

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



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER

**OPTION : Environnement**

**Thème :**

**VARIABILITE DE L'ABONDANCE DES CELLULES à  
TANIN CHEZ *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile 1813**

Présenté par : **Gasmi Djihad**

Soutenu le 02/12/2019 devant le jury suivant :

<b>M. KACHER MOHAMED</b>	<b>Maître de conférences A (ENSSMAL)</b>	<b>Président</b>
<b>M. SEMROUD RACHID</b>	<b>Professeur (ENSSMAL)</b>	<b>Examineur</b>
<b>M. KABRANE AMINE</b>	<b>Maître assistant A (ENSSMAL)</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mme BOUMAZA SALIMA</b>	<b>Maître de conférences B (ENSSMAL)</b>	<b>Promotrice</b>
<b>Mme SENGOUGA AMINA</b>	<b>Maître assistante B (ENSSMAL)</b>	<b>Co-promotrice</b>
<b>Mlle BOUDEFOUA NESSIMA</b>	<b>Doctorante (ENSSMAL)</b>	<b>Invitée</b>
	<b>Chef de Département (CNRDB)</b>	



## **Remerciements**

Je tiens à remercier M. Kacher Mohamed, M. Semroud Rachid, M. Kabrane Amine et Mlle Boudefoua Nassima pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de juger ce travail.

# Sommaire

Introduction générale.....	1
1. Objectifs de cette étude.....	3
1. Généralités sur les herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> .....	4
1.1. Répartition des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> .....	4
1.2. Caractéristiques biologiques des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> .....	4
1.3. Services écologiques des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> .....	7
1.4. Surveillance des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> .....	7
2. Matériel et méthodes .....	4
2.1. Présentation de la zone d'étude .....	9
2.1.1. Stations de la baie de Bou Ismail.....	9
2.1.2. Station de baie d'Alger .....	12
2.1.3. Stations de la baie de Zemmouri .....	12
2.2. Prélèvement des échantillons.....	13
2.3. Traitement au laboratoire.....	13
2.3.1. Etude des paramètres biométriques .....	13
2.3.2. Dénombrement des cellules à tanin .....	15
2.4. Traitements statistiques .....	17
3. Résultats et discussion .....	18
3.1. Biométrie foliaire.....	18
3.1.1. Longueur des feuilles.....	18
3.1.2. Largeur des feuilles .....	19
3.1.3. Coefficient A .....	20
3.2. Variabilité de l'abondance des cellules à tanin .....	21
3.2.1. Variabilité de l'abondance des cellules à tanin en fonction des rangs d'insertion des feuilles .....	21
3.2.2. Variabilité de l'abondance des cellules à tanin le long du limbe .....	22
3.2.3. Variabilité de l'abondance des cellules à tanin en fonction des stations.....	23
3.2.4. Variabilité de l'abondance des cellules à tanin en fonction du broutage des feuilles .....	24
3.2.5. Variabilité de l'abondance des cellules à tanin en fonction de l'épiphytisme... 25	
Conclusion.....	18
Références bibliographiques.....	28

# Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Schéma récapitulatif des principaux descripteurs de <i>Posidonia oceanica</i> , avec les paramètres mesurés et leurs méthodes d'investigation (d'après PERGENT-MARTINI et al., 2005).....	2
<b>Figure 2.</b> Distribution géographique de <i>Posidonia oceanica</i> (trait rouge). A : Rhône ; B : Pô ; C : Nil (PERGENT et al., 2012).....	4
<b>Figure 3.</b> (a) Structure de <i>Posidonia oceanica</i> et illustration d'une croissance orthotrope devenant plagiotrope; (b) Section verticale dans un herbier à <i>Posidonia oceanica</i> . 1: Feuilles, 2: Rhizome orthotrope, 3: Rhizome plagiotrope, 4 : Racines, 5 : Sédiment, 6 : Matte (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982). .....	5
<b>Figure 6.</b> Localisation et pressions anthropiques sur les stations d'étude dans la baie de Bou Ismail : Cap El Hammouch, Anse de Kouali, Bérard et Tonic. (Google earth, 2019) 10	
<b>Figure 7.</b> Localisation et pressions anthropiques sur les sites de La Madrague, Ain Benian et Rais Hamidou (Google earth, 2019).....	11
<b>Figure 8.</b> Localisation et pressions anthropiques sur les sites Agueli et Delys (Google earth, 2019).....	13
<b>Figure 9.</b> Types de feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> en fonction de leur âge (PERGENT et al., 2008).....	14
<b>Figure 10.</b> Positions des coupes transversales le long des limbes des feuilles adultes et intermédiaires (A : coupe basale ; B : coupe centrale ; C : coupe apicale). .....	16
<b>Figure 11.</b> Longueurs moyennes des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations.....	18
<b>Figure 12.</b> Largeurs moyennes des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations.....	19
<b>Figure 13.</b> Coefficient A des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations. ....	20
<b>Figure 14.</b> Variabilité de l'abondance des cellules à tanin par rangs d'insertion des feuilles. ....	21
<b>Figure 15.</b> Variabilité de l'abondance des cellules à tanin le long du limbe et en fonction des rangs d'insertion des feuilles.....	22
<b>Figure 16.</b> Variabilité moyenne de l'abondance des cellules à tanin par station.....	23
<b>Figure 17.</b> Variabilité de l'abondance des cellules à tanin selon le broutage de feuille par rang d'insertion des feuilles.....	24
<b>Figure 18.</b> Variabilité de l'abondance des cellules à tanin selon l'épiphytisme et par rang. ....	25

# **Introduction générale**

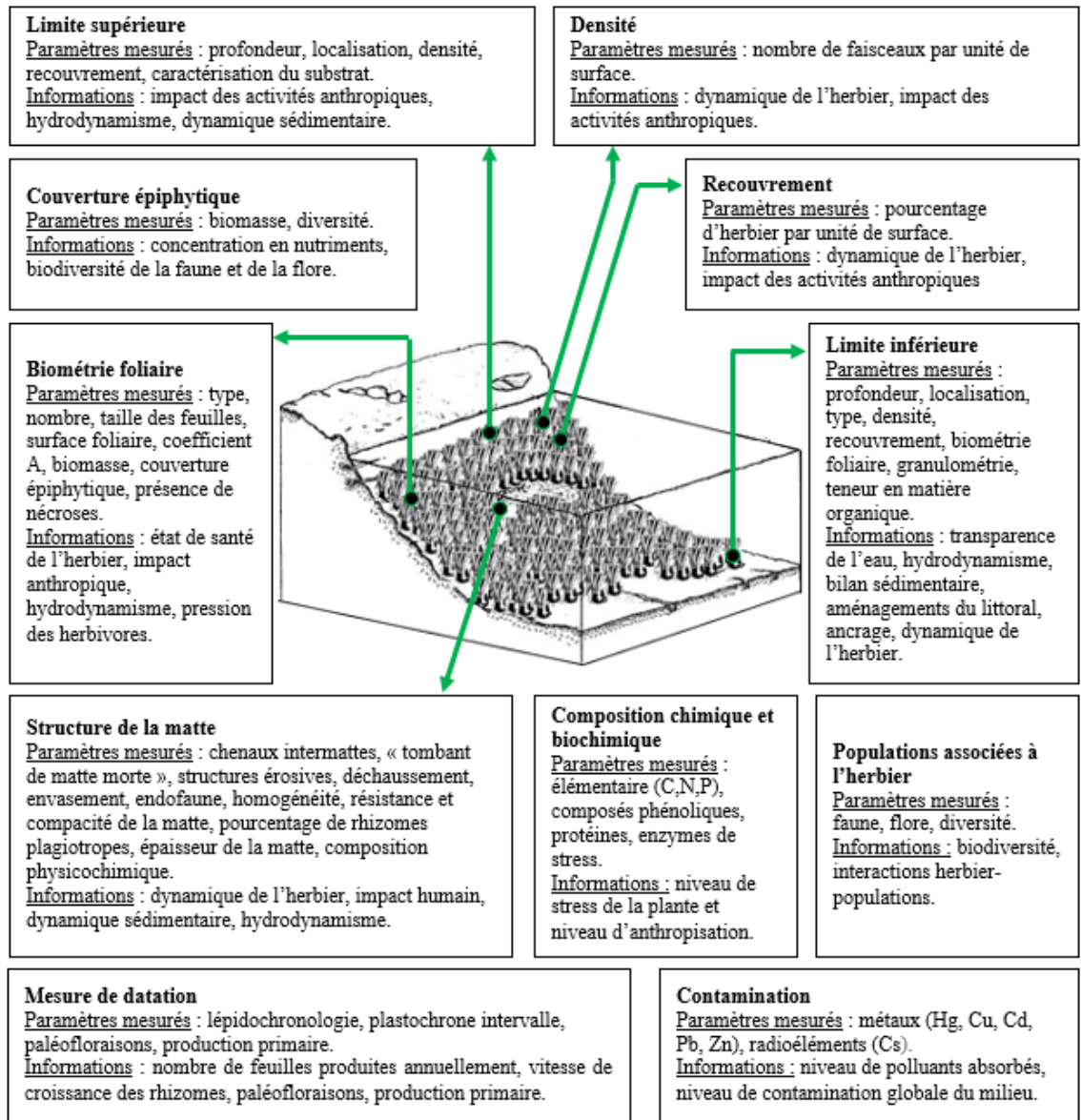
## Introduction générale

Un des grands écosystèmes marins de la planète est la mer Méditerranée, ses caractéristiques lui confèrent une grande importance socio-économique et écologique - qualifiée de « hot spot » en termes de biodiversité (BOUDOURESQUE *et al.*, 2006). Elle englobe des ressources énergétiques, minérales et biologiques, assurant d'importants processus, et fournit donc à l'humanité une grande variété de ressources et de services (BOUDOURESQUE *et al.*, 2006). Cependant, cette mer et les organismes qui y vivent sont simultanément soumis aux pressions anthropiques combinées aux changements climatiques (PERGENT *et al.*, 2012). Le réchauffement climatique, les événements extrêmes, la pollution, la surexploitation des ressources naturelles et la destruction et l'introduction des espèces (DONEY *et al.*, 2012) ont eu des effets directs ou induits qui ont influencé le fonctionnement de ses différents composantes, physiques et biologiques (DONEY *et al.*, 2012).

La surveillance de la qualité de l'environnement marin méditerranéen constitue un enjeu majeur dans le cadre du développement durable. Plusieurs méthodologies ont été testées et développées et que la littérature regroupe en deux catégories complémentaires : l'approche chimique nécessaire pour identifier les causes et l'approche biologique indispensable pour évaluer et prédire la réponse des espèces à un état de stress (BOUDOURESQUE *et al.*, 2006).

La batterie des bioindicateurs marins couramment utilisée est large, elle comprend des espèces végétales et animales (invertébrés et vertébrés), souvent qualifiées de « Biological Quality Elements (BQE) » (LOPEZ YROYO *et al.*, 2010), parmi lesquelles les herbiers à *Posidonia oceanica* sont considérés comme un groupe très représentatif de la santé de la mer méditerranée, en raison de leur large répartition en zone littorale (PASQUALINI *et al.*, 1998), leur capacité à accumuler les polluants (PERGENT-MARTINI et PERGENT, 2000) et leur sensibilité aux agressions liées aux activités humaines (RUIZ et ROMERO, 2003 ; LEONI *et al.*, 2006).

Les descripteurs de *Posidonia oceanica* souvent mesurés concernent tous les niveaux d'organisation des herbiers à *Posidonia oceanica*, depuis la composition biochimique et la physiologie de la plante à la structure de l'ensemble de l'écosystème (Figure 1).



**Figure 1.** Schéma récapitulatif des principaux descripteurs de *Posidonia oceanica*, avec les paramètres mesurés et leurs méthodes d'investigation (d'après PERGENT-MARTINI *et al.*, 2005).

Si les réponses spatiales et morphologiques apportent des informations pertinentes quant à l'impact des paramètres environnementaux, elles ne fournissent que des signaux d'alarme tardifs, et souvent peu spécifiques des perturbations qui les engendrent (FERRAT, 2010). Par conséquent les études s'orientent actuellement vers l'identification et la validation d'indicateurs au niveau cellulaires, physiologiques et biochimiques chez *Posidonia oceanica*, susceptibles de détecter de manière plus précoce, voire plus spécifique l'impact de ces paramètres (FERRAT, 2010).

En outre, parmi les descripteurs cellulaires, les cellules à tanin spécialisées dans la production des composés phénoliques ont été identifiées chez *Posidonia oceanica* (CARRIELO et ZANETTI, 1979 ; COZZA et al., 2004 ; BOUMAZA et al., 2012). La production et l'accumulation de ces composés, principalement en forme de tanins.

Les composés phénoliques forment un groupe hétérogène de métabolites secondaires dont l'élément structural fondamental est la présence d'un noyau benzénique lié à un ou plusieurs groupes hydroxyles, libres ou engagés dans une autre fonction : éther, ester, hétéroside (WATERMAN et MOLE, 1994).

Les Magnoliophytes marines sont riches en divers composés phénoliques, depuis les simples acides phénoliques jusqu'aux grands polymères que sont les tannins condensés et les lignines (ZAPATA et MC MILLAN, 1979).

Les cellules à tanin sont considérées comme des indicateurs de stress qui peuvent être induits par la concurrence intra-spécifique et inter-spécifique (CUNY et al., 1994) ou par des facteurs abiotiques tels que le manque de nutriments, la pollution par les métaux traces (FERRAT, 2001).

## **1. Objectifs de cette étude**

Ce travail s'inscrit dans une démarche relative à l'utilisation des herbiers à *Posidonia oceanica* pour évaluer l'état de santé du milieu marin méditerranéen, et ce, à travers l'étude des différents descripteurs de la vitalité de ces herbiers. Les travaux réalisés font partie d'un Projet de Recherche-Formation Universitaire (PRFU, 2019 code : D00L03ES160920190 001) qui porte sur le développement d'outils de biosurveillance du littoral algérois par l'utilisation des herbiers à *Posidonia oceanica*.

C'est dans cette optique que nous nous sommes attachés au cours de ce travail à établir la relation entre les différents types de stress environnementaux et la production des cellules à tanins chez *Posidonia oceanica*, qui semble être l'une des réponses que présente cette plante face aux perturbations du milieu. Pour ce faire, neuf (09) stations réparties le long du littoral algérois et soumises à différents types de pressions anthropiques ont été étudiées.

**Généralités sur les  
herbiers à *Posidonia*  
*oceanica***

# 1. Généralités sur les herbiers à *Posidonia oceanica*

## 1.1. Répartition des herbiers à *Posidonia oceanica*

Les herbiers à *Posidonia oceanica* colonisent la majeure partie des côtes européennes et nord-africaines, à l'exception du secteur de Gibraltar, des zones soumises à l'influence des grands fleuves (Pô, Rhône, Nil) et du littoral sud-est du bassin oriental (GOBERT *et al.*, 2006) (Figure 2). Les herbiers s'étendent depuis la surface jusqu'à des fonds, pouvant se situer autour de 40 m et se développent aussi bien sur des substrats meubles que sur des substrats durs (BOUDOURESQUE *et al.*, 2006. La profondeur de l'extension bathymétrique maximale des herbiers à *Posidonia oceanica* marque la limite entre les étages infralittoral et circalittoral, et est généralement liée à la transparence de l'eau (BOUDOURESQUE *et al.*, 2006) ou à l'hydrodynamisme (VACCHI *et al.*, 2012). La surface occupée par les herbiers, en Méditerranée, est estimée entre 2,5 et 4,5 millions d'hectares, soit 23 % des fonds compris entre 0 et 50 m de profondeur (PASQUALINI *et al.*, 1998).

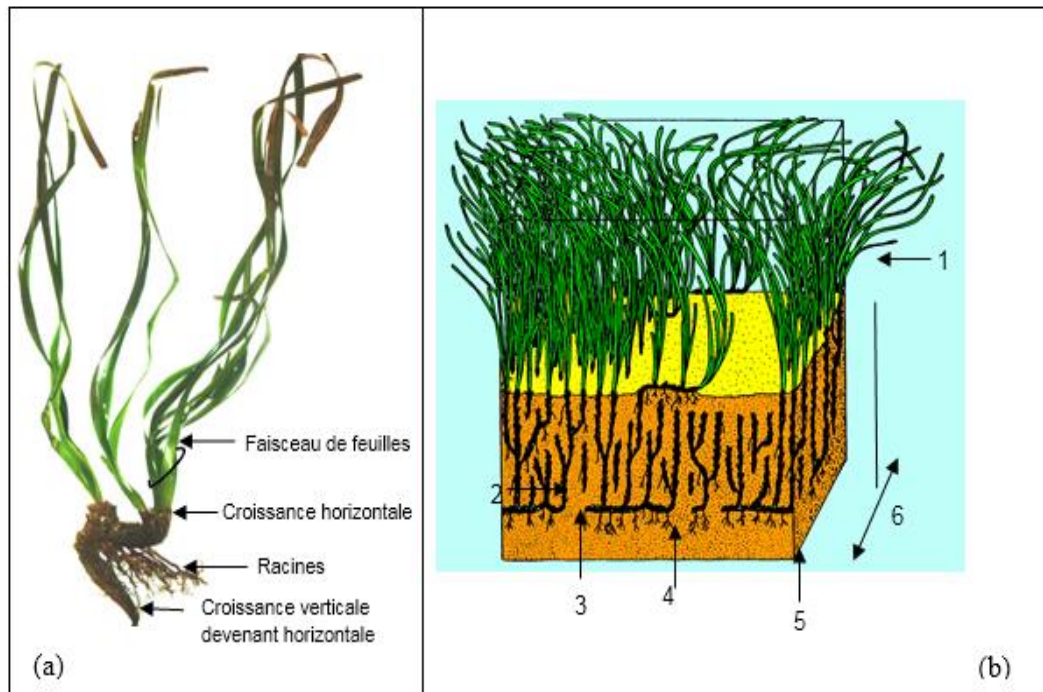


**Figure 1.** Distribution géographique de *Posidonia oceanica* (trait rouge). A : Rhône ; B : Pô ; C : Nil (PERGENT *et al.*, 2012).

## 1.2. Caractéristiques biologiques des herbiers à *Posidonia oceanica*

Les herbiers à *Posidonia oceanica* se développent à la fois verticalement (compétition pour l'accès de la lumière : rhizomes orthotropes) et horizontalement (compétition pour l'espace : rhizomes plagiotropes) (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982). En outre, les rhizomes plagiotropes peuvent se transformer en rhizomes orthotropes

et réciproquement, et ce, en fonction de l'espace disponible et de la lumière (CAYE, 1989) (Figure 3a). La pérennité des rhizomes permet l'édification d'une structure relativement solide et cohésive dénommée « matte », qui correspond à l'enchevêtrement des rhizomes et des racines, plus ou moins colmatés par les sédiments (Figure 3b) (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982).

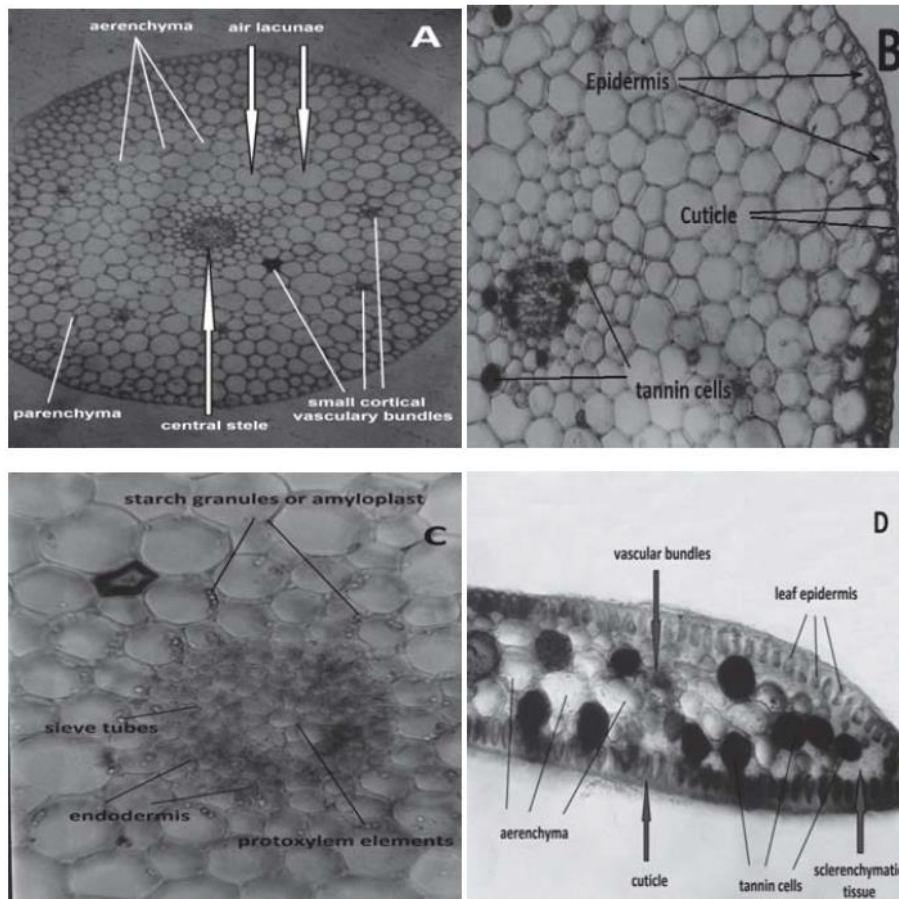


**Figure 2.** (a) Structure de *Posidonia oceanica* et illustration d'une croissance orthotrope devenant plagiotrope; (b) Section verticale dans un herbier à *Posidonia oceanica*. 1: Feuilles, 2: Rhizome orthotrope, 3: Rhizome plagiotrope, 4 : Racines, 5 : Sédiment, 6 : Matte (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982).

Les feuilles de *Posidonia oceanica* sont rubanées de 40 à 140 cm de longueur et de 7 à 11 mm de largeur ; elles sont regroupées en faisceaux de 4 à 8 feuilles environ (Figure 3a). Quand les feuilles de *Posidonia oceanica* meurent, le limbe se détache et tombe, alors que sa base foliaire appelée pétiole reste rattachée au rhizome ; elle est alors désignée sous le nom d'« écaille ». Les « écailles » peuvent persister plusieurs siècles au sein de la matte, car elles sont peu putrescibles (Figure 3b) (GOBERT *et al.*, 2006).

L'examen de la structure anatomique de *Posidonia oceanica* au niveau des coupes transversales des rhizomes montre un épiderme recouvert d'une cuticule, sous laquelle se trouve une couche compacte de cellules parenchymateuses qui deviennent plus petites vers le centre. Le tissu parenchymateux renferme les cellules d'aérenchyme, en plus de zones

lacunaires au niveau du centre. De l'extérieur vers l'intérieur, les cellules deviennent plus larges et certaines d'entre elles contiennent de l'amidon ou des tanins. Les parois des cellules épidermiques sont souvent épaissies et lignifiées (Figure 4 A-B).



**Figure 3.** Coupe transversale au niveau du rhizome (A-B), du centre de la feuille montrant le système vasculaire (C) et du limbe (D) (DURAL *et al.* 2013).

Quant à l'épiderme des feuilles de *Posidonia oceanica*, il montre que la surface externe est recouverte d'une cuticule localisée entre les cellules épidermiques contenant des chloroplastes (Figure 4C-D). Les cellules du mésophylle contiennent de nombreuses cellules à tanin et la taille des cellules qui composent l'aérenchyme augmente vers le centre. Immédiatement après l'épiderme des paquets de cellules de sclérenchyme sont observés sur les côtés jusqu'aux extrémités des coupes (DURAL *et al.*, 2013).

### 1.3. Services écologiques des herbiers à *Posidonia oceanica*

Les herbiers à *Posidonia oceanica* comme la majeure partie des peuplements édifiés par les Magnoliophytes marines offrent de nombreux services :

- Ils constituent à la fois une zone de nutrition, de reproduction (frayère et nurserie), et de recrutement mais aussi un abri pour de nombreuses espèces, dont certaines à forte valeur commerciale (BOUDOURESQUE *et al.*, 2006).
- Ils sont considérés comme les écosystèmes les plus productifs de la Méditerranée, avec une production totale estimée entre 60 et 705 g C m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>, dont 6 à 50 % de cette dernière est exportée vers d'autres écosystèmes où elle constitue la base de nombreux réseaux trophiques littoraux (PERGENT *et al.*, 2012).
- Ils produisent une importante quantité d'oxygène et constituent de ce fait un important facteur d'oxygénation de l'eau et du sédiment (BAY, 1978).
- Ils constituent une barrière qui atténue l'énergie cinétique des particules, qui se déposent plus rapidement, et contribuent ainsi à améliorer la clarté de l'eau, à réduire l'hydrodynamisme et donc à protéger les côtes de l'érosion (JEUDY de GRISSAC et BOUDOURESQUE, 1985 ; TERRADOS et DUARTE, 2000).
- Ils constituent de puissants intégrateurs de la qualité globale des eaux marines en raison de (i) leur sensibilité à la pollution et aux nuisances engendrées par l'activité humaine (PERGENT *et al.*, 1995), (ii) leur large distribution sur tout le littoral méditerranéen, (iii) leur facilité d'identification, (iv) leur simplicité de récolte, (v) leur sédentarité, (vi) leur exposition à la pollution côtière (PERGENT-MARTINI *et al.*, 2005), (vii) et leur forte longévité (SEMROUD, 1993).

### 1.4. Surveillance des herbiers à *Posidonia oceanica*

L'aptitude de l'herbier à enregistrer les conditions ambiantes du milieu peut se mesurer à différents niveaux : (i) la position de sa limite inférieure qui est souvent considérée comme un indice de la qualité et de la transparence des eaux (BOUDOURESQUE *et al.*, 2006), (ii) la biométrie foliaire peut apporter des renseignements sur la qualité globale de l'eau (MAGGI *et al.*, 1977), (iii) la biomasse des épiphytes des feuilles qui peut témoigner quant à elle de la richesse de l'eau en nutriments (LEONI *et al.*, 2006), (iv) la lépidochronologie qui permet de détecter et de dater des événements chimiques anciens enregistrés dans les écailles (PERGENT *et al.*, 1989), de refléter la turbidité et la température de l'eau et le

taux de sédimentation (BOUDOURESQUE *et al.*, 2006), (v) l'abondance des cellules à tanin, cellules spécialisées dans la production des composés phénoliques (CARRIELLO et ZANETTI, 1979) est considérée comme un indicateur de stress de la plante.

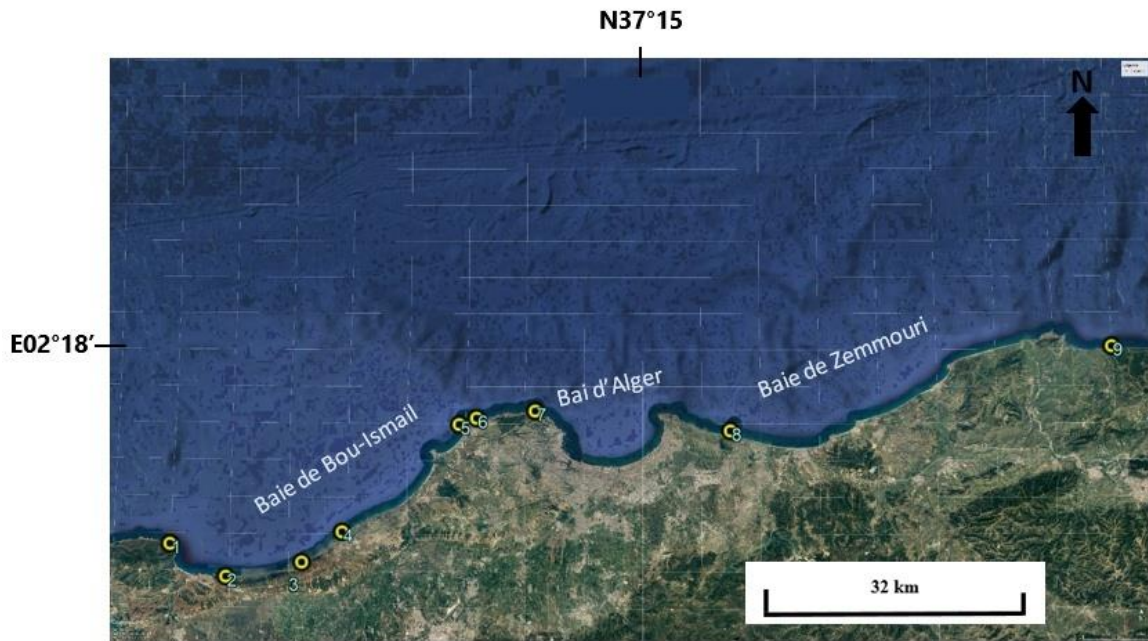
En effet, l'élaboration de ces cellules semble être influencée dans certains cas par des facteurs externes tels que la pollution (AGOSTINI *et al.*, 1998; COZZA *et al.*, 2004 ; BOUDOURESQUE *et al.*, 2012) et lors de la compétition de *Posidonia oceanica* avec les algues invasives *Caulerpa racemosa var. cylindracea* (CUNY *et al.*, 1994 ; DE VILLELE et VERLAQUE, 1995 ; DUMAY *et al.*, 2004).

# **Matériel et méthodes**

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Présentation de la zone d'étude

Notre zone d'étude s'étend de l'ouest jusqu'à l'est de la zone côtière algéroise et au niveau de laquelle nous avons sélectionné 9 stations réparties dans les baies de Bou Ismaïl, d'Alger et de Zemmouri (Figure 5). Les herbiers à *Posidonia oceanica* de ces stations font l'objet d'un suivi depuis 2011, par l'équipe Environnement et Ecosystèmes Côtiers dirigé par le professeur Semroud Rachid.



**Figure 4.** Localisation des 9 sites d'étude au niveau du littoral algérois (1 : Cap El Hamouch, 2 : Kouali, 3 : Bérard, 4 : Bou Ismail, 5 : La Madrague, 6 : Ain Benian, 7 : Rais Hamidou, 8 : Agueli, 9 : Dellys) (Google earth, 2019)

#### 2.1.1. Stations de la baie de Bou Ismaïl

**CapEl Hammouch (CH) ( $36^{\circ}38.222'N2^{\circ} 23.985'E$ )**(Figure 6)

Cette station se situe à l'ouest de la commune de Tipasa, au pied du mont Chenoua et à l'extrémité ouest de la baie de Bou Ismaïl. La région est caractérisée par une agriculture pratiquée sur la frange littorale et une urbanisation anarchique, sans oublier les rejets des eaux usées évacués en mer, l'extraction de sable de plage et la pêche représentant des pressions qui menacent l'environnement marin de la région (PNUE/PAM/CAR PAP, 2006). Le volume des eaux usées rejetées en mer au niveau de la commune de Tipasa est

de 8 209 m<sup>3</sup> par jour) MRE/DEAH/CTB, 2012), de même au niveau de la localité de Chenoua, où plusieurs rejets sont également dénombrés (CNL-Tipasa, 2015).



**Figure 5.** Localisation et pressions anthropiques sur les stations d'étude dans la baie de Bou Ismaïl : Cap El Hammouch, Anse de Kouali, Bérard et Tonic. (Google earth, 2019)

**Kouali (AK) (36°35.585'N 2° 29.699'E)** (Figure 6)

Cette station se situe à l'est de la commune de Tipasa, elle est caractérisée par une activité humaine peu importante marquée essentiellement par l'occupation saisonnière des lieux pour la baignade. Ce secteur est représentatif du territoire côtier le moins urbanisé et le moins développé de la baie de Bou Ismaïl, d'ailleurs, l'ensemble Mont Chenoua-anses de Kouali a été retenu par les autorités algériennes chargées de l'environnement pour bénéficier du statut d'Aire Marine et Côtière Protégée (SEMROUD *et al.*, 1971 ; MANGOS et CLAUDOT, 2013).

En outre, cette station est caractérisée par la présence d'un certain nombre de paysages marins menacés en Méditerranée, tels que les trottoirs à vermet (BOUMAZA, 1995).

**Berrard (Br) (36° 36.789'N 002°37.436'E)**(Figure 6)

Cette station est situé dans la commune d'AïnTagouraït, à proximité d'une ancienne ferme mytilicole SEAM « Sarl d'Elevage Aquacole Méditerranée » d'une capacité annuelle de

production de 50 Tonnes de moules (*Mytilus galloprovincialis*) pour un total de cinq (05) filières.

**Bou Ismaïl (Bsm) (36° 39.267'N 2° 41.541'E)(Figure 6)**

Cette station se situe au large du Front de mer de la ville de Bou Ismaïl. Cette ville est considérée comme la plus industrialisée de la wilaya de Tipasa. Trois (03) unités industrielles classées « Grande Industrie » sont implantées sur les hauteurs de la ville sur un total de dix (10) unités que compte cette wilaya (PNE, 2010 *in* MRE/DEAH/CTB, 2012). Ce secteur est soumis aux rejets domestiques et industriels - évacués en mer sans traitement préalable - et à de nombreux aménagements littoraux: perrés au-dessus de la plage et épis de protections perpendiculaires à la côte, qui ont entraîné des remblayages incessants et des apports de matériaux artificiels (BRAÏK, 1989).

**La Madrague (LP) (36° 48.143'N 2°53.578'E)(Figure 7)**

Cette station se situe dans la petite baie d'El Djamilia, à 700 m au large du port de pêche et de plaisance d'El Djamilia (ex La Madrague). Cette station subit plusieurs types de nuisances à savoir : l'extension du port de pêche (début des travaux en 2004), l'aménagement d'une plage artificielle (début des travaux en 2007) et l'évacuation des eaux usées domestiques qui se fait de façon anarchique (SENGOUGA. A 2017)



**Figure 6.** Localisation et pressions anthropiques sur les sites de La Madrague, Ain Benian et Rais Hamidou (Google earth, 2019)

**Ain Benian (AB) (36° 48.553' N 2° 55.195' E) (Figure 7)**

Cette station se situe aussi dans la commune d'Ain Benian à l'est de Ras Acrata, dans une région caractérisée par une forte urbanisation et des rejets anarchiques des eaux usées non traitées en mer, ces rejets sont au nombre de 08 entre Ras Acrata et la limite est de la commune (APPL, 2014).

**2.1.2. Station de baie d'Alger**

**Rais Hamidou (PP) (36°49.146'N 3°01.161'E)(Figure 7)**

Cette station se situe dans la commune de Raïs Hamidou au large de la Pointe Pescade, à l'extrémité ouest de la baie d'Alger. Elle se situe à 600 m de l'abri de pêche de Raïs Hamidou, ce dernier subit des travaux de confortement et d'aménagement depuis février 2012. Il est à noter que l'urbanisation au niveau de cette région se concentre au niveau de la frange littorale, et que le volume des eaux usées rejetées en mer sans traitement est de 4 700 m<sup>3</sup> par jour (MRE/DEAH/ CTB, 2012).

**2.1.3. Stations de la baie de Zemmouri**

**Ile Agueli (AG) (36° 47.535'N 003°21.003'E)(Figure 8)**

Se situe face à l'embouchure du lac de Réghaïa, à 900 m de la côte. Elle représente un site menacé par les activités de la zone industrielle de Rouiba-Réghaïa (rejets en mer sans traitement préalable et extraction illégale et abusive de sable de plage) et une urbanisation anarchique (PNUE/PAM/CAR PAP, 2006).

**Dellys (Dls) (36° 54.298'N 003°59.959'E)(Figure 8)**

Cette station se situe à l'est de la wilaya de Boumerdès et se trouve à 12 kilomètres à l'est de l'Oued Sébaou. Le prolongement de la pointe rocheuse de la montagne d'Assouaf dans la mer forme la baie de Dellys, lui offrant ainsi un port naturel bien abrité (AKRETCHE *et al.*, 2012). Selon ces auteurs Dellys est une ville marginale peu urbanisée.



**Figure 7.** Localisation et pressions anthropiques sur les sites Agueli et Dellys (Google earth, 2019)

## 2.2. Prélèvement des échantillons

Les prélèvements ont été effectués durant une période très courte (entre le 10 Juillet 2018 et le 06 Août 2018), et ce afin de minimiser l'impact « saison » sur la densité des cellules à tanins. Pour chacune des stations, 5 faisceaux orthotropes ont été prélevés à environ  $10 \pm 2$  m de profondeur, en plongée en scaphandre autonome. Les rhizomes récoltés sont distants d'environ un mètre les uns des autres, afin d'éviter les individus rattachés à un même rhizome plagiotrope (PERGENT *et al.*, 1989). Les faisceaux prélevés sont ensuite conservés dans l'alcool aqueux (éthanol 95%), dans des bocaux en verre bien fermés et étiquetés, jusqu'à leur étude au laboratoire. La conservation prolongée dans de l'éthanol, permet de faire ressortir les cellules à tanin au niveau des tissus et facilite leur identification à la loupe (DUMAY, 2002).

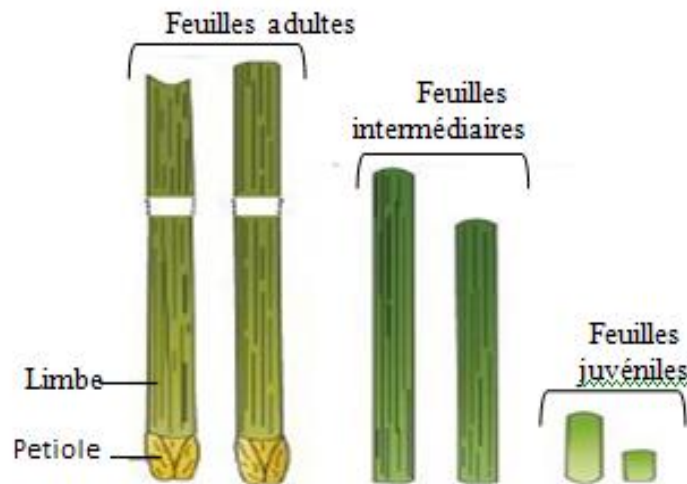
## 2.3. Traitement au laboratoire

### 2.3.1. Etude des paramètres biométriques

Pour chaque station, les faisceaux foliaires détachés du rhizome sont décortiqués en respectant l'ordre distique d'insertion des feuilles. En effet, les caractéristiques morphologiques et l'âge des feuilles d'un faisceau diffèrent selon la position de la feuille

dans le faisceau. Les feuilles se forment au centre et sont d'autant plus âgées qu'elles sont situées vers l'extérieur (GIRAUD, 1979). Les feuilles sont donc séparées selon le protocole de GIRAUD (1979) puis dénombrées (Figure 9) :

- ▶ feuilles adultes : pourvues d'une base ou pétiole (supérieur ou égal à 2 mm) ;
- ▶ feuilles intermédiaires : dépourvues de pétiole ou dont le pétiole est inférieur à 2mm ;
- ▶ feuilles juvéniles : dépourvues de pétiole et dont la longueur n'excède pas 50 mm (non prises en compte lors de cette étude).



**Figure 8.** Types de feuilles de *Posidonia oceanica* en fonction de leur âge (PERGENT *et al.*, 2008)

### 2.3.1.1. Convention de mesure

Pour chaque feuille nous mesurons sa longueur totale et sa largeur, dans le cas des feuilles adultes nous y ajoutons la longueur de la base des feuilles adultes (GIRAUD, 1977).

#### Longueur totale de la feuille adulte

C'est la longueur de la base plus la longueur du limbe jusqu'à l'arrondi de l'apex (l'extrémité de la feuille) quand il existe. Il faut noter que les feuilles adultes sont souvent coupées à leurs extrémités et ce, d'autant plus qu'elles sont longues. Deux raisons pour cela, d'une part, les broutages par les saupes (*Sarpa salpa*) et les oursins (*Paracentrotus lividus* et *Sphaerechinus granularis*) et d'autre part l'hydrodynamisme. Dans ce cas, la longueur totale se mesure à partir du centre de la portion cassée jusqu'à la base (SEMROUD, 1993).

### **Longueur de la feuille intermédiaire**

Elle est mesurée de son point d'insertion sur la tige jusqu'à l'arrondi de son apex lorsqu'elle est entière. Dans le cas où elle est cassée, la longueur totale se mesure à partir du centre de la portion cassée jusqu'à la base (SEMROUD, 1993).

### **Largeur des feuilles**

Pour les deux (2) catégories de feuilles, la largeur est mesurée vers la moitié de la longueur de la feuille. Lorsque les mesures portant sur l'ensemble des faisceaux d'un relevé sont terminées, nous calculons différents paramètres relatifs à la phénologie des feuilles de *Posidonia oceanica* (SEMROUD, 1993) :

- Longueur moyenne des feuilles adultes et intermédiaires.
- Largeur moyenne des feuilles adultes et intermédiaires.
- Coefficient A de Giraud des feuilles adultes et intermédiaires, qui correspond au pourcentage de feuilles ayant perdu leur apex (GIRAUD, 1977).

## **2.3.2. Dénombrement des cellules à tanin**

### **2.3.2.1. Réalisation des coupes transversales**

Une fois les faisceaux disséqués et rincés à l'eau douce, des coupes transversales sont effectuées à différents niveaux le long des limbes des feuilles adultes et intermédiaires, préalablement débarrassées de leurs épiphytes. Toutefois, pour chaque feuille, nous prenons soin de noter la présence ou non des épiphytes. Les coupes sont réalisées comme suit (Figure 10) :

- Une coupe basale (A) au niveau de la partie blanche-verdâtre du limbe des feuilles adultes et intermédiaires.
- Une coupe centrale (B) vers le milieu du limbe des feuilles adultes et intermédiaires.
- Une coupe apicale (C) à proximité de l'apex (quand il existe car les feuilles adultes sont généralement dépourvues de leur apex)

Ces niveaux de coupes sont identiques quelle que soit la station ou le type de feuilles considéré et ont été choisis après un travail d'observations préliminaires qui nous a permis de rendre compte de la répartition des cellules à tanins en fonction de la distance à la base.

Pour chaque niveau, une portion de 2 cm est découpée en utilisant une lame rasoir, elle est ensuite placée sur une lame bien dégraissée sous une loupe binoculaire (Motic 50122240), pour procéder à la réalisation d'une coupe transversale très fine.

Une fois, la coupe transversale est réussie, on l'immerge avec une goutte d'éthanol entre lame et lamelle pour procéder ensuite à l'observation sous microscope optique (S/N-EU 1630116).



**Figure 9.** Positions des coupes transversales le long des limbes des feuilles adultes et intermédiaires (A : coupe basale ; B : coupe centrale ; C : coupe apicale).

### 2.3.2.2. Comptage des cellules à tanin

Dans le but d'adopter une méthode représentative de comptage des cellules à tanin, un travail préliminaire a été réalisé en s'inspirant de la méthodologie adoptée par OLIVIER et al (2019). Une centaine de coupes ont été effectuées sur lesquelles les cellules à tanin ont été dénombrées en utilisant un microscope optique équipé d'un oculaire gradué préalablement étalonné, pour le calcul des surfaces considérées lors des comptages (Cet étalonnage a été réalisé à l'aide d'une lame micrométrique pour chaque objectif du microscope). En effet, nous avons commencé tout d'abord par effectuer un comptage sur une surface carrée de  $0,03\text{mm}^2$  en prenant en considération trois zones de comptage : le centre et les deux extrémités de la coupe. Nous avons ensuite élargi la surface de comptage à  $0,05\text{mm}^2$  et en dernier nous avons procédé à un comptage sur la totalité de la coupe.

L'exploitation des résultats de ce travail préliminaire nous a permis de confirmer la non fiabilité des deux premières méthodes et ce, en raison de l'absence d'homogénéité et de symétrie de distribution des cellules à tanin le long de la coupe elle-même. C'est pour cette

raison que dans le présent travail nous avons considéré l'intégralité de la coupe pour le comptage des cellules à tanin.

La densité des cellules à tanins est ensuite calculée en rapportant le nombre de cellules à tanins à la surface de la coupe qui se calcule en multipliant la largeur de la feuille qui correspond à la longueur de la coupe par son épaisseur qui correspond à la largeur de la coupe.

#### **2.4. Traitements statistiques**

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées dans l'environnement R (R Development Core Team, 2016). Les tests statistiques utilisés sont réalisés au seuil de signification de 5%. Dans le but de comparer les moyennes des densités des cellules à tanin en fonctions des différents facteurs étudiés (effets station, type de feuille, niveau du limbe...), des analyses de variance à un facteur (Anova) sont mises en œuvre, et ce lorsque les conditions d'application sont réunies : normalité et égalité des variances. La vérification de la normalité des distributions est effectuée à l'aide du test de Shapiro-Wilk, et celle de l'homogénéité des variances est effectuée par le test de Bartlett. Si ces conditions ne sont pas remplies, un test non paramétrique est mis en œuvre, en l'occurrence celui de Kruskal-Wallis.

**Résultats**  
**et**  
**discussion**

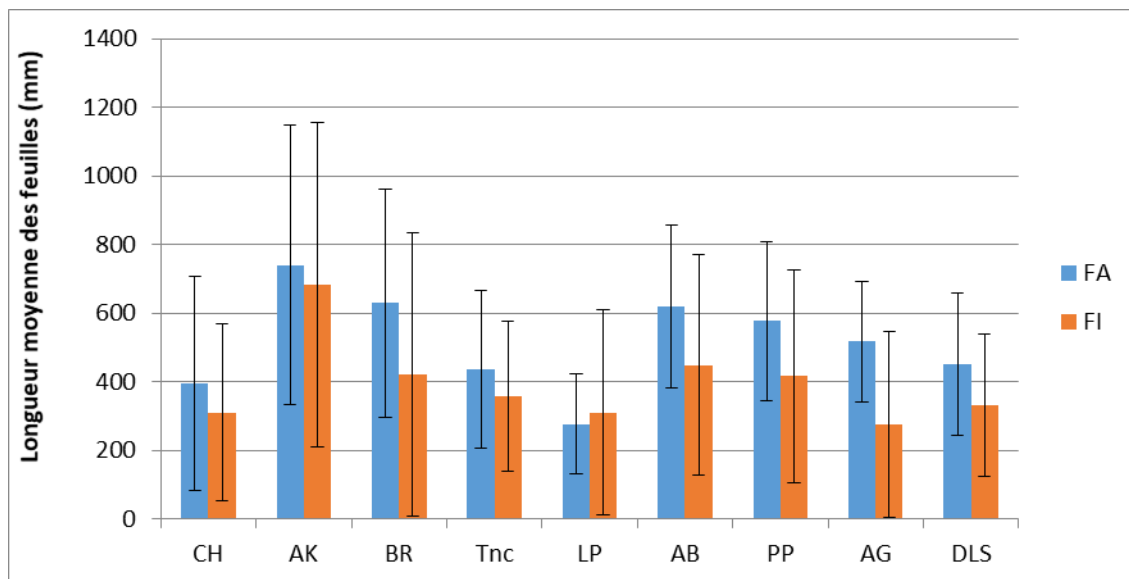
### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Biométrie foliaire

##### 3.1.1. Longueur des feuilles

Les longueurs moyennes des feuilles adultes et intermédiaires présentent des différences significatives entre les stations étudiées ( $p < 0.05$ , Kruskal-Wallis). Quant aux feuilles adultes elles sont significativement plus longues que les feuilles intermédiaires ( $p < 0.05$ , Anova), et ce, quelle que soit la station considérée.

Les longueurs moyennes maximales des feuilles adultes et intermédiaires sont observées à l'Anse de Kouali (respectivement  $712.083 \pm 432.20$  mm et  $683,33 \pm 471,77$  mm). Tandis que la longueur moyenne minimale des feuilles adultes et intermédiaires est enregistrée à LP ( $294.44 \pm 233.76$  mm et  $275 \pm 270,07$  mm, respectivement) (Figure 11).



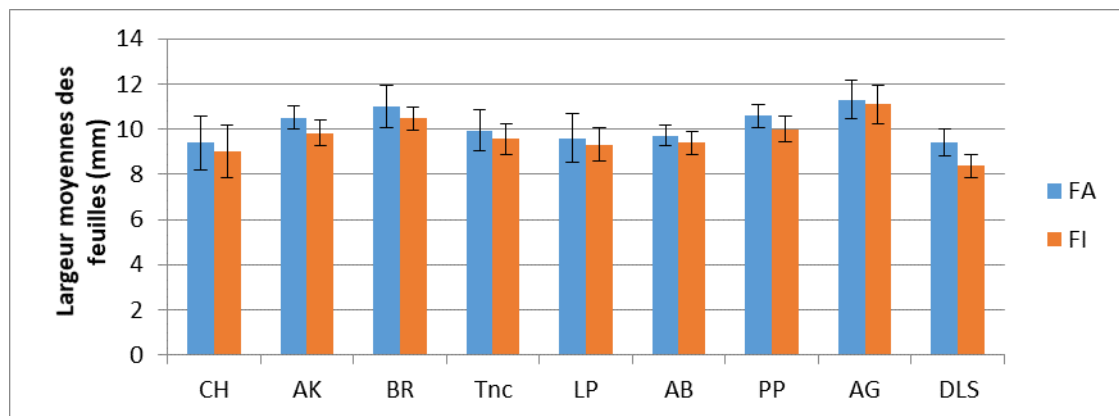
**Figure 10.** Longueurs moyennes des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations.

La longueur des feuilles constitue l'un des paramètres utilisés en routine pour rendre compte de la vitalité des herbiers et dépend de plusieurs paramètres : lumière disponible, température, pression de broutage, concentration du milieu en nutriments (ALCOVERRO *et al.*, 2001). La station la Madrague, ayant la longueur moyenne la plus faible, est caractérisée par une turbidité importante due aux divers rejets d'eaux usées présents sur le littoral et à sa proximité d'une structure portuaire, ce qui explique la diminution de la longueur des feuilles au niveau de cette station. En effet, l'herbier de cette station présente

les caractéristiques d'un herbier dit dégradé comme rapporté par SENGOUGA *et al.* (2019). Quant à la valeur la plus élevée, elle est enregistrée à Kouali, qui rappelle notre station de référence et donc indemne de tout rejet (BOUMAZA *et al.*, 2014 ; SENGOUGA, 2017).

### 3.1.2. Largeur des feuilles

Les largeurs moyennes des feuilles varient en fonction des stations et du type de feuilles considérées (Figure 12). Les largeurs des feuilles adultes et intermédiaires présentent des différences significatives entre les stations ( $p < 0,05$ , Kruskal-Wallis). Les feuilles adultes sont significativement plus larges que les feuilles intermédiaires ( $p < 0,05$ , Anova). Les largeurs moyennes maximales des feuilles adultes et intermédiaires sont enregistrées à Aguelli (respectivement  $11,3 \pm 0,8$  mm et  $11,1 \pm 0,8$  mm) et les minimales sont notées au niveau de la station Cap El Hammouch (respectivement  $9,3 \pm 1,1$  mm et  $9 \pm 1,1$  mm).



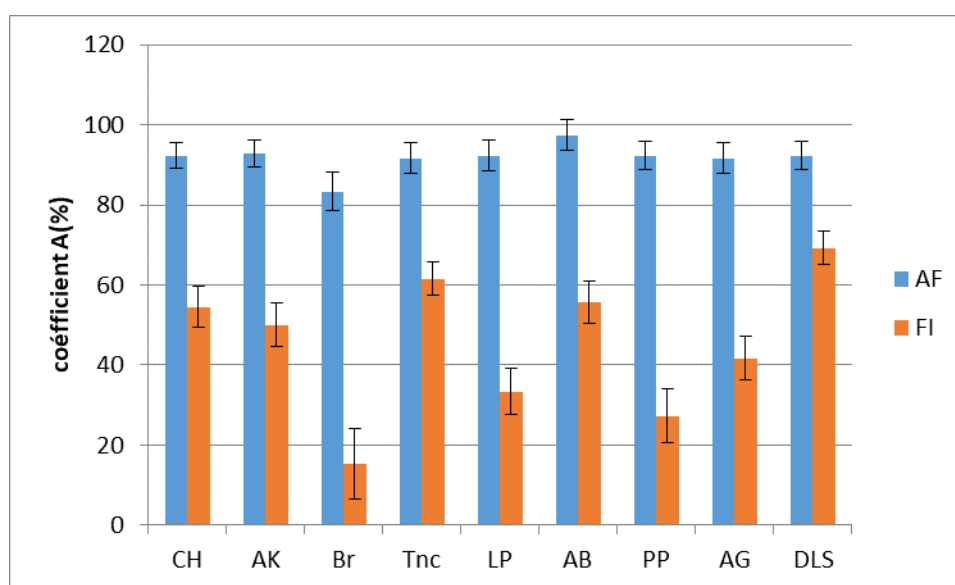
**Figure 11.** Largeurs moyennes des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations.

Toutefois, les mesures relevées dans ce travail se situent dans l'intervalle donné par de nombreux auteurs en Méditerranée (BOUDOURESQUE *et al.*, 2006 ; GIRAUD 1977). Quant à la valeur maximale enregistrée au niveau de la station Aguelli, elle se rapproche de celle rapportée par SEMROUD *et al.* 1992 à la Marsa, station proche de l'île Aguelli. Ces auteurs, proposent ce paramètre comme critère de différenciation d'une population à feuille large.

### 3.1.3. Coefficient A

Le coefficient A est représentatif de la pression de broutage et de l'hydrodynamisme, néanmoins il est difficile de distinguer l'impact de l'hydrodynamisme de celui de la prédation (SILVESTRI, 1993). Le coefficient A des feuilles adultes est significativement supérieur à celui des feuilles intermédiaires quel que soit le site considéré ( $p < 0.05$ , Kruskal-Wallis ; Anova). En effet, ces dernières sont plus récentes d'une part, et vu leur position à l'intérieur du faisceau d'autre part, elles sont donc mieux protégées de l'action des consommateurs et de l'action de l'hydrodynamisme (BUIA *et al.*, 1985 ; PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1988).

Le coefficient A des feuilles adultes présente des variations significatives entre certaines stations ( $p < 0.05$  ; Kruskal-Wallis). Le coefficient A maximum des feuilles adultes est observé à Ain Benian ( $97.45 \pm 4.9$ ) cela pourrait être lié à la présence d'une importante population de brouteurs : les oursins *sphaerechinus granularis* et *paracentrotus lividus* observés in-situ lors des prélèvements, et le minimum est observé à Berrard ( $83.33 \pm 15.8$ ) (Figure 13). Quant au coefficient A des feuilles intermédiaires, il ne varie pas significativement entre les stations ( $p > 0.05$ , Anova).

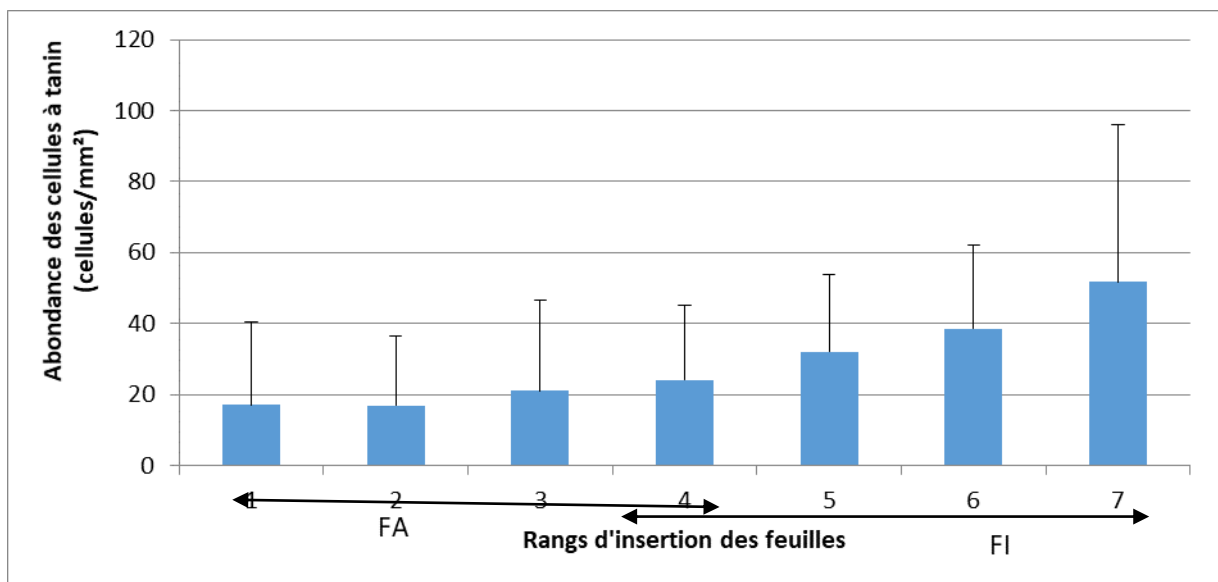


**Figure 12.** Coefficient A des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations.

### 3.2. Variabilité de l'abondance des cellules à tanin

#### 3.2.1. Variabilité de l'abondance des cellules à tanin en fonction des rangs d'insertion des feuilles

L'abondance des cellules à tanin au niveau des feuilles de *Posidonia oceanica* présente des différences significatives en fonction du rang d'insertion de la feuille et ce quel que soit la station ( $p < 0,05$ , Anova). Le maximum est enregistré au niveau de la feuille la plus jeune (rang 7) ( $51.79 \pm 44.36$  cellules /mm<sup>2</sup>) et le minimum est enregistré au niveau de la feuille la plus âgée (rang 1) ( $17.13 \pm 23.25$  cellules /mm<sup>2</sup>) (Figure 14).

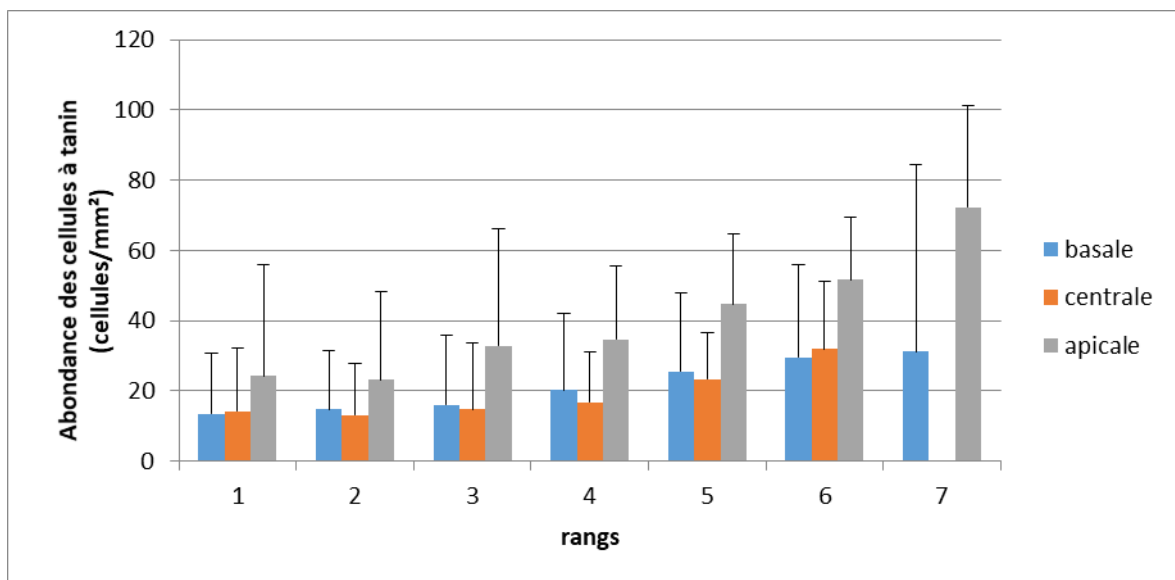


**Figure 13.** Variabilité de l'abondance des cellules à tanin par rangs d'insertion des feuilles.

La densité des cellules à tanin des feuilles intermédiaires est significativement supérieure à celle des feuilles adultes pour l'ensemble des stations ( $p < 0,05$ , Kruskal-Wallis), avec un maximum enregistré au niveau des feuilles intermédiaires ( $24,54 \pm 23,15$  cellules /mm<sup>2</sup>) et un minimum enregistré au niveau des feuilles adultes ( $18,83 \pm 23,26$  cellules /mm<sup>2</sup>). Cette différence entre les feuilles adultes et intermédiaires a déjà été rapportée par AGOSTINI *et al* (1998), DUMAY (2002) et BOUMAZA *et al.* (2012). En effet, la teneur en phénols totaux diminue avec l'âge des feuilles chez *Posidonia oceanica* et ce, dans la mesure où le processus de biosynthèse des composés phénoliques est plus intense chez les jeunes feuilles (MACHEIX *et al.*, 2005).

### 3.2.2. Variabilité de l'abondance des cellules à tanin le long du limbe

L'abondance des cellules à tanin présente des différences significatives le long du limbe et ce quel que soit le rang de la feuille ( $p < 0,05$  ; Anova). Le maximum est enregistré au niveau de la partie apicale ( $33 \pm 28$  cellules / $\text{mm}^2$ ) et un minimum enregistré au niveau de la partie centrale ( $16,08 \pm 16,68$  cellules / $\text{mm}^2$ ) de la feuille (Figure 15).



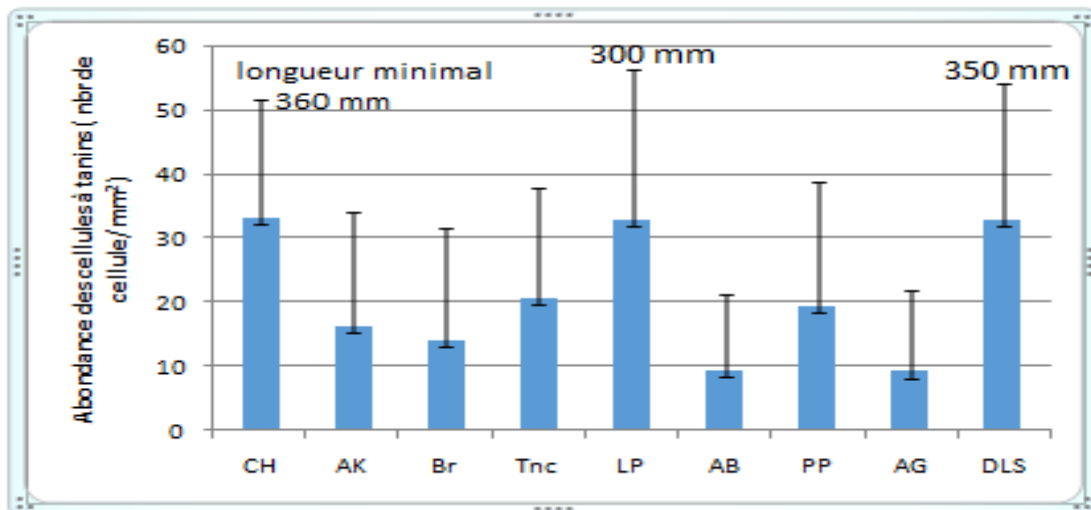
**Figure 14.** Variabilité de l'abondance des cellules à tanin le long du limbe et en fonction des rangs d'insertion des feuilles.

Cette tendance, a également été rapportée par DUMAY (2002), AGOSTINI *et al* (1998) et PERGENT *et al.* (2008). Selon MACHEIX *et al.* (2005), les plantes produisent des métabolites secondaires qui améliorent leur résistance contre les maladies et le broutage. Ce qui pourrait expliquer le maximum de densité en cellules à tanin au niveau de la partie apicale qui est plus exposée à ce genre de stress que le reste du limbe (parties basales et centrales) qui sont moins exposées car situées à l'intérieur du faisceau. Les composés phénoliques sont connus pour se lier aux protéines rendant leur consommation non digeste pour les herbivores. Ils sont aussi responsables du renforcement des parois cellulaires (lignine, tanins) qui rend difficile la pénétration des microbes dans la cellule et de causer des dégâts (STEEL et VALENTINE (2012).

### 3.2.3. Variabilité de l'abondance des cellules à tanin en fonction des stations

La variabilité de l'abondance des cellules à tanin présente des différences significatives entre les stations étudiées ( $p < 0,05$ , Anova) avec un maximum enregistré à la Madrague ( $32,80 \pm 23,61$  cellules / $\text{mm}^2$ ) et un minimum enregistré à Agueli ( $9,23 \pm 12,69$  cellules / $\text{mm}^2$ ) (Figure 16).

Les cellules à tanin sont considérées comme étant des indicateurs de stress de la plante et les valeurs maximales enregistrées aux niveaux des stations (la Madrague, Cap El Hammouch, Dellys) peuvent être liées aux différents types de stress agissant au niveau de ces herbiers. En effet, d'après PERGENT (1988) et FERRAT (2001), la proportion des cellules à tanin augmente dans les zones polluées, ce qui est le cas pour les stations la Madrague et Dellys, qui sont caractérisées par plusieurs rejets des eaux usées non traités et différentes nuisances liées à leur proximité des structures portuaires. De plus la station la Madrague est caractérisée par la présence remarquable de l'algue verte *Caulerpa racemosa* var. *Cylindracea* qui peut engendrer un stress lié à la compétition interspécifique avec *Posidonia oceanica* et induire par la suite à une augmentation de la production des cellules à tanin (DUMAY, 2002).



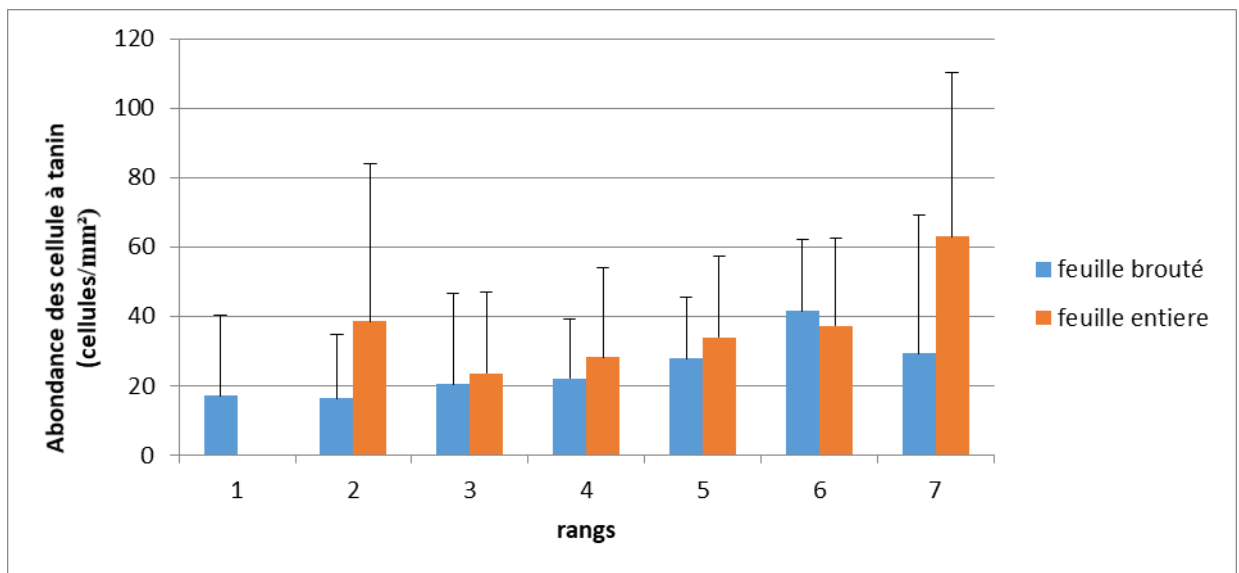
**Figure 15.** Variabilité moyenne de l'abondance des cellules à tanin par station.

Une tendance similaire a été observée par BOUMAZA *et al.* (2012) lorsque ces auteurs ont comparé un site fortement anthropisé situé dans la baie d'Alger, en l'occurrence

Tamentfoust, et un site non anthropisé (Kouali). En effet, le nombre de cellules à tannins enregistré dans les feuilles intermédiaires de *Posidonia oceanica* à Tamentfoust ( $62.0 \pm 23.8$  cellules à tanins par  $\text{cm}^2$ ) est significativement plus élevé que celui enregistré à Kouali ( $30.1 \pm 16.1$  cellules à tanins par  $\text{cm}^2$ ).

### 3.2.4. Variabilité de l'abondance des cellules à tanin en fonction du broyage des feuilles

L'abondance des cellules à tanin présente des différences significatives entre les feuilles entières et les feuilles cassées ou brotées, et ce quel que soit le rang d'insertion des feuilles étudiées ( $p < 0,05$ , Anova). La valeur maximale est enregistrée au niveau des feuilles entières ( $31,81 \pm 25,94$  cellules / $\text{mm}^2$ ) et la valeur minimale est enregistrée au niveau des feuilles cassées ou brotées ( $19,52 \pm 21,96$  cellules / $\text{mm}^2$ ) (Figure 17).

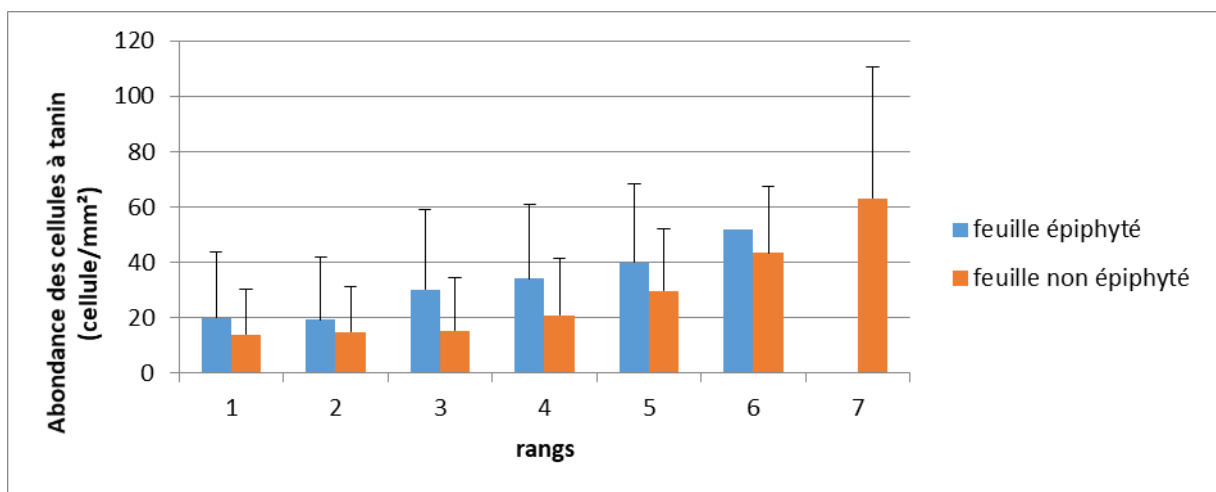


**Figure 16.** Variabilité de l'abondance des cellules à tanin selon le broyage de feuille par rang d'insertion des feuilles.

L'hypothèse selon laquelle la densité des cellules à tanins augmenterait lors de l'interaction herbivore/plante (FERRAT, 2001) n'est pas vérifiée dans notre cas. En effet, dans la mesure où le nombre de cellules à tanin est maximal au niveau des parties apicales des feuilles, il est logique qu'elles soient plus denses lorsque les feuilles sont entières.

### 3.2.5. Variabilité de l'abondance des cellules à tanin en fonction de l'épiphytisme

L'abondance des cellules à tanin enregistrée au niveau des feuilles épiphytées et non épiphytées ne présente pas de différences significatives ( $p > 0,05$ , Kruskal-Wallis) (Figure 18). Néanmoins, les feuilles épiphytées ont des densités plus élevées que les feuilles non épiphytées et ce quel que soit le rang de la feuille.



**Figure 17.** Variabilité de l'abondance des cellules à tanin selon l'épiphytisme et par rang.

En effet, des études effectuées sur *Posidonia oceanica* ont montré des teneurs importantes en produits phénoliques lors de l'envahissement des feuilles par les épiphytes, suite à un enrichissement artificiel en azote (LEONI *et al.*, 2007).

# Conclusion

## Conclusion

L'objectif principal de cette étude est de montrer si l'élaboration des cellules à tanin au niveau des feuilles de *Posidonia oceanica* peut être influencée par les facteurs environnementaux d'une part, mais également par les relations interspécifiques à travers le broutage et l'épiphytisme.

Dans un premier temps, nous avons caractérisé la vitalité des herbiers à *Posidonia oceanica* étudiés à travers un des paramètres les plus discriminatoires, en l'occurrence la longueur des feuilles (BOUMAZA *et al.*, 2014 ; SENGOUGA *et al.*, 2019). Cette étape nous a permis d'individualiser la station LP par rapport au reste des stations. En effet, cette station subit une forte pression anthropique engendrée par l'action couplée de l'aménagement côtier : port de pêche et de plaisance, aménagement d'une plage artificielle et rejets d'eaux usées de la commune d'Ain Benian.

Dans un second temps, le dénombrement des cellules à tanin au niveau des limbes de *Posidonia oceanica* a permis de confirmer les observations déjà rapportées dans la littérature ; à savoir une diminution du nombre de cellules à tanin avec l'augmentation de l'âge des feuilles et l'augmentation du nombre de ces dernières vers les parties apicales des limbes.

Par conséquent, l'augmentation significative du nombre de cellules à tanin au niveau de la station LP est le résultat de la dégradation de la vitalité de l'herbier de ce site comme rapporté par SENGOUGA *et al.* (2019). En outre la présence de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* au niveau de cette station constitue un facteur qui pourrait contribuer à l'augmentation de la densité des cellules à tanin comme signalé par DUMAY *et al.* (2004).

Quant au broutage et à l'épiphytisme ils ne semblent pas engendrer une augmentation significative de la densité des cellules à tanin. Néanmoins la poursuite de cette étude permettra de confirmer ou d'infirmer nos observations.

## RESUME

Les herbiers à *Posidonia oceanica* sont des indicateurs très représentatifs de la santé de la mer méditerranée, et ce, à travers l'étude des différents descripteurs de la vitalité de ces herbiers. La densité des « cellules à tannin » spécialisées dans la production des composés phénoliques (biomarqueurs de stress) est l'un des descripteurs cellulaires chez *Posidonia oceanica* qui sont susceptibles de détecter de manière précoce et spécifique l'impact lié aux variations des paramètres environnementaux. Leur nombre semble augmenter lorsque la plante subit certaines perturbations du milieu. Différentes tendances de répartition de ces cellules à tannin ont été étudiées dans ce travail, et ce au niveau de 09 stations réparties le long du littoral algérois. Il s'agit des variations en termes de densité de cellules à tanins en fonction du degré d'exposition des feuilles, de leur stade physiologique et des différents types de stress environnementaux. Les résultats obtenus mettent en évidence une diminution du nombre de cellules à tanin avec l'augmentation de l'âge des feuilles et l'augmentation du nombre de ces dernières vers les parties apicales des limbes. Par ailleurs, il a été mis en évidence du nombre de cellules à tanin au niveau des herbiers dont la vitalité est en dégradation et subissant une compétition avec l'algue invasive *Caulerpara racemosa* var. *cylindracea*. En outre le broutage et l'épiphytisme n'engendre pas une production significative de ces cellules à tanin.

**Mots clés :** *Posidonia oceanica* , cellules à tanins, broutage et l'épiphytisme.

## ABSTRACT

*Posidonia oceanica* meadows are very representative indicators of the health of the Mediterranean Sea, through the study of the different descriptors of the vitality of these meadows. The density of "tannin cells" specialized in the production of phenolic compounds (stress biomarkers) is one of the cell descriptors in *Posidonia oceanica* that are capable of early and specific detection of the impact linked to variations in environmental parameters. Their number seems to increase when the plant undergoes certain environmental disturbances. Different distribution trends of these tannin cells were studied in this work, at the level of 09 stations distributed along the Algerian coast. These are variations in the density of tannin cells depending on the degree of leaf exposure, their physiological stage and different types of environmental stress. The results obtained show a decrease in the number of tannin cells with the increase in the age of the leaves and the increase in the number of the latter towards the apical parts of the blades. In addition, the number of tannin cells has been demonstrated in seagrass beds whose vitality is deteriorating and which are subject to competition with the invasive algae *Caulerpara racemosa* var. *cylindracea*. In addition, grazing and epiphytism do not result in significant production of these tannin cells.

**Keywords:** *Posidonia oceanica*, tannin cells, grazing and epiphytism.

## الملخص

مروج البوزيدونيا هي مؤشرات تمثيلية للغاية لصحة البحر الأبيض المتوسط ، من خلال دراسة الواصفات المختلفة لحيوية هذه المروج. تعد كثافة "خلايا التانين" المتخصصة في إنتاج المركبات الفينولية واحدة من الواصفات الخلوية في البوزيدونيا القادرة على الكشف المبكر والمحدد عن التأثير المرتبط بالتغيرات في المعايير البيئية. يبدو أن عددهم يزداد عندما يتعرض النبات لبعض الاضطرابات البيئية. تمت دراسة اتجاهات التوزيع المختلفة لخلايا التانين في هذا العمل ، على مستوى 09 محطة موزعة على طول ساحل الجزائر العاصمة. اختلافات كثافة خلايا التانين تعتمد على درجة تعرض الأوراق ومرحلتها الفسيولوجية وأنواع مختلفة من الإجهاد البيئي. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها انخفاضاً في عدد خلايا التانين مع زيادة عمر الأوراق وزيادة عددها باتجاه الأجزاء القمية للشفرات. بالإضافة إلى ذلك ، تم توضيح عدد خلايا التانين في طبقات الأعشاب البحرية التي تتدهور حيويتها والتي تخضع لمنافسة الطحالب الغازية الكولربا. علاوة على ذلك ، لا يؤدي الرعي والرشح إلى إنتاج كبير من خلايا التانين.

## الكلمات المفتاحية:

البوزيدونيا, خلايا التانين, الرعي والرشح.

## Références bibliographiques

- Agostini S., Desjobert J.M., Pergent G., 1998.** Distribution of phenolic compounds in the seagrass *Posidonia oceanica*. *Phytochemistry*, 48(4) : 611-617.
- Alcoverro T., Manzanera M., Romero J., 2001.** Annual metabolic carbon balance of the seagrass *Posidonia oceanica*: the importance of carbohydrate reserves. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 211 : 105-116.
- APPL (2014).** Carte des plages de la wilaya d'Alger. Alger. Algérie. APPL. (2016). Fiche des herbiers de *Posidonia oceanica* de la wilaya d'Alger : Rapport d'activité. Document non publié. Alger. Algérie. 1-14.
- Augier H., et Boudouresque C. F. (1979).** Premières Observations Sur L'herbier De Posidonies Et Le Détritique Côtier De L'île Du Levant C Méditerranée, France), A L'aide Du Sous-Marin Griffon De La Marine Nationale. *Trav. Sci. Parc Nation. Port Crcs.*, Tome 5 : 141-153.
- Bay D., 1978.** *Etude in situ de la production primaire d'un herbier de Posidonie (Posidonia oceanica (L.) Delile) de la baie de Calvi, Corse.* Thèse Doctorat : Sciences océanologiques, Université Liège, Belg. : 1-251
- Boudouresque C. F., Meinesz A. (1982).** Découverte de l'herbier de Posidonie. *Cah. Parc nation. Port-Cros, Fr.*, 4 : 1-79.
- Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L. (2006).** Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. RAMOGE Publ., Monaco, Fr. : 1-202.
- Boumaza S., 1995.** *Phénologie, biomasse, lépidochronologie et production primaire de l'herbier à Posidonia oceanica (L.) Delile de l'anse de Kouâli, Tipaza (Algérie).* Thèse Magister : Océanologie, ISMAL, Alger, Alg. : 1-125 + Annexes.
- Boumaza S., Boudefoua N., Boumaza R., Semroud R., 2014.** Effects of urban effluents on spatial structure, morphology and total phenols of *Posidonia oceanica* : Comparison with a reference site. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 457 : 113-119.
- Boumaza S., Khiari N., Mokeddem Z, Hamoul N. Semroud R. (2012).** Effects of disturbances caused by coastal discharges on phenolic compounds in the seagrass *Posidonia oceanica*. In Proceedings of the 3rd Mediterranean Seagrass Workshop, Essaouira, 34.
- Boumaza, S., Semroud, R. (2000).** Evaluation of past and present primary production in *Posidonia oceanica* beds from the cove of Kouâli (Tipasa, Algeria) using the lepidochronological method. *Biol. Mar. Medit.* 7(2) : 26-30p.
- Braïk D., (1989).** *Etude de la dynamique sédimentaire devant Bou Ismaïl : Sédimentologie - Morphologie - problème d'érosion littorale - Aménagement.* Thèse magistère : Géologie marine, USTHB, Alger, Alg. : 1-174.
- Buia M.C., Cormaci M., Furnari G., Mazzella L., (1985).** Osservazione sulla struttura delle praterie di *Posidonia oceanica* (L.) Delile di Capo Passero (Siracusa) e studio della macroflora epifita delle foglie. *Boll. Accad. Gioenia Sci. Nat. Catania., Ital.*, 463-484.

- Cariello L., Zanetti L., 1979.** Distribution of chicoric acid during leaf development of *Posidonia oceanica*. *Bot. Mar.*, XXII : 359-360.
- Caye G.,(1989).** *Sur la morphogenèse, le cycle végétatif et la reproduction de deux phanérogames : Posidonia oceanica (Linnaeus) Delile et Cymodocea nodosa(Ucria) Ascherson.* Thèse Habilitation à Diriger des Recherches, Université Nice, Fr : 1-229.
- CNL-Tipasa (2015).** Les rejets et l'état des plages du littoral de la wilaya de Tipasa : Rapport d'activité. Document non publié. Tipasa.1-18.
- Cozza R., Chiappetta A., Petrarulo M., Salimonti A., Rende F., Bitonti M.B., Innocenti A.M. (2004).** Cytological features of *Posidonia oceanica* as putative markers of environmental conditions. *Chem. Ecol.*, 20 : 215-223.
- Cuny P., Serve L., Jupin H., Boudouresque C.F., 1994.** Les composés phénoliques hydrosolubles de *Posidonia oceanica* (phanérogame marine) dans une zone colonisée par la chlorophyte introduite *Caulerpa taxifolia* (Alpes Maritime, France, Méditerranée). In C.F. Boudouresque., A. Meinesz, V Gravez (Edits.), First International Workshop on *Caulerpa taxifolia.*, GIS Posidonie publ., Fr. : 355-364.
- De Villele X., Verlaque M., 1995.** Changes and degradation in a *Posidonia oceanica* bed invaded by the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia* in the north western Mediterranean. *Bot. Mar.*, 38(1) : 79-87.
- Doney S.C., Ruckelshaus M., Duffy J. E., Barry J. P., Chan F., English C.A., Galindo H.M., Grebmeier J.G., Hollowed A.B., Knowlton N., Polovina J., Rabalais N.N., Sydeman W.J. and Talley L.D. (2012).** Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 4 : 1-27.
- Dumay, O. (2002).** *Dynamique Compétitive entre la Magnoliophyte Marine Posidonia oceanica et les Bryopsidophycées invasives Caulerpa taxifolia et Caulerpa racemosa.* Thèse De Doctorat. Univ. Corse: 1-180.
- Dumay O., Costa J., Desjobert J.M., Pergent G. (2004).** Variations in the concentration of phenolic compounds in the seagrass *Posidonia oceanica* under conditions of competition. *Phytochemistry*, 65 : 3211-3220.
- Dural B, Aysel V, Demir N. (2013).** *Posidonia oceanica* (L.) Delile on the coasts of Turkey. First National Workshop on *Posidonia oceanica* (L.) Delile on the coasts of Turkey: 1-19.
- Ferrat L.(2010).** *Bioindicateurs des variations environnementales chez les végétaux.* Thèse Habilitation à Diriger des Recherches : Biologie des populations et Ecologie, Université Corté, Corse, Fr. : 1-78.
- Giraud G., (1977).** Recensement des floraisons de *Posidonia oceanica* (L.) Delile en Méditerranée. *Rapp. Comm. int. Mer Médit., Monaco.*, 24 (4) : 126-130.
- Giraud, G. (1979).** Sur une méthode de mesure et de comptage des structures foliaires de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Bull. Muséum Hist. Nat. Marseille, Fr.*, 39 : 33-39.
- Gobert S., Cambridge M.L., Velimirov B., Pergent G., Lepoint G., Bouquegneau J.M., Dauby P., Pergent-Martini C., Walker D.I.,2006.** In D. Larkum, R.J. Orth, C.M. Duarte (Edits), "Seagrasses Biology: Ecology and Conservation", Springer Publ., New York : 387-408.

- Jeudy de Grissac A., Boudouresque C.F., (1985).** Rôle Des Herbiers De Phanérogames Marines Dans Les Mouvements De Sédiments Côtiers : Les Herbiers à *Posidonia oceanica* . Colloque Franco-Japonais d'océanographie, Marseille, 1 : 143-151.
- Hamoul N., Mokeddem Z. (2002).** Contribution A L'étude De De La Variation Des Teneurs En Phénol Totaux Chez La Phanérogame Marine *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Mémoire DUEA. Benthos. Ismal, Alger: 50.
- Jeudy de Grissac A., Boudouresque C.F.(1985).** Rôle des herbiers de Phanérogames marines dans les mouvements de sédiments côtiers : les herbiers à *Posidonia oceanica* . Colloque franco-japonais d'Océanographie, Marseille, 1 : 143-151.
- Leoni V., Pasqualini V., Pergent-Martini C., Vela A., Pergent G. (2006).** Morphological responses of *Posidonia oceanica* to experimental nutrient enrichment of the canopy water. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 339 : 1-14.
- Lopez y Royo C., Casazza G., Pergent-Martini C., Pergent G. (2010).** A biotic index using the seagrass *Posidonia oceanica* (BiPo), to evaluate ecological status of coastal waters. *Ecol. Indic.* 10, 380-389.
- Macheix J.J., Fleuriet A., Jay-Allemand C. (2005).** Les composés phénoliques des végétaux, un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Presses polytechniques et universitaires romandes, CH-1015 (Edit.), Lausanne : 1-191.
- Maggi P., Greut Y., Lassus P.(1977).** Influence de la pollution urbaine sur la vitalité des herbiers à Posidonies dans le golf de Giens. *Sci. Pêche marit.*, Fr., 269 : 5-13.
- Mangos A., Claudot M.A. (2013).** Etude économique des effets des aires protégées marines et côtières en Méditerranée. Les Cahiers du Plan Bleu, Valbonne, 13 : 1-64.
- MRE/DEAH/CTB. (2012).** Diagnostic – Plan de gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin hydrographique Côtier algérois 02A, Rapport Etat des Lieux Côtier 02A, NI1963/11 – ALG 0500711 : 1-125.
- Pasqualini V., Pergent-Martini C., Clabaut P., Pergent G., (1998).** Mapping of *Posidonia oceanica* using aerial photographs and side scan sonar : Application of the island of Corsica (France). *Estuar. Coast. Shelf. S.*, 47 : 359-367.
- Pergent G., (1988).** Variabilité De L'abondance des cellules à Tanin dans Les écailles de *Posidonia oceanica* . Rapp. P. V. Réun. Commiss. Internation. Explor. Sci. Médit., Monaco., 31 (2) B-19 : 7-7.
- Pergent G., Pergent-Martini C., (1988).** Phénologie de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile dans le bassin méditerranéen. *Ann. Inst. océanogr.*, 61 (2) : 79-190.
- Pergent G., Bazairi H., Bianchi C.N., Boudouresque C.F., Buia M.C., Clabaut P., Harmelin-Vivien M., Mateo M.A., Montefalcone M., Morri C., Orfanidis S., Pergent-Martini C., Semroud R., Serrano O., Verlaque M. (2012).** Les herbiers de Magnoliophytes marines de Méditerranée : résilience et contribution à l'atténuation des changements climatiques. Gland, Suisse et Málaga, Espagne : IUCN publ. : 1-80.
- Pergent G., Ben Maiz N., Boudouresque C.F., Meinesz A.(1989).** The flowering of *Posidonia oceanica* over the past fifty years: a lepidochronological study. In C.F. Boudouresque, A. Meinesz, E. Fresi, V. Gravez (Edits.), Proceedings International workshop on *Posidonia* beds. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr., 2 : 69-76.

- 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*, 54 : 3-27.
- Pergent G., Boudouresque C.F., Dumay O., Pergent-Martini C., Wyllie-Echeverria S., 2008.** Competition between the invasive macrophyte *Caulerpa taxifolia* and the seagrass *Posidonia oceanica* : contrasting strategies. *BMCEcol.*, 8 : 20.
- Pergent-Martini C., Pergent G., 2000.** Marine phanerogames as a tool in the evaluation of marine trace-metal contamination: an exemple from the Mediterranean. *Journal. Environmental. Pollution.* 13 (1-6): 126-147.
- Pergent-Martini, C., Leoni, V., Pasqualini, V. Ardizzone, G.D., Balestri, E., Bedini, R., Belluscio, A., Belsher, T., Borg, J., Boudouresque, C.F., Boumaza, S., Bouquegneau, J.M., Buia, M.C., Calvo, S., Cebrian, J., Charbonnel, E., Cinelli, F., Cossu, A., Di Maida, G., Dural, B., Francour, F., Gobert, S., Lepoint, G., Meinesz, A., Molenaar, H., Mansour, H.M., Panayotidis, P., Peirano, A., Pergent, G., Piazzini, L., Pirrotta, M., Relini, G., Romero, J., Sanchez-Lizaso, J.L., Semroud, R., Shembri, P., Shili, A., Tomasello, A., Velimirov, B. (2005).** Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: Use and application. *Ecol. Indic.*, 5: 213-230.
- PNUE/PAM/CAR PAP. (2006).** Programme d'Aménagement Côtier (PAC) de la «zone côtière algéroise» (PAC). Rapport final intégré. *MAP Tech. Rep. Ser.*, 64, UNEP, Athènes : 1-190 + Atlas cartographique.
- R. Development Core Team (2011).** R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria 3-900051-07-0 (URL: <http://www.R-project.org/>).
- 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* . *Mar. Pollut. Bull.*, 46 : 1523-1533.
- Semroud R., (1993).** Contribution à la Connaissance de L'écosystème à *Posidonia oceanica* (L.) Delile dans La région d'Alger (Algérie) : Etude de quelques compartiments. Thèse De Doctorat. USTHB., Alger: 1-218.
- Semroud, R., Boudrimont, R., Bouchenaki, M., Desaunay, Y., Lorec, J., Thomas, J.P., Siblot, P., D., Asselah, B., Akchiche, M. (1971).** Projet d'un parc marin et terrestre Tipasa-Chenoua. Document dactylographié: 1-24.
- Semroud R., Verlaque M., Crouset A., Boudouresque C.F. (1992).** On broad-leave from the seagrass *Posidonia oceanica* (Posidoniaceae) from Algiers (Algeria). *Aqua. Bot.* 43 : 181-198.
- Silvestri C., (1993).** Studio sinecologico sulla prateria di *Posidonia oceanica* (L.) Delile di Monterosso al mare (SP) : cartografia quali-quantitativa e dinamica stagionale. Tesi, Univ. Roma, Ital., 1-97.
- Sengouga A. (2017).** *Evaluation de l'état écologique des eaux côtières algéroises par l'utilisation d'un indice basé sur Posidonia oceanica* . Thèse Magister, ENSSMAL : 1-87 + Annexes.
- Sengouga A. Boumaza S., Zerrouk C., Misraoui A., Semroud R. (2019).** Temporal Evolution of Ecological Status in Algerian Coastal Waters. *MEDCOAST* :337-378.

- Steele L., Valentine J.F. (2012).** Idiosyncratic responses of seagrass phenolic production following sea urchin grazing. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 466 : 81-92.
- Terrados J., Duarte C.M. (2000).** Experimental evidence of reduced particle resuspension within a seagrass (*Posidonia oceanica* L.) meadow. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 243 : 45-53.
- Vacchi M., Montefalcone M., Bianchi C.N., Morri C., Ferrari M. (2012).** Hydrodynamic constraints to the seaward development of *Posidonia oceanica* meadows. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, 97 : 58-65.
- Waterman P.G., Mole S., 1994.** Analysis of phenolic plant metabolites. Blackwell Scientific Publications: Oxford, Great Britain. 237p.
- Zapata O., MC Millan C., 1979.** Phenolic acids in seagrasses. *Aquat. Bot.*, 7: 307-317.