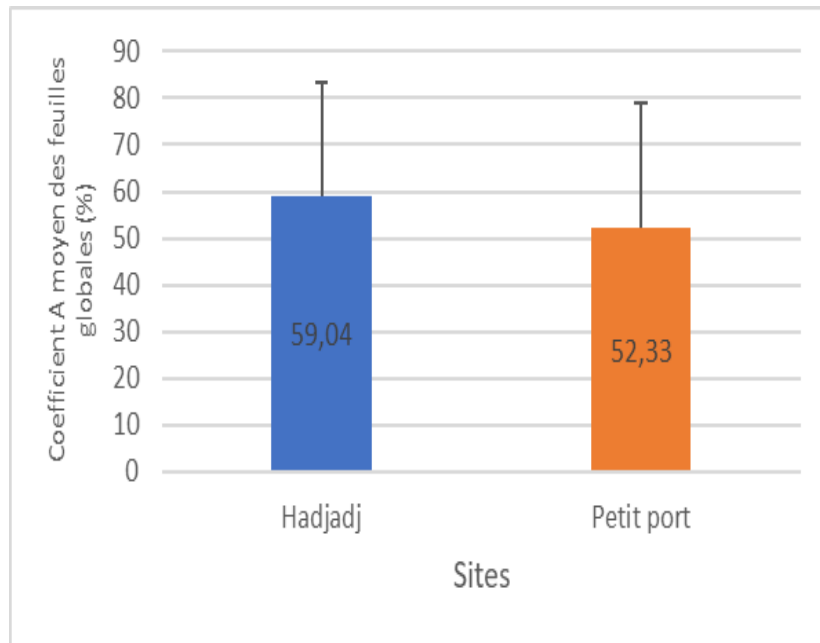


Figure 34 : Coefficient A moyenne des feuilles globales de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études.

II.6.4. Fréquence moyenne des apex perdus des feuilles de *Posidonia oceanica* par type de dommage

II.6.4.1. Fréquence moyenne des apex broutés par l'oursin *Paracentrotus lividus* (Type a)

L'analyse des incisions en forme de croissant, caractéristique du broutage par l'oursin *Paracentrotus lividus*, révèle une pression d'herbivorie identique entre les deux sites d'études (Fig. 35). Le calcul des fréquences moyennes de ce type de broutage donne une valeur de $(45,00 \% \pm 31,14)$ à Hadjadj et $(45,00 \% \pm 38,92)$ à Petit Port (Fig. 35).

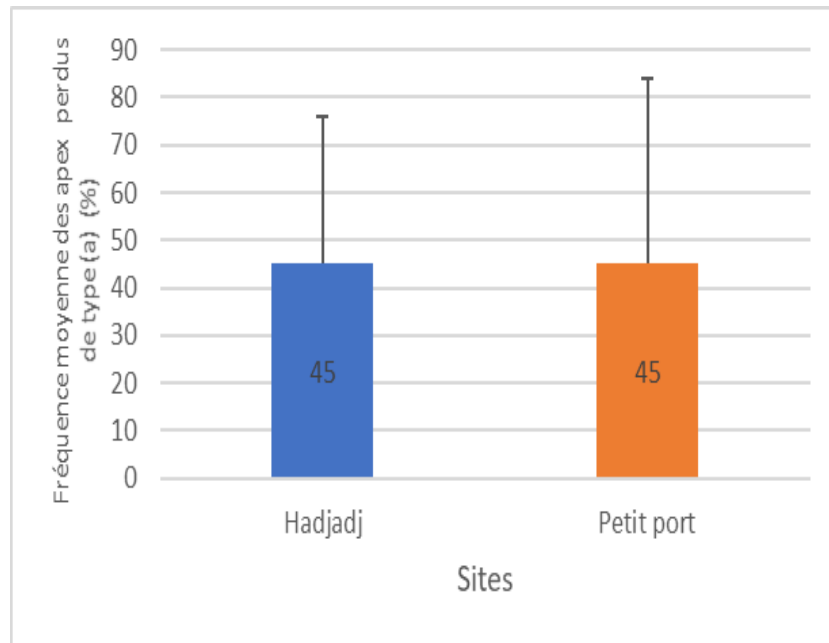


Figure 35 : Proportion moyenne des apex foliaires de *Posidonia oceanica* broutés par l'oursin *Paracentrotus lividus* (Type a) au niveau des deux sites d'études.

II.6.4.2. Fréquence moyenne des apex broutés par les crustacés isopodes (Type b)

Contrairement au type précédent, l'impact des crustacés isopodes, reconnaissable par les perforations ou incisions rectilignes, s'avère très réduit pour les deux sites (Fig. 36). Ce type de dommage enregistre une fréquence moyenne de (9 % $\pm$ 15,09) à Hadjadj, alors que l'herbier de Petit Port semble totalement indemne vis-à-vis de ce groupe d'herbivores (Fig. 36).

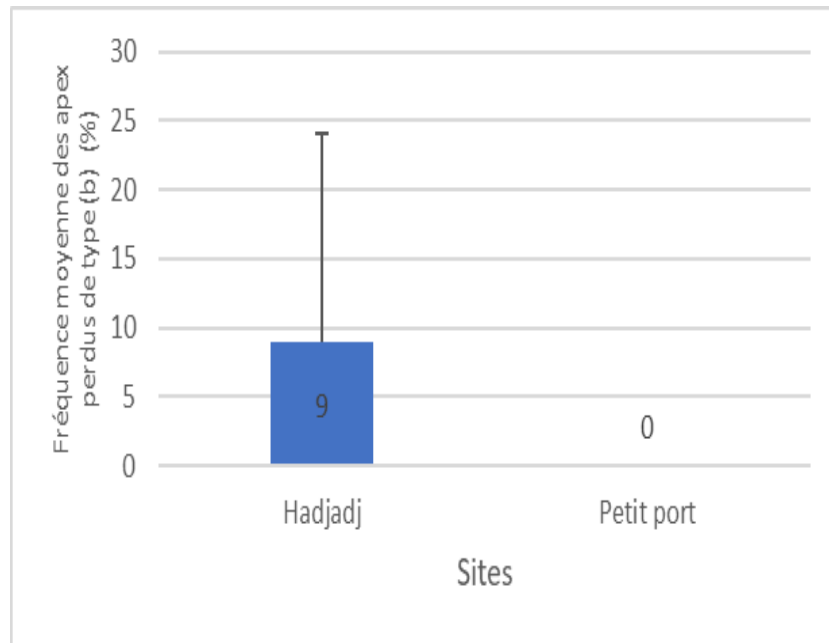


Figure 36 : Proportion moyenne des apex foliaires de *Posidonia oceanica* broutés par les Crustacés isopodes (Type b) au niveau des deux sites d'études.

II.6.4.3. Fréquence moyenne des apex broutés par *Sarpa salpa* (Type c)

Les traces de consommation laissées par les bancs de saupes (*Sarpa salpa*) affichent une différence entre les sites d'études (Fig. 37). Les herbiers de Hadjadj subissent le plus important impact avec une fréquence moyenne de (13,00 % $\pm$ 17,88) ; tandis que la pression exercée par ce poisson herbivore est faible à Petit Port (7,00 % $\pm$ 18,69) (Fig. 37), bien que certaines pointes foliaires aient montré un taux de 67 %.

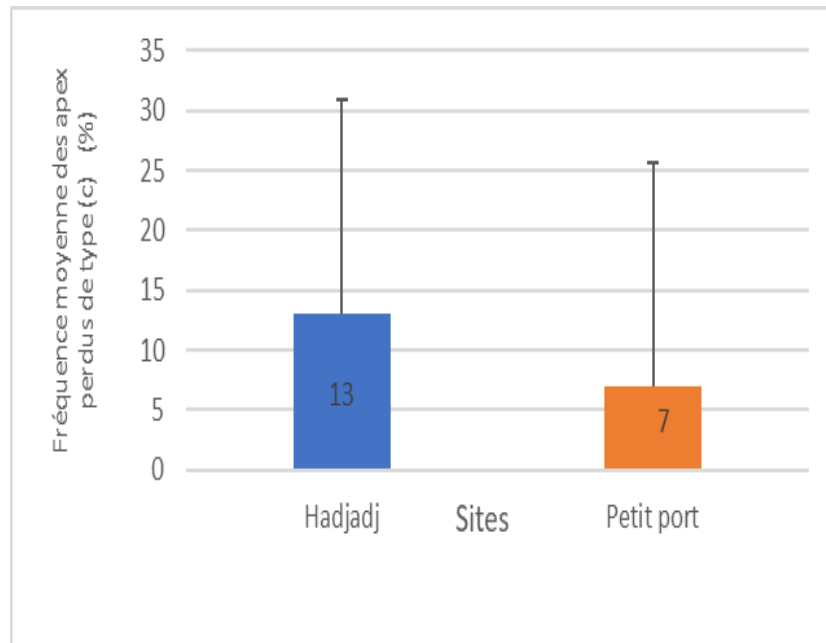


Figure 37 : Proportion moyenne des apex foliaires de *Posidonia oceanica* broutés par la saupe *Sarpa salpa* (Type c) au niveau des deux sites d'études.

II.6.4.4. Fréquence moyenne globale des apex broutés (a+b+c)

La sommation des différentes pressions d'herbivorie (types a, b et c) permet d'évaluer l'impact biotique global sur les feuilles de *Posidonia oceanica*. L'indice de broutage global s'avère plus prononcé à Hadjadj qu'à Petit Port, avec une valeur moyenne de (68,00 % $\pm$ 32,54) contre (55,00 % $\pm$ 36,62) respectivement (Fig. 38). Pour les deux herbiers, les fluctuations entre les faisceaux est importante, oscillant entre un taux nul (0%) et une dégradation totale des apex présents (100%).

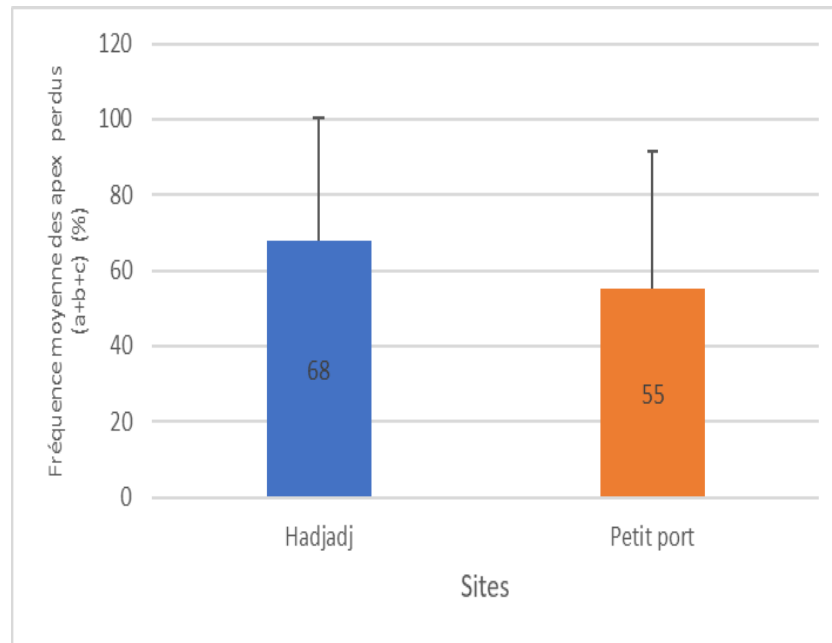


Figure 38 : Proportion moyenne globale des apex foliaires de *Posidonia oceanica* broutés (Type a+b+c) au niveau des deux sites d'études.

II.6.4.5. Fréquence moyenne des apex cassés par abrasion mécanique (Type x)

Les apex ayant subi une dégradation nette par abrasion mécanique ou hydrodynamisme (type x) présentent un résultat inverse à celui du broutage (Fig. 39). Les phénomènes de cassure mécanique sont plus intenses à Petit Port, où la fréquence moyenne atteint (43,00 % $\pm$ 37,05) (Fig. 39). A Hadjadj, l'impact mécanique est moins intense puisque la moyenne des apex cassés est de (32,00 % $\pm$ 32,54) (Fig. 39).

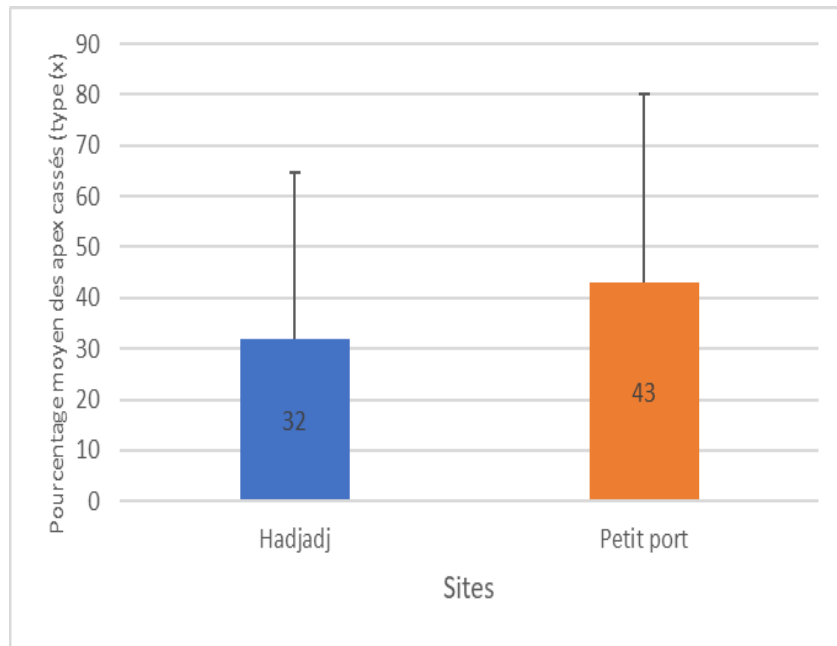


Figure 39 : Proportion moyenne des apex foliaires de *Posidonia oceanica* cassés par abrasion mécanique (Type x) au niveau des deux sites d'études.

III. Analyse des épiphytes

III.1. Recouvrement moyen des épiphytes

III.1.1. Recouvrement moyen des épiphytes sur les feuilles adultes et intermédiaires

La communauté épiphytique présente sur les limbes les plus anciens de Petit Port affiche une forte abondance (Fig. 40). Elle est co-dominée par le bryzoaire *Electra posidonia* (23,33 %) et l'algue encroûtante *Hydrolithon farinosum* (21,20 %). L'hydrozoaire *Amphisbetia operculata* se positionne en troisième position avec un taux non négligeable de 16,90 % (Fig. 40). Par ailleurs, sur les feuilles intermédiaires de la Posidonie de ce site d'étude, nous observons une diminution considérable du taux d'épiphytisme (Fig. 40). L'algue filamenteuse *Ectocarpus siliculosus* y est majoritaire mais avec seulement 6,62 % de recouvrement moyen, suivie par *Electra posidonia* (6,50 %) et *Hydrolithon farinosum* (5,71 %) (Fig. 40). Le taux de

recouvrement chez l'ensemble des autres espèces d'épiphytes s'abaisse sous le seuil des 1 % (Fig. 40).

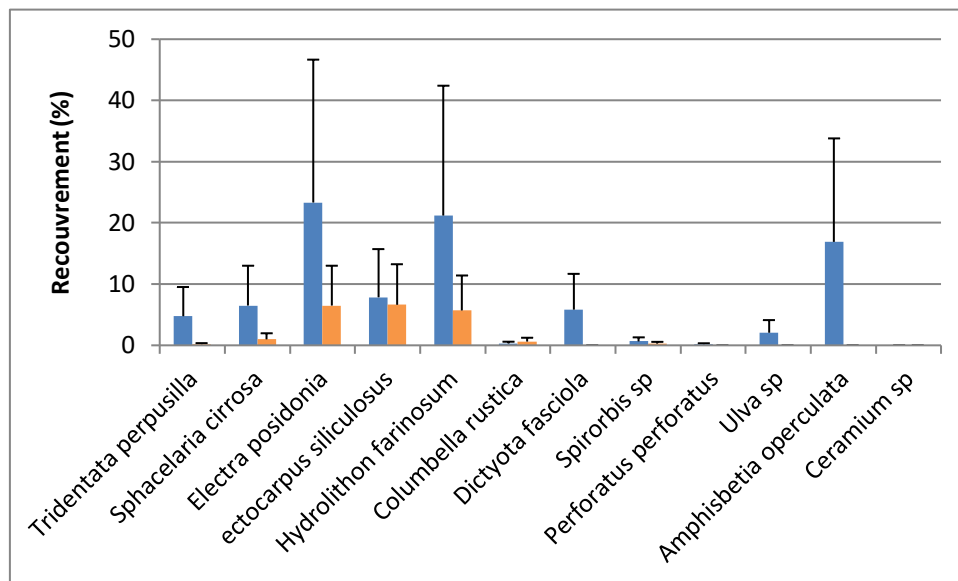


Figure 40 : Taux de recouvrement moyen des épiphytes sur les feuilles de *Posidonia oceanica* adultes (bleu) et intermédiaires (orange) du site de Petit Port.

D'autre part, le site de Hadjadj se caractérise par une prolifération massive d'*Electra posidonia* sur ses feuilles adultes, culminant à la valeur record de 42,49 % de recouvrement moyen (Fig. 41). En revanche, le développement des algues calcaires encroûtantes y est plus restreint, *Hydrolithon farinosum* n'atteignant que 12,10 %. Les algues opportunistes vertes (*Ulva sp.* Avec 6,65 %) et rouges filamenteuses (*Ceramium sp.* Avec 5,69 %) font une apparition plus notable qu'à Petit Port (Fig. 40 et 41).

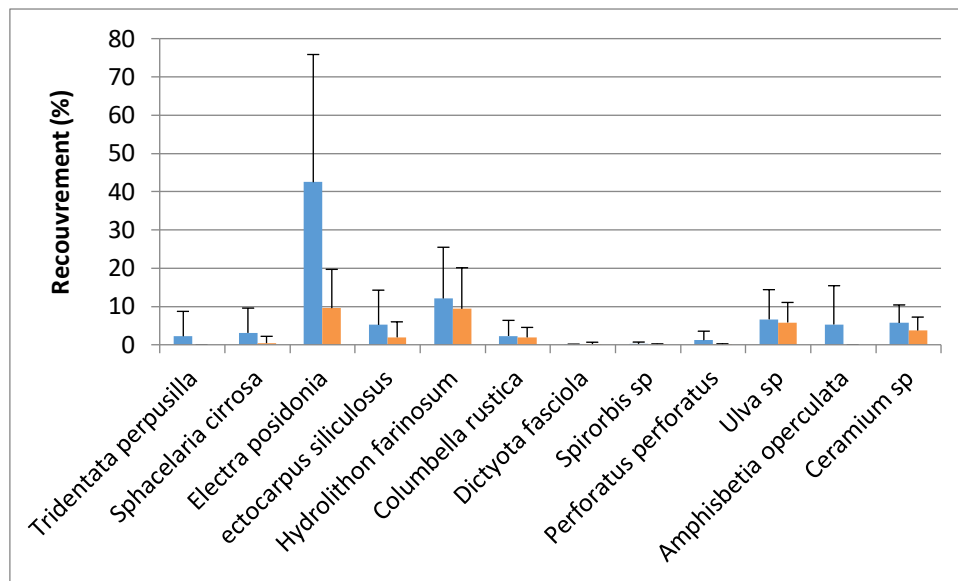


Figure 41 : Taux de recouvrement moyen des épiphytes sur les feuilles de *Posidonia oceanica* adultes (bleu) et intermédiaires (orange) du site de Hadjadj.

Comme au site de Petit Port, les structures foliaires intermédiaires montrent une importante diminution du taux de recouvrement. La hiérarchie reste cependant menée par les deux espèces *Electra posidonia* (9,58 %) et *Hydrolithon farinosum* (9,39 %) (Fig. 41). L'espèce *Ulva sp.* maintient une présence relativement importante à hauteur de 5,84 % (Fig. 41).

III.1.2. Recouvrement moyen des épiphytes sur les feuilles globales

La synthèse globale du site de Petit Port montre un équilibre communautaire très net entre *Hydrolithon farinosum* (18,44 %) et *Electra posidonia* (18,00 %) (Fig. 42). La présence appuyée d'*Amphisbetia operculata* (16,90 %) confirme l'originalité faunistique de ce site, tandis que les apports d'algues brunes érigées restent modérés (*Ectocarpus siliculosus* avec 7,57 % ; *Sphacelaria cirrosa* avec 5,16 %) (Fig. 42).

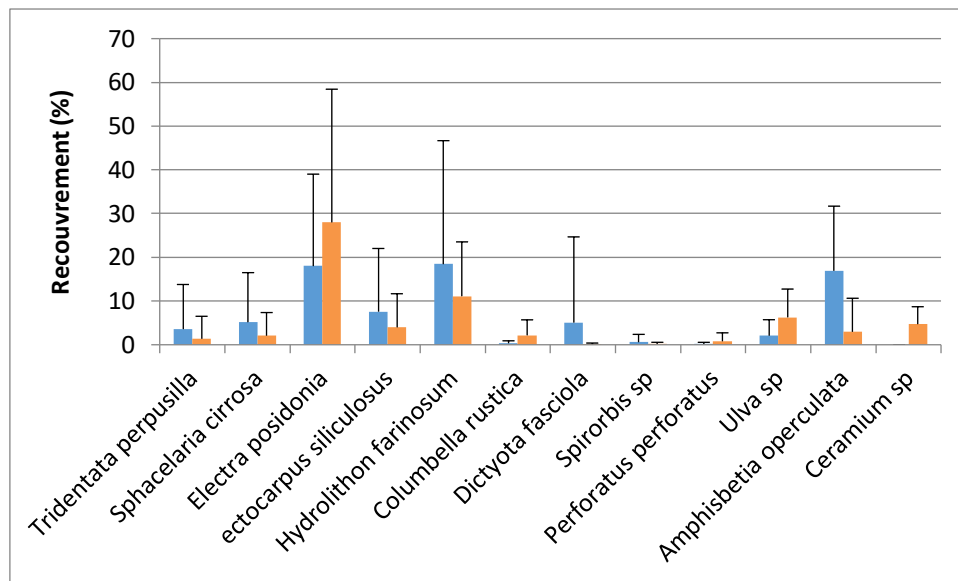


Figure 42 : Taux de recouvrement moyen des épiphytes sur les feuilles de *Posidonia oceanica* globales des sites de Petit Port (bleu) et Hadjadj (orange).

L'analyse synthétique à l'échelle de l'ensemble des feuilles de *Posidonia oceanica* confirme la nette dominance du compartiment animal à Hadjadj, représentée par l'espèce *Electra posidonia* (27,98 %), soit plus du double du recouvrement de la principale espèce végétale, *Hydrolithon farinosum* (11,11 %) (Fig. 42). Les communautés d'algues (*Ulva* sp., *Ceramium* sp. et *Ectocarpus siliculosus*) varient entre 3 % et 7 % de recouvrement global (Fig. 42).

III.2. Charge épiphyte

III.2.1. Charge épiphyte des feuilles adultes

Pour la catégorie des feuilles adultes, qui offrent le substrat plus ancien à la colonisation, les résultats montrent un développement épiphytique nettement plus marqué à Hadjadj qu'à Petit Port (Fig. 40). Au niveau de Hadjadj, la charge épiphytique moyenne s'élève à (0,274 g/g $\pm$ 0,289), avec un écart très important entre les faisceaux puisque les valeurs s'étalent de 0,021 g/g à 0,973 g/g (Fig. 40). En revanche, l'herbier de Petit Port se montre deux fois moins

colonisé, affichant une moyenne de $(0,130 \text{ g/g} \pm 0,110)$ (Fig. 40), pour un maximum qui atteignant $0,414 \text{ g/g}$.

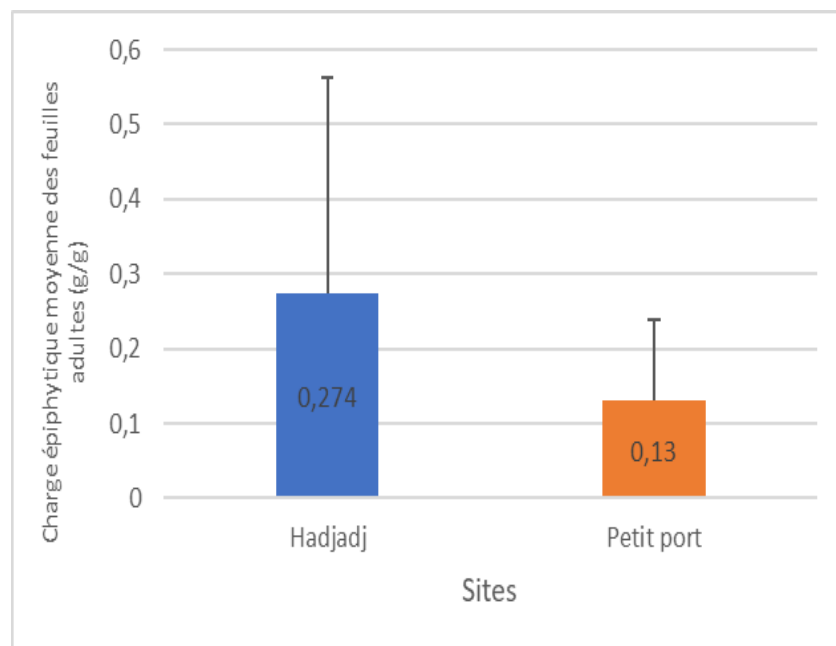


Figure 40 : Charge épiphyte moyenne sur les feuilles adultes de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études.

III.2.2. Charge épiphyte des feuilles intermédiaires

Sur les feuilles intermédiaires, plus jeunes, le taux d'épiphytisme est logiquement plus faible, mais sa supériorité au niveau du site de Hadjadj se confirme (Fig. 41). Les analyses révèlent une valeur moyenne de $(0,145 \text{ g/g} \pm 0,203)$ à Hadjadj, ainsi qu'une valeur moyenne de $(0,027 \text{ g/g} \pm 0,038)$ à Petit Port (Fig. 41).

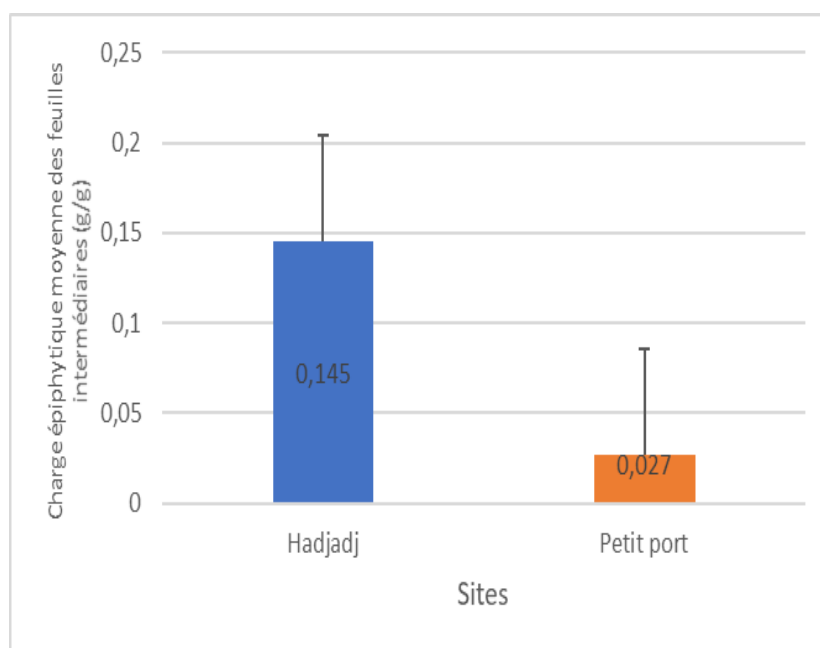


Figure 41 : Charge épiphyte moyenne sur les feuilles intermédiaires de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études.

III.2.3. Charge épiphyte des feuilles globales

La charge épiphytique des feuilles globale de *Posidonia oceanica* montre parfaitement cette disparité géographique entre les deux herbiers (Fig. 42). Le site de Hadjadj se distingue par une charge épiphyte moyenne de $(0,419 \text{ g/g} \pm 0,431)$ (Fig. 42), marquée par des pics de colonisation s'élevant jusqu'à $1,330 \text{ g/g}$. A l'inverse, la charge moyenne épiphyte des feuilles globales de l'herbier de Petit Port ne dépasse pas $(0,153 \text{ g/g} \pm 0,126)$ (Fig. 42), avec des valeurs comprises entre $0,012 \text{ g/g}$ et $0,478 \text{ g/g}$.

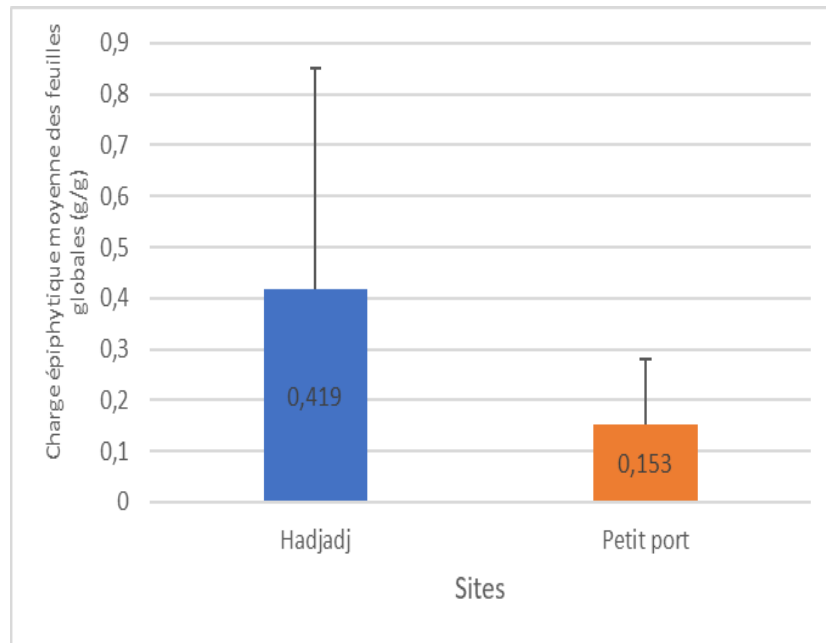


Figure 42 : Charge épiphyte moyenne sur les feuilles globales de *Posidonia oceanica* au niveau des deux sites d'études.

II. Discussion

3.2.1. Nombre moyen de feuilles par faisceau

Le nombre moyen total de feuilles par faisceau est légèrement plus élevé à Hadjadj qu'à Petit Port. Ces valeurs demeurent comprises dans l'intervalle généralement observé dans les herbiers méditerranéens bien conservés, où les faisceaux portent en moyenne entre 5 et 8 feuilles vivantes (Giraud, 1979; Pergent & Pergent-Martini, 1990).

La répartition des catégories foliaires (adulte, intermédiaire, juvénile) révèle cependant une différence entre les deux sites. À Petit Port, les feuilles adultes dominent, tandis qu'à Hadjadj ce sont les feuilles intermédiaires qui sont les plus abondantes. Cette structure peut suggérer un renouvellement foliaire plus actif à Hadjadj, alors qu'une proportion plus forte de feuilles adultes à Petit Port peut traduire une persistance plus marquée des feuilles matures. Selon Ott (1980) ainsi que Pergent et Pergent-Martini (1991), une présence importante de feuilles intermédiaires peut être interprétée comme une activité végétative régulière et d'un renouvellement continu des tissus photosynthétiques.

A l'inverse, les feuilles juvéniles sont faiblement représentées dans les deux localités. Cette situation est cohérente avec le cycle biologique saisonnier de l'espèce lors de l'échantillonnage. A cette période de l'année, la phase de recrutement massif de nouvelles feuilles est achevée et le stade juvénile correspond à une phase de transition rapide avant le passage au stade intermédiaire (Ott, 1980). Le caractère éphémère de ce stade précoce explique sa faible proportion lors de l'échantillonnage. Cette présence discrète traduit une variation de la dynamique foliaire au sein de la station.

Les valeurs obtenues particulièrement celles du site de Hadjadj même légèrement inférieures restent proches de celles rapportées pour plusieurs herbiers de la côte de Mostaganem notamment de Belbachir (2012) et de Belarbi & Kassous (2018) et indiquent que malgré les

contraintes de la frange superficielle, les deux populations étudiées présentent une structure foliaire globalement compatible avec un herbier fonctionnel.

3.2.2. Longueur moyenne des feuilles

Les longueurs moyennes enregistrées dans les deux sites restent dans les limites connues pour les herbiers superficiels méditerranéens (20-80 cm selon la profondeur). Les valeurs maximales proches de 60 cm enregistrées à Petit Port témoignent d'un potentiel de croissance important, caractéristique de la limite supérieure de l'herbier où l'ensoleillement est optimal à 1,5 m de profondeur. Toutefois, l'importante variabilité pourrait suggérer que les conditions de croissance ne sont probablement pas homogènes au sein de cette station, à confirmer par des mesures de paramètres abiotiques. Une telle variabilité biométrique est souvent associée à des variations locales de l'hydrodynamisme, de la turbidité ou de la nature du substrat (Pergent *et al.*, 1995 ; Pergent-Martini *et al.*, 1999).

La comparaison des résultats obtenus à Hadjadj pour ce paramètre avec ceux obtenus par Belbachir (2012) et Belarbi & Kassous (2018), révèle une diminution de la longueur des feuilles de Posidonie. Cette tendance à la baisse au cours de la dernière décennie pourrait traduire une accentuation des pressions anthropiques ou une modification des conditions hydrodynamiques locales à Hadjadj, limitant l'élongation des feuilles.

La longueur des feuilles constitue un paramètre hautement sensible aux conditions du milieu ; elle dépend notamment de la disponibilité lumineuse, de la qualité des eaux, des apports nutritifs et des caractéristiques hydrodynamiques locales (Ott, 1980 ; Duarte, 1991 ; Gobert *et al.*, 2009). Le développement de feuilles plus longues permet d'augmenter la surface photosynthétique globale disponible ; cela peut constituer une réponse adaptative pour compenser certaines contraintes environnementales, telles qu'une diminution de la transparence de l'eau ou une turbidité accrue.

3.2.3. Largeur moyenne des feuilles

Les largeurs foliaires moyennes dans les deux sites demeurent relativement proches des valeurs classiquement décrites pour *Posidonia oceanica*, généralement comprises entre 0,7 et 1,2 cm selon la catégorie d'âge (Giraud, 1979 ; Boudouresque & Meinesz, 1982). Les feuilles des faisceaux récoltés à Hadjadj apparaissent légèrement plus larges que celles de Petit Port pour toutes les catégories d'âge étudiées. Ceci peut être lié à des conditions locales de croissance différentes entre les deux sites, notamment en ce qui concerne l'hydrodynamisme ou la disponibilité en nutriments.

Contrairement à la longueur, la largeur des limbes varie généralement peu chez *P. oceanica* et constitue un caractère morphologique relativement stable. La relative faible variabilité des valeurs observée à Hadjadj par rapport à Petit port pourrait traduire une plus grande homogénéité des conditions écologiques locales (telles que l'éclairage ou le sédiment) dans cette station, mais cette hypothèse nécessiterait d'être confirmée par des mesures complémentaires des paramètres abiotiques. Ce paramètre a gardé presque la même valeur entre les études de 2012, de 2018 et l'actuelle étude (2026) (caractère stable chez *P. oceanica*).

3.2.4. Longueur moyenne des pétioles

Les pétioles présentent des longueurs moyennes relativement proches entre les deux sites. Les valeurs enregistrées demeurent cohérentes avec celles généralement rapportées dans la littérature pour la description morphologique des feuilles adultes de *Posidonia oceanica* (Giraud, 1979), ainsi que pour les herbiers superficiels méditerranéens (Ott, 1980 ; Pergent & Pergent-Martini, 1991). La légère supériorité de la taille des pétioles observée à Petit Port est cohérente avec les longueurs foliaires plus élevées enregistrées dans cette station, ces deux paramètres participant conjointement à l'architecture foliaire du faisceau. À faible profondeur

(1,5 m), où la disponibilité de la lumière est élevée, les pétioles sont généralement plus courts que dans les herbiers plus profonds. L'allongement des structures foliaires observé avec l'augmentation de la profondeur est généralement interprété comme une réponse morphologique favorisant l'optimisation de la capture lumineuse dans des conditions d'éclairement limitées (Ott, 1980 ; Pergent & Pergent-Martini, 1991). En zone superficielle, la similitude des longueurs de pétioles observée entre Hadjadj et Petit Port témoigne ainsi d'un développement structurel conforme aux caractéristiques de la frange supérieure de l'herbier (Giraud, 1979).

3.2.5. Surface foliaire moyenne

La surface foliaire moyenne globale par faisceau est plus élevée à Petit Port qu'à Hadjadj. Cette différence découle directement des longueurs foliaires plus importantes observées dans ce premier site, la largeur du limbe restant un paramètre relativement stable, avec seulement de légères différences entre les deux localités.

La surface foliaire représente un indicateur phénologique majeur de la capacité photosynthétique et de la productivité primaire des herbiers (Ott, 1980 ; Gobert *et al.*, 2009). Une augmentation de cette surface favorise l'interception de la lumière et contribue à l'accroissement de la biomasse végétative ainsi qu'à l'activité métabolique de la plante.

La forte dispersion des valeurs observée à Petit Port suggère que tous les faisceaux ne bénéficient pas des mêmes conditions de croissance. Cette hétérogénéité peut résulter de variations environnementales locales, telles qu'un hydrodynamisme variable, un envasement ponctuel ou des différences dans les caractéristiques physico-chimiques des sédiments (notamment le taux de matière organique ou les conditions d'oxygénation). Lorsqu'elle est associée à d'autres indicateurs écologiques, cette variabilité des paramètres biométriques peut refléter une altération de la qualité du milieu. Les caractéristiques biométriques et

phénologiques de *Posidonia oceanica* sont en effet reconnues comme des indicateurs sensibles de l'état écologique des écosystèmes côtiers méditerranéens et sont largement utilisées dans l'évaluation de la qualité environnementale des herbiers (Pergent et al., 1995 ; Pergent-Martini et al., 2005).

Après comparaisons nos résultats avec ceux de Belbachir (2012) et Belarbi & Kassous (2018), nous constatons que la valeur de ce paramètre a également diminuée, car il dépend directement de la longueur des feuilles (la largeur étant stable).

3.2.6. Coefficient A

Les valeurs du coefficient A dans les deux sites se situent dans les gammes généralement observées dans les herbiers superficiels de *Posidonia oceanica* soumis à un hydrodynamisme modéré à fort (Giraud, 1979 ; Pergent & Pergent-Martini, 1990). Les taux supérieurs à 50 % enregistrés témoignent d'une proportion élevée de feuilles ayant perdu leur apex, ce qui est caractéristique des zones peu profondes où l'action de la houle, les mouvements turbulents de l'eau, ainsi que l'activité de broutage par la faune herbivore (notamment les saupes *Sarpa salpa* et les oursins *Paracentrotus lividus*) peuvent provoquer des cassures fréquentes des extrémités foliaires.

Si l'on examine la structure des feuilles de plus près, nous estimons que l'important taux de feuilles intermédiaires intactes à Hadjadj pourrait s'expliquer par une protection physique potentielle de ces jeunes structures au centre du faisceau, enveloppées par les feuilles adultes périphériques. Cela suggère également un renouvellement foliaire potentiellement actif dans cette station. À l'inverse, la prédominance des feuilles adultes à Petit Port, combinée à un coefficient A légèrement plus faible, pourrait traduire un rythme de renouvellement plus lent et une persistance accrue des feuilles matures. Le coefficient A à Hadjadj est inférieur à celui obtenu par Belbachir (2012) pour le même site.

3.2.7. Fréquence moyenne des apex perdus des feuilles de *Posidonia oceanica* par type de dommage

Les traces de broutage s'avèrent être majoritaires au sein des faisceaux présentant des apex altérés. Les proportions élevées de ce paramètre témoignent d'une activité de consommation par la faune herbivore relativement importante dans les deux herbiers.

L'herbivorie constitue un processus fonctionnel naturel et crucial au sein des écosystèmes à *Posidonia oceanica*, les principaux consommateurs directs des limbes foliaires sont le poisson *Sarpa salpa* ainsi que l'oursin *Paracentrotus lividus* (Boudouresque & Verlaque, 2001). À cet égard, la similitude des taux d'apex broutés par l'oursin observée dans les deux sites suggère une pression de consommation comparable au niveau des deux sites. Toutefois, l'impact de broutage plus élevé à Hadjadj pourrait traduire une densité d'herbivores plus importante au niveau de ce site d'étude.

D'autre part, les apex cassés par usure mécanique sont plus fréquents à Petit Port qu'à Hadjadj. Ce résultat peut être interprété comme la conséquence directe d'un hydrodynamisme local plus prononcé à Petit Port. Les mouvements oscillatoires de la houle et l'action des courants côtiers induisent des forces de friction mécanique qui provoquent la cassure des extrémités des limbes (apex) (Pergent *et al.*, 1995).

3.2.8. Recouvrement

L'analyse de la communauté épiphytique de l'herbier à *Posidonia oceanica* des sites de Hadjadj et de Petit Port met en évidence un peuplement benthique structuré, dominé par le bryzoaire *Electra posidonia* et par des algues corallinacées encroûtantes du genre *Hydrolithon*, ce qui est également signalé par Lepoint *et al.*, (1999). Cette organisation correspond aux schémas écologiques décrits pour les herbiers méditerranéens, où la composition des épiphytes dépend de l'âge des feuilles, des saisons et des conditions

hydrodynamiques locales (Novak, 1984 ; Prado et al., 2008). Les taux de recouvrement observés restent globalement comparables aux niveaux observés dans des herbiers méditerranéens présentant une dynamique épiphytique naturelle (Nesti et al., 2009). La faible représentation des algues filamenteuses opportunistes suggère une eutrophisation limitée (Montefalcone, 2009 ; Giovannetti et al., 2010), sans permettre toutefois de conclure à l'absence totale de perturbation anthropique. La dominance de *Electra posidonia* s'explique par sa spécialisation sur les feuilles de *P. oceanica* et par sa capacité à coloniser durablement ses feuilles âgées (Pardi et al., 2000). De même, les algues corallinacées encroûtantes, notamment *Hydrolithon farinosum*, participent à la structuration des communautés épiphytiques au cours de leur développement (Lepoint et al., 1999). Enfin, les différences entre feuilles adultes et feuilles intermédiaires, ainsi qu'entre Hadjadj et Petit Port, confirment l'influence conjointe de la phénologie de la plante et des conditions environnementales locales sur l'organisation de la communauté épiphytique (Cebrián et al., 1999 ; Prado et al., 2008).

3.2.9. Charge épiphyte moyenne

La charge épiphytique des feuilles globale s'avère près de trois fois plus élevée à Hadjadj qu'à Petit Port. Malgré cette différence quantitative, les valeurs restent très faibles dans les deux sites. Il convient également de souligner une forte dispersion des données enregistrée, caractérisée par un écart-type supérieur à la moyenne. Cette hétérogénéité est biologiquement attendue ; elle reflète d'une part le gradient d'âge des feuilles au sein des faisceaux, les limbes adultes périphériques, plus anciens, accumulant une biomasse épiphytique bien plus importante que les feuilles centrales plus jeunes (Cebrian et al., 1999). D'autre part, de potentielles micro-variations environnementales au sein du site pourraient constituer une cause potentielle.

L'herbier de Hadjadj présente néanmoins une colonisation épiphytique plus développée, probablement favorisée par une plus forte disponibilité en nutriments ou par un hydrodynamisme plus faible permettant la fixation et la croissance des organismes épiphytes (Prado *et al.*, 2008). Les épiphytes constituent une composante naturelle des herbiers de *Posidonia oceanica*. Cependant, lorsque leur développement devient excessif, ils réduisent la quantité de lumière atteignant les tissus foliaires et peuvent diminuer les performances photosynthétiques de la plante (Cebrian *et al.*, 1999 ; Ruiz & Romero, 2001).

CONCLUSION

Conclusion

Cette étude portant sur l'état des herbiers de *Posidonia oceanica* des deux sites Hadjadj et Petit Port de la côte de Mostaganem a permis de caractériser leurs vitalités grâce à l'analyse de plusieurs paramètres biométriques et épiphytiques. Les résultats montrent que les deux sites présentent des signes de perturbation, mais de nature différente : La Posidonie du site de Hadjadj se caractérise par des feuilles moins longues et plus larges, un broutage intense et diversifié, ainsi qu'une charge épiphytique élevée, par rapport à celle de Petit Port, ce qui pourrait suggérer un apport local en nutriments (à confirmer par analyses physico-chimiques) et pourrait compromettre la photosynthèse à long terme. Par contre, la Posidonie du site de Petit Port présente des feuilles nettement plus longues, une surface foliaire par faisceau plus grande et un nombre de feuilles intermédiaires nettement plus faible que celui de Hadjadj. Les apex cassés de la Posidonie de Petit Port pourrait principalement résulter de l'action hydrodynamique abrasive. Il est également à signaler que l'importante charge épiphytique est en cohérence avec les niveaux de recouvrement épiphytique observés, indiquant une colonisation plus développée des feuilles par des organismes épiphytes diversifiés.

Les paramètres biométriques des feuilles et ceux épiphytiques constituent de précieux outils de diagnostic écologique des herbiers à *Posidonia oceanica*, et par conséquent fournissent des données qui donne à la Posidonie le statut de sentinelle naturelle de la qualité des eaux côtières. Nos résultats mettent en évidence l'existence des pressions environnementales sur les herbiers des deux sites étudiés et soulignent la nécessité d'un suivi régulier de ces écosystèmes côtiers.

Pour approfondir ce travail de surveillance environnementale de la côte de Mostaganem, deux perspectives de recherche peuvent être envisagées :

- Réaliser un suivi à long terme des herbiers de Posidonie, au niveau de différentes stations, afin de distinguer la fluctuation des paramètres phénologique et déceler les perturbations liées aux activités anthropiques.
- Effectuer des mesures régulières de la qualité de l'eau (nutriments, turbidité, température) afin de mieux comprendre la dynamique des herbiers.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

Aires, T., Marbà, N., Cunha, R. L., Kendrick, G. A., Walker, D. I., Serrão, E. A., & Arnaud-Haond, S. (2011). Evolutionary history of the seagrass genus *Posidonia*. *Marine Ecology Progress Series*, **421**: 117-130.

Alcoverro, T., Cerbian, E., Ballesteros, E. (2001). The photosynthetic capacity of the seagrass *Posidonia oceanica*: Influence of nitrogen and light. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **261**: 107-120.

Ballesta, L., Pergent, G., Pasqualini, V., & Pergent-Martini, C. (2000). Distribution and dynamics of *Posidonia oceanica* beds along the Albères coastline. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series III- Sciences de la Vie*, **323(4)**: 407-414.

Belarbi & Kassous (2018). Contribution à l'étude de quelques paramètres phénologiques de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) 1813 Delile de la localité de Hadjadj (Mostaganem), Mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem, Algérie.

Belbachir, N. E. (2012). *Contribution à l'étude écologique de l'herbier à Posidonia oceanica (L.) Delile (1813) de la frange côtière de Mostaganem : Etat de santé et relation entre plante et échinoderme*. Mémoire de magister, Université Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem, Algérie. 178 p.

Belbachir, N. (2018). *Rôle des Holothuries aspidochiotes dans le fonctionnement du réseau trophique de l'écosystème à Posidonia oceanica (L.) Delile (1813) de la frange côtière de Mostaganem*. Thèse de doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem, Algérie.

Belbachir, N. & Mezali, K. (2019). First record of *Posidonia oceanica* flowering and fruiting in the southwestern Mediterranean Sea (Mostaganem, Algeria). *Vie et milieu / Life and Environment*, **69(1)**: 19-24.

Bentaallah, M. (2017). *Contribution to the study of Posidonia oceanica through the West algerian coasts: localisation, characterisation and use for coastal water status assessment*. Doctoral dissertation, Università degli Studi di Milano-Bicocca, Italy.

Bentaallah, M., Baghdadi, D., & Cantasano, N. (2023). Distribution and status of *Posidonia oceanica* meadows on the North-Western coast of Algeria. *Biosystems Diversity*, **31(3)**: 255-260.

Blanc J.J., (1958). Recherche de sédimentologie littorale et sous-marine en Provence occidentale. *Thèse. Fac. Sci. Univ. Paris*. Mason édit., Paris : 1-140.

Bouchher, A., (2015). *Contribution de la biomasse des épiphytes de Posidonia oceanica (L.) Delile 1813 à l'apport de matière organique au substrat de l'herbier. Côte de Mostaganem*. Mémoire de Magister, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem, Algérie.

Boudouresque C.F., Meinesz A., (1982). Découverte de l'herbier de posidonie. *Cahier du Parc National de Port-Cros, Fr.*, **4**: 1-79.

Boudouresque, C. F., (2004). Marine biodiversity in the Mediterranean: Status of species, populations and communities. *Scientific Reports of Port-Cros National Park*, **20**: 97-146.

Boudouresque, C. F., & Jeudy de Grissac, A. (1983). L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée : les interactions entre la plante et le sédiment. *Journal de recherche océanographique*, **8(2-3)**: 99-122.

Boudouresque, C. F., & Verlaque, M. (2001). Ecology of *Paracentrotus lividus*. In *Developments in aquaculture and fisheries science* (Vol. 32, pp. 177-216). Elsevier.

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 pub. 1-202). GIS Posidonie.

Boudouresque, C. F., Bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel, E., Diviacco, G., Meinesz, A., Pergent, G., Pergent-Martini, C., Ruitton, S., & Tunesi, L. (2009a). *Méthodes de suivi des herbiers à Posidonia oceanica*. RAMOGE & RAC/SPA.

Boudouresque, C. F., Bernard, G., Pergent, G., Shili, A., & Verlaque, M. (2009b). Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review. *Botanica marina*, **52(5)**: 395-418.

Boudouresque, C. F., Bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel, E., Diviacco, G., Meinesz, A., Pergent, G., Pergent-Martini, C., Ruitton, S., & Tunesi, L. (2012a). Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. Rapport RAMOGE & RAC/SPA, 1-202.

Boudouresque, C. F., Bernard, G., Pergent, G., Shili, A., & Verlaque, M. (2012b). Regression of *Posidonia oceanica* meadows: Natural phenomena or anthropogenic induced? *Oceanologia*, **54(3)**: 383–393.

Boudouresque, C. F., Blanfuné, A., Pergent, G., & Thibaut, T. (2021). Restoration of seagrass meadows in the Mediterranean Sea: A critical review of effectiveness and ethical issues. *Water*, **13(8)**: 1034.

Borum J. (1985). Development of epiphytic communities on eelgrass (*Zostera marina*) along a nutrient gradient in a Danish estuary. *Marine Biology*, **87**, 211–218. Boudouresque C.F. (1968) Contribution à l'étude du peuplement épiphyte des rhizomes de posidonies (*Posidonia oceanica* Delile). *Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume*, **13** : 45–63.

Buia, M.C., Gambi, M.C., & Dappiano, M. (2004). Mediterranean Marine Benthos. *Biologia Marina Mediterranea*, **11**(Suppl. 1), p. 150.

Caye, G. (1980). *Sur la morphogénèse et le cycle végétatif de Posidonia oceanica (L.) Delile*. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille II, France, 121 p.

Cebrian, J., Enríquez, S., Fortes, M., Agawin, N., Vermaat, J. E., & Duarte, C. M. (1999). Epiphyte accrual on *Posidonia oceanica* (L.) Delile leaves: Implications for light absorption. *Botanica Marina*, **42(2)** : 123-128.

Chahrour, F. (2013). *Étude de la vitalité des herbiers à Posidonia oceanica (L.) Delile de la côte occidentale algérienne (Cap Carbon et Ain Franin).* Thèse de doctorat, Université Ahmed Ben Bella - Oran 1, Algérie. 169 p.

Chahrour, F., Boumaza, S., Semroud, R., & Boutiba, Z. (2013). Phenology of *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile in the west coast of Algeria. *International Journal of Asian Social Science*, **3(1)**: 240-254.

Dalla Via, J., Sturmbauer, C., Schönweger, G., Sötz, E., Mathekowitsch, S., Stifter, M., & Rieger, R. (1998). Light gradients and meadow structure in *Posidonia oceanica*: Ecomorphological and functional correlates. *Marine Ecology Progress Series*, **163**: 267-278.

Dauby, P., & Poulicek, M. (1995). Methods for removing epiphytes from seagrasses: SEM observations on treated leaves. *Aquatic Botany*, **52(3)** : 217-228.

Den Hartog, C. (1970). The seagrasses of the world. North-Holland Publishing Company, Amsterdam. 275 pp.

Díaz-Almela, E., Marbà, N., & Duarte, C. M. (2007). Consequences of Mediterranean warming events in seagrass (*Posidonia oceanica*) flowering records. *Global Change Biology*, **13(1)**: 224-235.

Díaz-Almela, E., Marba, N., Martínez, R., Santiago, R., & Duarte, C. M. (2009). Seasonal dynamics of *Posidonia oceanica* in Magalluf Bay (Mallorca, Spain): temperature effects on seagrass mortality. *Limnology and Oceanography*, **54(6)**: 2170-2182.

Duarte, C. M. (1991). Seagrass depth limits. *Aquatic botany*, **40(4)**: 363-377.

Duarte, C. M., & Cebrián, J. (1996). The fate of marine autotrophic production. *Limnology and oceanography*, **41(8)**: 1758-1766.

Duarte, C. M., & Chiscano, C. L. (1999). Seagrass biomass and production: a reassessment. *Aquatic botany*, **65(1-4)**: 159-174.

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

Elkalay, K., Frangoulis, C., Skliris, N., Goffart, A., Gobert, S., Lepoint, G., & Hecq, J.H. (2003). A model of the seasonal dynamics of biomass and production of the seagrass *Posidonia oceanica* in the Bay of Calvi (Northwestern Mediterranean). *Ecological Modelling*, **167**: 1-18.

Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M. A., ... & Serrano, O. (2012). Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature geoscience*, **5(7)**: 505-509.

Frankovich T.A., Armitage A.R., Wachnicka A.H., Gaiser E.E., Fourqurean J.W. (2009). Nutrient effects on seagrass epiphyte community structure in Florida Bay. *Journal of Phycology*, **45** : 1010–1020.

- Gacia, E., & Duarte, C. M. (2001).** Sediment retention by a Mediterranean *Posidonia oceanica* meadow: the balance between deposition and resuspension. *Estuarine, coastal and shelf science*, **52(4)**: 505-514.
- Gera, A., Pages, J. F., Romero, J., & Alcoverro, T. (2013).** Combined effects of fragmentation and herbivory on *Posidonia oceanica* seagrass ecosystems. *Journal of ecology*, **101(4)** : 1053-1061.
- Ghellai, M., Bouiadjra, A. B., El, M., Dahloun, L., Megharbi, A., & Bouiadjra, B. B. (2021).** Distribution of phytobenthosis in the presence of an invasive alga *Caulerpa cylindracea* on the Algerian west coast. *Biodiversitas: Journal of Biological Diversity*, **22(12)**: 5644-5653.
- Giovannetti, E., Montefalcone, M., Bianchi, C. N., Morri, C., & Albertelli, G. (2006).** Structural variability of the epiphytic community in a *Posidonia oceanica* meadow (Ligurian Sea, NW Mediterranean). *Biologia Marina Mediterranea*, **13(4)**: 145-148.
- Giovannetti, E., Montefalcone, M., Morri, C., Bianchi, C. N., & Albertelli, G. (2010).** Early warning response of *Posidonia oceanica* epiphyte community to environmental alterations (Ligurian Sea, NW Mediterranean). *Marine Pollution Bulletin*, **60(7)** : 1031-1039.
- Giraud, G. (1977).** Essai de classement des herbiers de *Posidonia oceanica* (Linné) Delile, *Botanica Marina*, **20(8)** : 487-491.
- Giraud, G. (1979a).** Sur une méthode de mesure et de comptage des structures foliaires de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Bulletin du Musée d'Histoire Naturelle de Marseille*, **39** : 33-39.
- Giraud, G. (1979b).** *Analyse de structures et de paramètres foliaires de l'herbier de Posidonioceanica (L.) Delile* [Thèse de doctorat de 3ème cycle]. Université d'Aix-Marseille II.
- GIS Posidonie (2013).** *Guide technique pour le suivi de la limite supérieure des herbiers*(Rapport technique). GIS Posidonie
- Gobert, S., Cambridge, M. L., Velimirov, B., Pergent, G., Lepoint, G., Bouquegneau, J.-M., Dauby, P., Pergent-Martini, C., & Walker, D. (2006).** Biology of *Posidonia*. In A. W. D. Larkum, R. J. Orth, & C. M. Duarte (Eds.), *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation* (pp. 387–408). Springer.
- Gobert, S., Sartoretto, S., Rico-Raimondino, V., Andral, B., Chery, A., Lejeune, P., & Boissery, P. (2009).** Assessment of the ecological status of Mediterranean French coastal waters as required by the Water Framework Directive using the *Posidonia oceanica* Rapid Easy Index: PREI. *Marine Pollution Bulletin*, **58(11)**: 1727-1733.
- Hemminga, M. A., & Duarte, C. M. (2000).** *Seagrass ecology*. Cambridge University Press.
- Infantes, E., Orfila, A., Simarro, G., Terrados, J., Luhar, M., & Nepf, H. (2012).** Effect of a seagrass (*Posidonia oceanica*) meadow on wave propagation. *Marine Ecology Progress Series*, **456**: 63-72.

- Jacquemart, J., & Demoulin, V. (2006).** Inventaire des macroalgues épiphytes des feuilles de *Posidonia oceanica* (L.) Delile dans la Baie de la Revellata (Calvi, Corse). *Lejeunia, Revue de Botanique*, **181**: 571–644.
- Jeudy de Grissac (1985).** Etude préliminaire des banquettes de feuilles mortes de *Posidonioceanica* de la région de Marseille (France).
- Jeudy De Grissac A., & Boudouresque C.F., (1985).** Rôle des herbiers de Phanérogames marines dans les mouvements de sédiments côtiers : les herbiers à *Posidonioceanica*. *Colloque franco-japonais d'Océanographie*, Marseille, Fr., **1**: 143-151.
- Jordà, G., Marbà, N. & Duarte, C. M. (2012).** Mediterranean seagrass vulnerable to regional climate warming. *Nature climate change*, **2(11)**: 821-824.
- Koopmans, D., Holtappels, M., Chennu, A., Weber, M., & De Beer, D. (2020).** High net primary production of Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows determined with aquatic eddy covariance. *Frontiers in Marine Science*, **7**: 118.
- Lee, H., Golicz, A. A., Bayer, P. E., Jiao, Y., Tang, H., Paterson, A. H., ... & Edwards, D. (2016).** The genome of a southern hemisphere seagrass species (*Zostera muelleri*). *Plant physiology*, **172(1)**: 272-283.
- Leoni, V., Vela, A., Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., & Pergent, G. (2007).** Effects of experimental reduction of light on *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **349(2)**: 244-258.
- Lepoint, G., Havelange, S., Gobert, S., & Bouquegneau, J. M. (1999).** Fauna vs flora contribution to the leaf epiphytes biomass in a *Posidonia oceanica* seagrass bed (Revellata Bay, Corsica). *Hydrobiologia*, **394** : 63-67.
- Les, D. H., Cleland, M.A., & Waycott, M.A. (1997).** Phylogenetic studies in Alismatidae, II: Evolution of marine angiosperms (seagrasses) and hydrophily. *Systematic Botany*, **22(3)**: 443–463.
- Ma, X., Vanneste, S., Chang, J., Ambrosino, L., Barry, K., Bayer, T., & Van de Peer, Y. (2024).** Seagrass genomes reveal ancient polyploidy and adaptations to the marine environment. *Nature plants*, **10(2)**: 240-255.
- Marbà, N., Duarte, C. M., Cebrián, J., Gallegos, M. E., Olesen, B., & Sand-Jensen, K. (1996).** Growth and population dynamics of *Posidonia oceanica* on the Spanish Mediterranean coast: elucidating seagrass decline. *Marine Ecology Progress Series*, **137**: 203-213.
- Marbà, N., Díaz-Almela, E., & Duarte, C. M. (2014).** Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) loss between 1842 and 2009. *Biological Conservation*, **176**: 183-190.
- Marbà, N., Jordà, G., Agustí, S., & Duarte, C. M. (2016).** Footprints of climate change on Mediterranean Sea biota. *Frontiers in Marine Science*, **3**, Article 56
- Mateo, M. A., Romero J., Perez M., Littler M. M., & Littler D. S. (1997).** Dynamics of millenary organic deposits resulting from growth of the mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **44(1)**: 103-110.

- Mayot, N., Boudouresque, C. F., & Leriche, A. (2005).** Unexpected response of the seagrass *Posidonia oceanica* to a warm-water episode in the North Western Mediterranean Sea. *Comptes Rendus. Biologies*, **328(3)**: 291-296.
- Molinier, R., & Picard, J. (1952).** Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Annales de l'Institut Océanographique*, **27(3)**: 157-234.
- Montefalcone, M. (2009).** Ecosystem health assessment using the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: a review. *Ecological indicators*, **9(4)**: 595-604.
- Nesti, U., Piazzzi, L., & Balata, D. (2009).** Variability in the structure of epiphytic assemblages of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* in relation to depth. *Marine Ecology*, **30(3)** : 276-287.
- Novak, R. (1984).** A study in ultra-ecology: microorganisms on the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Marine Ecology*, **5(2)** : 143-190.
- Olsen, J. L., Rouzé, P., Verhelst, B., Lin, Y. C., Bayer, T., Collen, J., & Van de Peer, Y. (2016).** The genome of the seagrass *Zostera marina* reveals angiosperm adaptation to the sea. *Nature*, **530**: 331-335.
- Orth, R. J., Carruthers, T. J., 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)**: 987-996.
- Ott, J. A. (1980).** Growth and production in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Marine Ecology*, **1(1)**: 47-64.
- Panayotidis, P., & Giraud, G. (1981).** Sur un cycle de renouvellement des feuilles de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile dans le golfe de Marseille. *Vie et Milieu/Life & Environment*, **31** :129-136.
- Pérès, J. M., & Picard, J. (1964).** *Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée*. Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume, Marseille.
- Pergent, G., & Pergent-Martini, C. (1990).** Some applications of lepidochronological analysis in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Botanica Marina*, **33(4)**: 299-310.
- Pergent G., Pergent-Martini C., (1991).** Leaf renewal cycle and primary production of *Posidonia oceanica* in the bay of Lacco Ameno (Ischia, Italy) using lepidochronological analysis. *Aquatic Botany*, **42(1)**: 49-66.
- Pergent G., Rico-Raimondino V., Pergent-Martini C., (1994).** Primary production of *Posidonia oceanica* in the Mediterranean basin. *Marine Biology*, **120**: 9-15.
- 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 : état des connaissances. *Mésogée (Marseille)*, **54**: 3-27.

- Pergent, G., Bazairi, H., Bianchi, C. N., Boudouresque, C. F., Buia, M. C., Calvo, S., ... & Verlaque, M. (2014).** Climate change and Mediterranean seagrass meadows: A synopsis for environmental managers. *Mediterranean Marine Science*, **15**(2): 462-473.
- Pergent-Martini, C., Leoni, V., Pasqualini, V., Ardizzzone, G. D., Balestri, E., Bedini, R., & Velimirov, B. (2005).** Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: use and application. *Ecological indicators*, **5**(3): 213-230.
- Pergent-Martini, C., & Le Ravallec, C. (2007).** *Lignes directrices pour les études d'impacts sur les herbiers marins*. Rapport PNUE. CAR/ASP éd., p. 1-39.
- Pergent-Martini, C., Pergent, G., Monnier, B., Boudouresque, C. F., Mori, C., & Valette-Sansevin, A. (2021).** Contribution of *Posidonia oceanica* meadows in the context of climate change mitigation in the Mediterranean Sea. *Marine Environmental Research*, **165**: 105236.
- Piazzì, L., Balata, D., & Ceccherelli, G. (2016).** Epiphyte assemblages of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: an overview. *Marine Ecology*, **37**(1): 3–41.
- Prado, P., Tomas, F., Alcoverro, T., & Romero, J. (2007).** Extensive direct measurements of *Posidonia oceanica* defoliation confirm the importance of herbivory in temperate seagrass meadows. *Marine Ecology Progress Series*, **340** : 63-71.
- Prado, P., Alcoverro, T., & Romero, J. (2008).** Seasonal response of *Posidonia oceanica* epiphyte assemblages to nutrient increase. *Marine Ecology Progress Series*, **359**: 89-98.
- Richir, J., Lejeune, L., Lepoint, G., Das, K., & Gobert, S. (2015).** The spatial variability of trace element bioaccumulation processes: Tools to environmental management. In *5th Annual World Congress of Marine Biotechnology (WCMB)*.
- Rittmann A., (1930).** Geologie der Insel Ischia. *Reimer edit.*, Berlin.1-265.
- Romero, J., Pergent, G., Pérez, M., Pergent-Martini, C., Alcoverro, T., y Royo, C. L., & Sanmartí, N. (2007).** Mise en cohérence, développement, harmonisation et validation de méthodes d'évaluation de la qualité du milieu littoral par le suivi de l'herbier de *Posidonia oceanica*. *Final Report–Sub-project: Bioindicators. Programme INTERREG» Posidonia*, 1-59.
- Ruiz, J. M., & Romero, J. (2001).** Effects of in situ experimental shading on the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Ecology Progress Series*, **215**, 107–120.
- Ruiz, J. M., & Romero, J. (2003).** Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Pollution Bulletin*. **46**(12): 1523-1533.
- Sánchez-Lizaso, J. L., Romero, J., Ruiz, J. M., Gacia, E., Buceta, J. L., Invers, O., Fernández-Torquemada, Y., Mas, J., Ruiz-Mateo, A., & Manzanera, M. (2008).** Salinity tolerance of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: Recommendations to minimize the impact of brine discharges from desalination plants. *Journal of Coastal Research*, **24**(1): 191–202.

- Saporta, G., & Marion, A. F. (1878).** Révision de la flore heersienne de Gelinden. Mémoires Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique, **41**: 1-108.
- Simeone, S., & De Falco, G. (2012).** Morphology and composition of beach-cast *Posidonia oceanica* litter on beaches with different exposures. *Geomorphology*, **151**: 224-233.
- SPA/RAC. (2023).** *Guidelines for marine meadows conservation in the MEDS region*. RAC-SPA, Tunis.
- Stipcich, P., Guala, I., La Manna, G., Merella, M. M., Pansini, A., Vargiu, R., Frascchetti, S., & Ceccherelli, G. (2024).** How the seagrass *Posidonia oceanica* flowering will benefit from climate change. *Marine Pollution Bulletin*, **206** : Article 116721.
- Stockmans F., (1932).** *Posidonia perforate* Saporta et Marion des marnes de Gélingen (Paléocène). *Bull. Mus. Roy. Hist. nat. Belgique*, **8 (27)**: 1-9.
- Telesca, L., Belluscio, A., Criscoli, A., Ardizzzone, G., Apostolaki, E. T., Frascchetti, S., ... & Salomidi, M. (2015).** Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change. *Scientific reports*, **5(1)**: 12505.
- Traganos, D., Lee, C. B., Blume, A., Poursanidis, D., Čížmek, H., Deter, J., Poursanidis, D., Topouzelis, K., Mavridou, S., & Reinartz, P. (2022).** Spatially explicit seagrass extent mapping across the entire Mediterranean using Sentinel-2. *Frontiers in Marine Science*, **9**: Article 871799.
- Trautman, D. A., & Borowitzka, M. A. (1999).** Distribution of the epiphytic organisms on *Posidonia australis* and *P. sinuosa*, two seagrasses with differing leaf morphology. *Marine Ecology Progress Series*, **179**: 215-229.
- Vacchi, M., Montefalcone, M., Bianchi, C. N., Morri, C., & Ferrari, M. (2012).** Hydrodynamic constraints to the seaward development of *Posidonia oceanica* meadows. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **97**: 58-65.
- Van der Ben, D. (1971).** Les épiphytes des feuilles de *Posidonia oceanica* Delile sur les côtes françaises de la Méditerranée. *Mémoires de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique*, **168** : 1-101.
- Van Tussenbroek, B. I., Villamil, N., Márquez-Guzmán, J., Wong, R., Monroy-Velázquez, L. V., & Solis-Weiss, V. (2016).** Experimental evidence of pollination in marine flowers by invertebrate fauna. *Nature communications*, **7(1)**: 12980.
- Velimirov, B. (1984).** Grazing of *Sarpa salpa* L. on *Posidonia oceanica* and utilization of soluble compounds. In *International Workshop on Posidonia oceanica beds* (Vol. 1, pp. 381-387). GIS Posidonie Publ. Marseille.
- Wright, J. P., & Jones, C. G. (2006).** The concept of organisms as ecosystem engineers ten years on: progress, limitations, and challenges. *BioScience*, **56(3)**: 203-209.

Sites internet utilisés (sources pour quelques figures) :

<http://maps.google.com/maps>

<https://www.portofino.it>

<https://www.marinespecies.org>

<https://portals.iucn.org>

ANNEXES

Tableau A : Nombre moyen de feuilles de *Posidonia oceanica* par faisceau et par type de feuilles observés au niveau des sites de Hadjadj et Petit Port.

Type de feuille	Site	Nb moyen des feuilles par faisceau	Valeur max	Valeur min
Adulte	Hadjadj	(2,85 ± 0,59)	4	2
	Petit port	(3,35 ± 1,04)	5	2
Intermédiaire	Hadjadj	(3,35 ± 0,49)	4	3
	Petit port	(1,95 ± 1,23)	5	0
Juvénile	Hadjadj	(0,30 ± 0,73)	3	0
	Petit port	(0,15 ± 0,37)	1	0
Globale	Hadjadj	(6,20 ± 0,83)	8	5
	Petit port	(5,30 ± 1,08)	8	4

Tableau B : Longueur moyenne des feuilles de *Posidonia oceanica* par type de feuilles observées au niveau des sites de Hadjadj et Petit port.

Type de feuille	Site	Longueur moyenne des feuilles (cm)	Valeur max	Valeur min
Adulte	Hadjadj	(21,61 ± 5,90)	34,07	12,20
	Petit port	(30,79 ± 13,51)	56,50	10,47
Intermédiaire	Hadjadj	(24,90 ± 5,71)	35,17	14,53
	Petit port	(32,34 ± 15,56)	59,67	5,00
Juvénile	Hadjadj	(3,33 ± 0,88)	4,50	2,50
	Petit port	(3,10 ± 1,23)	4,00	1,70
Globale	Hadjadj	(23,61 ± 4,72)	31,55	14,33
	Petit port	(31,32 ± 13,71)	60,20	12,00

Tableau C : Largeur moyenne des feuilles de *Posidonia oceanica* par type de feuilles observées au niveau des sites de Hadjadj et Petit Port.

Type de feuille	Site	Largueur moyenne des feuilles (cm)	Valeur max	Valeur min
Adulte	Hadjadj	(0,91 ± 0,07)	1,00	0,80
	Petit port	(0,85 ± 0,10)	1,05	0,70
Intermédiaire	Hadjadj	(0,89 ± 0,06)	1,03	0,78
	Petit port	(0,80 ± 0,10)	0,95	0,65
Juvénile	Hadjadj	(0,83 ± 0,10)	0,90	0,70
	Petit port	(0,70 ± 0,10)	0,80	0,60
Globale	Hadjadj	(0,90 ± 0,06)	1,02	0,80
	Petit port	(0,83 ± 0,10)	1,02	0,68

Tableau D : Longueur moyenne des pétioles de *Posidonia oceanica* observées au niveau des sites de Hadjadj et Petit port.

Type de feuille	Site	Longueur moyenne des pétioles (cm)	Valeur max	Valeur min
Adulte	Hadjadj	(3,28 ± 0,49)	4,14	2,33
	Petit port	(3,48 ± 1,26)	5,80	1,67

Tableau E : Surface foliaire moyenne de *Posidonia oceanica* par type de feuilles observées au niveau des sites de Hadjadj et Petit Port.

Type de feuille	Site	Surface foliaire moyenne des feuilles (cm ²)	Valeur max	Valeur min
Adulte	Hadjadj	(56,45 ± 21,77)	108,90	27,80
	Petit port	(89,55 ± 54,30)	203,29	21,98
Intermédiaire	Hadjadj	(73,80 ± 21,82)	133,30	38,96
	Petit port	(66,88 ± 44,41)	161,10	3,50
Juvénile	Hadjadj	(3,94 ± 2,13)	6,80	1,75
	Petit port	(2,16 ± 0,87)	2,88	1,19
Globale	Hadjadj	(130,25 ± 33,39)	192,99	85,80
	Petit port	(146,39 ± 90,95)	324,95	40,50

Tableau F : Coefficient A moyen de *Posidonia oceanica* par type de feuilles observées au niveau des sites de Hadjadj et Petit port.

Type de feuille	Site	Coefficient A moyen (%)	Valeur max	Valeur min
Adulte	Hadjadj	(87,08 ± 31,12)	100,00	0,00
	Petit port	(75,08 ± 29,60)	100,00	0,00
Intermédiaire	Hadjadj	(35,00 ± 25,88)	75,00	0,00
	Petit port	(7,50 ± 19,10)	66,67	0,00
Globale	Hadjadj	(59,04 ± 24,24)	85,71	0,00
	Petit port	(52,33 ± 26,47)	85,71	0,00

Tableau G : Pourcentage moyen des apex perdus (broutés par type d’herbivore et cassés) des feuilles de *Posidonia oceanica* observés au niveau des sites de Hadjadj et Petit Port.

Type de feuille	Site	Pourcentage moyen des apex perdus des feuilles (%)	Valeur max	Valeur min
Apex brouté (a)	Hadjadj	(45 ± 31,14)	100	0,00
	Petit port	(45 ± 38,92)	100	0,00
Apex brouté (b)	Hadjadj	(9 ± 15,09)	50	0,00
	Petit port	(0 ± 0)	0	0,00
Apex brouté (c)	Hadjadj	(13 ± 17,88)	50	0,00
	Petit port	(7 ± 18,69)	67	0,00
Apex brouté (a+b+c)	Hadjadj	(68 ± 32,54)	100	0,00
	Petit port	(55 ± 36,62)	100	0,00
Apex cassé (x)	Hadjadj	(32 ± 32,54)	100	0,00
	Petit port	(43 ± 37,05)	100	0,00

Tableau H : Charge épiphytique moyenne de *Posidonia oceanica* par type de feuilles observées au niveau des sites de Hadjadj et Petit port.

Type de feuille	Site	Charge épiphytique (g/g)	Valeur max	Valeur min
Adulte	Hadjadj	(0,27 ± 0,28)	0,973	0,021
	Petit port	(0,13 ± 0,11)	0,414	0,012
Intermédiaire	Hadjadj	(0,14 ± 0,20)	0,706	0,000
	Petit port	(0,02 ± 0,03)	0,157	0,000
Globale	Hadjadj	(0,41 ± 0,43)	1,330	0,027
	Petit port	(0,15 ± 0,12)	0,478	0,012

Tableau I : Recouvrement moyen des épiphytes de *Posidonia oceanica* par site et type de feuille au niveau des sites de Hadjadj et Petit Port. (A : Adultes ; I : Intermédiaires ; G : Globales).

Site	Type de feuille	<i>Tridentata perpusilla</i>	<i>Sphacelaria cirrosa</i>	<i>Electra posidonia</i>	<i>Ectocarpus siliculosus</i>	<i>Hydrolithon farinosum</i>	<i>Columbella rustica</i>	<i>Dictyota fasciola</i>	<i>Spirorbis sp</i>	<i>Perforatus perforatus</i>	<i>Ulva sp</i>	<i>Amphisbetia operculata</i>	<i>Ceramium sp</i>
Petit Port	A	4,76 ± 11,64	6,50 ± 12,68	23,33 ± 23,26	7,86 ± 15,67	21,20 ± 30,34	0,30 ± 0,49	5,84 ± 21,05	0,65 ± 1,92	0,17 ± 0,39	2,06 ± 3,66	16,90 ± 14,79	0,00 ± 0,00
	I	0,18 ± 0,44	0,98 ± 2,95	6,50 ± 6,77	6,62 ± 10,35	5,71 ± 8,41	0,62 ± 0,83	0,00 ± 0,00	0,28 ± 0,01	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	G	3,59 ± 10,19	5,16 ± 11,33	18,00 ± 21,02	7,57 ± 14,44	18,44 ± 28,23	0,35 ± 0,54	5,06 ± 19,59	0,60 ± 1,77	0,17 ± 0,39	2,06 ± 3,66	16,90 ± 14,79	0,00 ± 0,00
Hadjadj	A	2,23 ± 6,49	3,09 ± 6,49	42,49 ± 33,36	5,19 ± 9,08	12,10 ± 13,38	2,29 ± 4,08	0,03 ± 0,13	0,21 ± 0,50	1,22 ± 2,33	6,65 ± 7,75	5,30 ± 10,12	5,69 ± 4,70
	I	0,00 ± 0,00	0,44 ± 1,76	9,58 ± 10,12	1,95 ± 4,03	9,39 ± 10,73	1,94 ± 2,59	0,16 ± 0,50	0,07 ± 0,15	0,06 ± 0,18	5,84 ± 5,22	0,00 ± 0,00	3,74 ± 3,50
	G	1,36 ± 5,15	2,06 ± 5,31	27,98 ± 30,46	3,97 ± 7,69	11,11 ± 12,41	2,16 ± 3,54	0,08 ± 0,32	0,16 ± 0,40	0,80 ± 1,92	6,27 ± 6,47	2,95 ± 7,69	4,71 ± 3,98