

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل  
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du  
Littoral



MEMOIRE DE POST-GRADUATION EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
DE MAGISTER

OPTION : Gestion et Surveillance de l'Environnement Marin et Littoral

Thème :

**Evaluation de l'état écologique des eaux  
côtières algéroises par l'utilisation d'un indice  
basé sur *Posidonia oceanica***

Présenté par :

**Mme SENGOUGA MISRAOUI Amina**

Soutenu le 25/05/2017, devant le jury :

<b>M. HEMIDA F.</b>	Professeur (ENSSMAL)	<b>Président</b>
<b>Mme SERIDI H.</b>	Professeur (USTHB/FSB)	<b>Examinatrice</b>
<b>M. LARID M.</b>	Maître de conférences A (ENSSMAL)	<b>Examinateur</b>
<b>M. SEMROUD R.</b>	Professeur (ENSSMAL)	<b>Rapporteur</b>
<b>Mme BOUMAZA S.</b>	Maître de conférences B (ENSSMAL)	<b>Invitée</b>
<b>M. BOUKORTT R.</b>	Maître assistant A (ENSSMAL)	<b>Invité</b>

**Promotion : 2017**



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل  
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du  
Littoral



MEMOIRE DE POST-GRADUATION EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
DE MAGISTER

OPTION : Gestion et Surveillance de l'Environnement Marin et Littoral

Thème :

**Evaluation de l'état écologique des eaux  
côtières algéroises par l'utilisation d'un indice  
basé sur *Posidonia oceanica***

Présenté par :

**Mme SENGOUGA MISRAOUI Amina**

Soutenu le 25/05/2017, devant le jury :

<b>M. HEMIDA F.</b>	Professeur (ENSSMAL)	<b>Président</b>
<b>Mme SERIDI H.</b>	Professeur (USTHB/FSB)	<b>Examinatrice</b>
<b>M. LARID M.</b>	Maître de conférences A (ENSSMAL)	<b>Examinateur</b>
<b>M. SEMROUD R.</b>	Professeur (ENSSMAL)	<b>Rapporteur</b>
<b>Mme BOUMAZA S.</b>	Maître de conférences B (ENSSMAL)	<b>Invitée</b>
<b>M. BOUKORTT R.</b>	Maître assistant A (ENSSMAL)	<b>Invité</b>

**Promotion : 2017**

# Remerciements

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire :

Je voudrais tout d'abord témoigner ma gratitude à mon promoteur, le professeur SEMROUD Rachid pour avoir proposé un thème aussi pertinent ainsi que pour ses orientations, aides et conseils. Merci pour votre dévouement scientifique, vos encouragements et votre disponibilité.

J'exprime mes plus vifs remerciements au Pr. HEMIDA qui me fait l'honneur de présider ce jury. Mes remerciements s'adressent aussi au Dr. LARID et au Pr. SERIDI pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude au Docteur BOUMAZA Salima, qui a inspiré ce travail. Ses précieux conseils, sa disponibilité permanente et ses nombreuses relectures, ont grandement amélioré la qualité de ce travail. Je tiens encore à lui témoigner ma reconnaissance.

Je réitère mes remerciements à l'égard de M. BOUKORTT, pour sa grande contribution au travail de terrain, ses remarques judicieuses, sa disponibilité, son aide et ses encouragements. Qu'il trouve ici toute ma gratitude.

Je remercie également, les personnes qui ont contribué à l'acquisition et à la mise à disposition des données administratives qui ont été nécessaires à l'élaboration de ce travail.

J'adresse mes remerciements aussi à Sarl SEAM et aux clubs de plongée sous-marine : Déca Palm Club, CRRH Rais Hamidou, club El Mordjane, club de plongée sous-marine de Bou Ismaïl et CRBT de Tipaza pour leur accueil, leur assistance et leur aide. Merci à ZERROUKI Mohamed et à KERAGHEL Mehdi, pour leurs efforts et leur précieuse contribution.

Un grand merci à mon époux pour son soutien quotidien, ses sacrifices, sa patience, sa présence et son énorme contribution à la réalisation de ce travail. Je lui exprime toute ma gratitude et ma reconnaissance.

Je remercie tout le personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL pour leur disponibilité.

Un grand merci à mes parents. Merci de m'avoir comblé avec votre amour et affection. Merci pour tous vos sacrifices. Merci de n'avoir épargné ni santé ni efforts pour mon bien-être. Merci d'être présents à chaque étape de ma vie. Merci pour l'intérêt que vous portez à mes études. Recevez ici ma gratitude infinie et mon profond respect.

Je remercie très spécialement, ma petite sœur Asma, pour ses encouragements continus et soutient.

Merci à mes amis qui ont toujours été là pour moi. Merci Malik, Housseyn, Romaiïssa, Imane, Fouzia, Souad et Malika. Merci à Mme Zerrouki pour son soutient.

# Sommaire

<b>1. Introduction Générale.....</b>	<b>2</b>
1.1. Présentation de <i>Posidonia oceanica</i> .....	3
1.1.1. Répartition.....	3
1.1.2. Caractéristiques biologiques .....	4
1.1.3. Importance écologique de l’herbier à <i>Posidonia oceanica</i> .....	5
1.2. L’herbier à <i>Posidonia oceanica</i> comme indicateur biologique.....	5
1.3. Cadre de l’étude et objectifs.....	9
<b>2. Matériel et méthodes .....</b>	<b>12</b>
2.1. Présentation des stations .....	12
2.1.1. Stations de la baie de Bou Ismaïl .....	12
2.1.2. Stations de la baie d’Alger .....	17
2.1.3. Stations de la baie de Zemmouri .....	18
2.2. Prélèvement des échantillons et mesures <i>in-situ</i> .....	20
2.2.1. Profondeur de la limite inférieure .....	21
2.2.2. Type de la limite inférieure .....	21
2.2.3. Densité de l’herbier.....	22
2.3. Etude des paramètres biométriques.....	24
2.3.1. Surface foliaire .....	24
2.3.2. Rapport biomasse des épiphytes sur biomasse des feuilles (E/L) .....	24
2.4. Calcul de l’indice PREI.....	26
2.5. Evaluation de la pression anthropique.....	28
2.5.1. Evaluation visuelle des pressions anthropiques selon la méthode décrite par Lopez Y Royo <i>et al.</i> (2009 <i>b</i> ).....	28

2.5.2. Qualification de la zone d'étude et calcul de la cotation d'anthropisation : méthode des indicateurs agrégés .....	30
2.6. Analyses statistiques des données .....	33
<b>3. Résultats et discussion.....</b>	<b>35</b>
3.1. Evaluation des différentes métriques .....	35
3.1.1. Profondeur et type de limite inférieure .....	35
3.1.2. Densité de l'herbier et surface foliaire .....	37
3.1.3. Rapport biomasse des épiphytes sur biomasse des feuilles (E/L).....	39
3.2. Evaluation du statut écologique des différentes stations étudiées par l'application de l'indice PREI .....	41
3.2.1. Comparaison des statuts écologiques assignés aux différentes stations avec ceux de 2011 .....	43
3.3. Evaluation de la pression anthropique sur les stations étudiées.....	45
3.3.1. Evaluation visuelle des pressions anthropiques selon la méthode décrite par Lopez Y Royo <i>et al</i> (2009b).....	45
3.3.2. Evaluation des pressions anthropiques selon la méthode décrite par Larid (2002).....	47
3.3.3. Relation entre l'anthropisation et l'état écologique .....	52
<b>4. Conclusions générales et perspectives .....</b>	<b>56</b>
<b>5. Références bibliographiques .....</b>	<b>60</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>72</b>
<b>Résumé .....</b>	<b>76</b>

# Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Distribution géographique de <i>Posidonia oceanica</i> (d'après Pergent <i>et al.</i> , 2012).....	3
<b>Figure 2.</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> . (d'après Boudouresque et Meinesz, 1982). ....	4
<b>Figure 3.</b> Localisation des stations de Bou Ismail et des différents rejets au niveau du front de mer de la ville de Bou Ismaïl (CNL-Tipasa, 2015). ....	16
<b>Figure 4.</b> Localisation des stations étudiées au niveau de la partie ouest de la baie de Bou Ismaïl. ....	19
<b>Figure 5.</b> Localisation des stations étudiées au niveau de la partie est de la baie de Bou Ismaïl et de la partie ouest de baie d'Alger. ....	19
<b>Figure 6.</b> Localisation des stations étudiées au niveau de la baie de Zemmouri. ....	20
<b>Figure 7.</b> Récolte des rhizomes de <i>Posidonia oceanica</i> en plongée autonome. ....	20
<b>Figure 8.</b> Schéma des différents types de limites inférieures de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> (d'après Pergent <i>et al.</i> , 2005). ....	23
<b>Figure 9.</b> Comptage <i>in-situ</i> de la densité avec un carré de 40 cm de côté. ....	23
<b>Figure 10.</b> Types de feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> en fonction de leur âge (d'après Pergent <i>et al.</i> , 2008).....	25
<b>Figure 11.</b> Exemple d'application de la méthode d'évaluation de la pression anthropique et la détermination du pourcentage d'occupation du linéaire côtier à l'aide d'images satellitaires pour la station de la Madrague (LP). ....	31
<b>Figure 12.</b> Représentation triangulaire (Larid, 2002). ....	33
<b>Figure 13.</b> Variation de la surface foliaire et de la densité des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> au niveau des différentes stations étudiées. ....	40
<b>Figure 14.</b> Variation du rapport E/L au niveau des différentes stations. ....	40

<b>Figure 15.</b> Comparaison des EQR PREI obtenus en 2011 et 2015 pour les différentes stations.....	45
<b>Figure 16.</b> Carte montrant les principales utilisations du sol au niveau des communes : Tipasa (CH) / (AK) Aïn Tagouraït (Br) Khemisti (Kh) et Bou Ismail (Bsm) / (Tnc) / (SD)	49
<b>Figure 17.</b> Carte montrant les principales utilisations du sol au niveau des communes : Aïn Benian (AB) / (LP) et Raïs Hamidou (PP). .....	49
<b>Figure 18.</b> Carte montrant les principales utilisations du sol au niveau de la commune de Réghaïa (AGI) et (AGII) .....	50
<b>Figure 19.</b> Les indices de cotation d'anthropisation, d'altérité et de naturalité au niveau de la zone d'étude. ....	50
<b>Figure 20.</b> Diagramme tridimensionnel.....	52
<b>Figure 21.</b> Relation entre les EQR PREI et l'indice global d'anthropisation calculé selon Lopez Y Royo <i>et al.</i> (2009b).....	53
<b>Figure 22.</b> Relation entre les EQR PREI et l'indice de cotation d'anthropisation calculée selon Larid (2002) .....	54

# Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Liste des différents descripteurs de l’herbier à <i>Posidonia oceanica</i> en réponse à différents types de stress (Projet POSIDONIA, 2007).....	7
<b>Tableau 2.</b> Méthodes basées sur les descripteurs de <i>Posidonia oceanica</i> pour définir le statut écologique des eaux côtières de Méditerranée dans le cadre de la Directive Cadre des Eaux.....	8
<b>Tableau3.</b> Coordonnées géographiques des stations étudiées et calendrier de l’échantillonnage et des mesures <i>in-situ</i> .....	21
<b>Tableau 4.</b> Echelle d’interprétation de l’Ecological Quality Ratio (EQR) de l’indice PREI pour l’évaluation de la qualité des masses d’eau côtières (d’après Gobert <i>et al.</i> , 2009).....	28
<b>Tableau 5.</b> Classification des 5 types de pression considérés (occupation du sol, rivières, industries, ports et structures artificielles) (Lopez Y Royo <i>et al.</i> , 2009b).....	30
<b>Tableau 6.</b> Limites des intervalles dans l’évaluation de la pression selon Garcia Marin (2013).....	30
<b>Tableau 7.</b> Matrice des cotations des paramètres de naturalité, d’anthropisation et d’altérité (Larid, 2002 ; PNUE/PAM/PAP/CAR / 2005).....	32
<b>Tableau 8.</b> Profondeur et type de limite inférieure enregistrés au niveau des stations étudiées. ....	37
<b>Tableau 9.</b> Grille d’interprétation en cinq classes des densités de l’herbier à <i>Posidonia oceanica</i> (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2015).....	38
<b>Tableau 10.</b> Métriques (moyenne $\pm$ écart type) utilisées pour le calcul des EQR PREI. ...	42
<b>Tableau 11.</b> Valeurs de référence et valeurs de la classe rouge utilisées pour le calcul des EQR PREI.....	42
<b>Tableau 12.</b> Evaluation du statut écologique des stations étudiées à partir de l’indice PREI.....	43
<b>Tableau 13.</b> Comparaison des statuts écologiques évalués à partir de l’indice PREI des stations étudiées en 2011 et 2015. ....	44

<b>Tableau 14.</b> Pourcentage d'occupation du sol, distance des rivières, industries, ports et présence de structures artificielles. La moyenne des scores des différentes pressions et la catégorie de pression correspondante. ....	46
<b>Tableau 15.</b> Indices de cotations d'anthropisation, d'altérité et de naturalité par commune .....	48
<b>Tableau 16.</b> Qualifications d'anthropisation, d'altérité et de naturalité par commune .....	51

# Liste des acronymes

<b>ACP</b>	Analyse en Composante Principale
<b>AMCP</b>	Aire Marine et Côtière Protégée
<b>ANOVA</b>	Analysis of variance
<b>APPL</b>	Agence pour la Protection et la Promotion du Littoral de la Wilaya d'Alger
<b>BiPo</b>	Biotic index using <i>Posidonia oceanica</i>
<b>BQE</b>	Biological Quality Elements
<b>CAR/ASP</b>	Regional Activity Centre for Specially Protected Areas
<b>CNL</b>	Commissariat National du Littoral
<b>Comm. Pers</b>	Communication personnelle
<b>CTB</b>	Coopération Technique Belge
<b>DCE</b>	Directive Cadre sur l'Eau
<b>DEAH</b>	Direction des Études et des Aménagements Hydrauliques
<b>DGF</b>	Direction Générale des Forêts
<b>EQR</b>	Ecological Quality Ratio
<b>GISPosidonie</b>	Groupement d'Intérêt Scientifique Posidonie
<b>MADR</b>	Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
<b>MRE</b>	Ministère des Ressources en Eau
<b>PAC</b>	Programme d'Aménagement Côtier
<b>PAM</b>	Plan d'Action pour la Méditerranée
<b>PAP/CAR</b>	Programme d'Action Prioritaire/Centre d'Activités Régionales
<b>PNR</b>	Projet National de Recherche
<b>PNUE</b>	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
<b>POMI</b>	<i>Posidonia oceanica</i> Multivariate Index
<b>PosWare</b>	System for Coastal Water Classification by using <i>Posidonia oceanica</i> as Quality Element according to WFD
<b>PREI</b>	<i>Posidonia oceanica</i> Rapid Easy Index
<b>Sarl</b>	Société à responsabilité limitée
<b>SEAM</b>	Sarl d'Elevage Aquacole Méditerranée
<b>UICN</b>	Union Internationale pour la Conservation de la Nature
<b>WFD</b>	Water Framework Directive

*Introduction*  
*générale*

# Introduction Générale

Les écosystèmes marins côtiers sont des milieux de plus en plus affectés par les activités humaines : la croissance démographique, le développement économique (agriculture, industrie, tourisme) et les changements climatiques qui menacent de détruire leur équilibre et la biodiversité qu'ils renferment (Amara, 2010 ; Barbier *et al.*, 2011 ; Mermex Group, 2011 ; Pergent *et al.*, 2014). En Méditerranée, l'augmentation de la pression humaine a principalement engendré la modification des habitats, l'appauvrissement de la biodiversité, l'eutrophisation, l'augmentation de la turbidité, l'érosion côtière et l'introduction d'espèces allochtones (Lasagna *et al.*, 2011 ; Mermex Group, 2011).

Par ailleurs, les impacts cumulés de ces pressions sont régis par des interactions complexes - souvent mal connues - et ne peuvent donc pas être étudiés sur la seule base de la connaissance de la composition chimique des eaux : le meilleur reflet de l'état de santé d'un milieu est fourni par les caractéristiques biologiques des communautés qui y vivent (Reyjol *et al.*, 2012). L'utilisation de bioindicateurs choisis au sein des communautés marines affectées, représente un des moyens d'évaluer l'impact du développement humain sur les écosystèmes marins et de prévenir les situations critiques par la mise en place d'outils de restauration et de conservation (Burger, 2006 ; Le Moal, 2012).

Les indicateurs biologiques fournissent des informations intégrées et synthétiques car ils permettent d'apprécier de manière fiable et rapide la qualité globale du milieu, et de suivre son évolution sur de longues périodes de temps (Pergent-Martini, 2000). Le développement et l'application d'indicateurs biologiques capables de renseigner sur l'état écologique des masses d'eau côtières méditerranéennes a connu un certain essor, depuis l'adoption de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) par le Parlement et le Conseil européen en décembre 2000. Les indicateurs biologiques retenus sont les invertébrés benthiques, le phytoplancton, les macroalgues et les magnoliophytes marines ; dénommés éléments de qualité biologique (Biological Quality Elements - BQE) (Lopez Y Royo, 2008).

# Introduction générale

Les herbiers à *Posidonia oceanica* présentent les potentialités nécessaires pour cette utilisation, du fait de leur large répartition en zone littorale (Pasqualini *et al.*, 1998 ; Procaccini *et al.*, 2003), leur abondance et leur facilité de collecte (Pergent-Martini *et al.*, 1995), leur capacité à accumuler les polluants stables (Augier *et al.*, 1977 ; Pergent-Martini *et al.*, 2000) et leur sensibilité aux agressions liées aux activités humaines (Ardizzone et Pelusi, 1984 ; Pergent-Martini et Guerrini, 1995 ; Ruiz et Roméro, 2003 ; Leoni *et al.*, 2006 ; Boumaza *et al.*, 2014).

## 1.1 Présentation de *Posidonia oceanica*

### 1.1.1. Répartition

*Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile est une magnoliophyte marine, endémique de la Méditerranée ; elle appartient à l'ordre des Najadales et à la famille des Posidoniaceae. Elle constitue des herbiers au niveau de l'étage infralittoral, entre le voisinage de la surface et 30-40 m de profondeur (Meinesz et Laurent, 1978 ; Duarte, 1991). 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). Ils 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 (Figure 1).



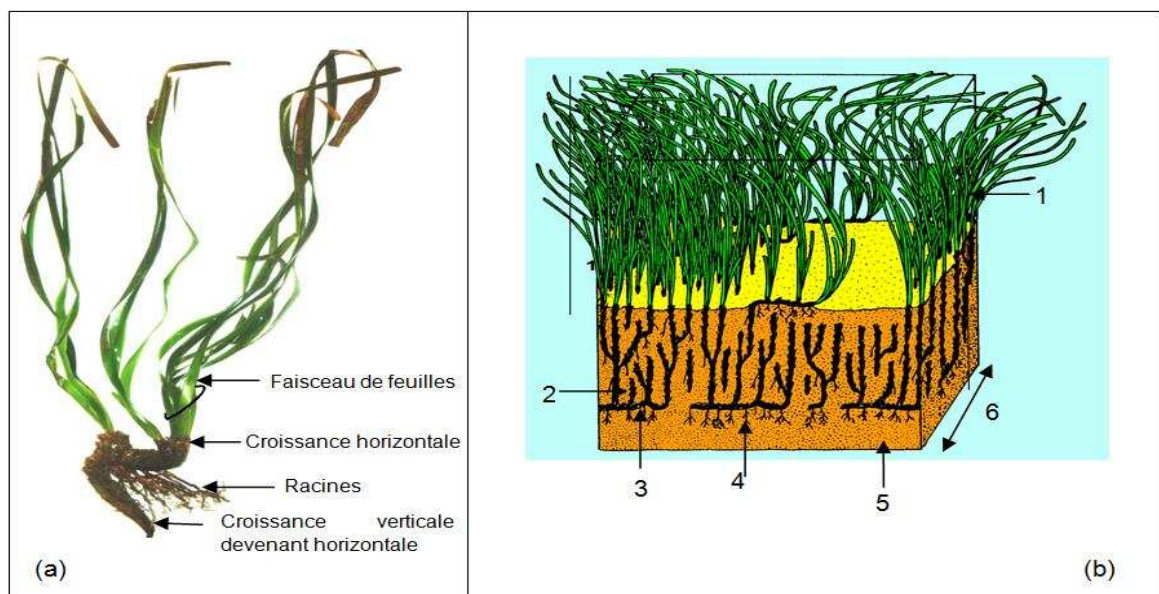
**Figure 1.** Distribution géographique de *Posidonia oceanica* (trait rouge). A : Rhône ; B : Pô ; C : Nil (d'après Pergent *et al.*, 2012).

# Introduction générale

## 1.1.2. Caractéristiques biologiques

Les herbiers à *Posidonia oceanica* se développent à la fois verticalement (compétition pour l'accès à la lumière : rhizomes orthotropes) et horizontalement (compétition pour l'espace : rhizomes plagiotropes) (Boudouresque et Meinesz, 1982). 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 2a). Le lacis de rhizomes et le sédiment qui colmate les interstices constituent un ensemble très caractéristique désigné sous le nom de matte (Boudouresque et Meinesz, 1982) (Figure 2b).

*Posidonia oceanica* s'organise en rhizomes, tiges de consistance ligneuse, totalement ou partiellement enfouies dans le sédiment, et terminés par des bouquets de 5 à 8 feuilles. Ces feuilles sont rubanées, longues de 40 à 140 cm, larges de 7 à 11 mm et insérées de façon distique. Leur base ou pétiole est engainante et persiste sur les rhizomes après la chute du limbe. Ces pétioles, qui recouvrent de façon caractéristique les parties âgées des rhizomes, sont appelés « écailles ». Les feuilles ont une durée de vie comprise entre 5 et 13 mois (Pergent et Pergent-Martini, 1990).



**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 (d'après Boudouresque et Meinesz, 1982).

## Introduction générale

---

*Posidonia oceanica* se multiplie essentiellement de manière asexuée, par bouturage, et plus rarement par reproduction sexuée, avec une floraison à l'automne et une dissémination des fruits (« olives de mer ») mûrs à la fin du printemps (Charbonnel et Boudouresque, 2003). Les inflorescences, portées par un pédoncule de 10 à 25 cm de long, comportent 3 à 5 fleurs hermaphrodites (Den Hartog, 1970).

### 1.1.3. Importance écologique de l'herbier à *Posidonia oceanica*

Les herbiers à *Posidonia oceanica* sont considérés comme les écosystèmes côtiers les plus importants de Méditerranée (Boudouresque *et al.*, 2006 ; Pergent-Martini et Le Ravallec 2007), et ce, pour diverses raisons :

- ils constituent à la fois une zone de nutrition, de reproduction (frayère et nurserie), de recrutement mais aussi un abri pour de nombreuses espèces, dont certaines à forte valeur commerciale (Boudouresque *et al.*, 2006 ; Gobert *et al.*, 2006) ;
- ils sont considérés comme les écosystèmes les plus productifs de Méditerranée. La production totale de la plante a une valeur comprise entre 60 et 705 g C m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>, 6 à 50 % de cette production 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 ; Boudouresque *et al.*, 2006) ;
- 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 ainsi à protéger les côtes de l'érosion (Jeudy de Grissac et Boudouresque, 1985 ; Terrados et Duarte, 2000).

### 1.2. L'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique

En Méditerranée, l'herbier à *Posidonia oceanica* constitue un puissant bioindicateur de la qualité des eaux littorales (Pergent *et al.*, 1995 ; Pergent-Martini *et al.*, 2005). Solidaire du fond, il rend compte, par sa présence et sa vitalité, de la qualité des eaux qui dérivent au-dessus de lui. L'empreinte de la qualité des eaux sur les herbiers à *Posidonia oceanica* est permanente et de nombreux paramètres sont à même d'être enregistrés par l'herbier :

## Introduction générale

---

- ▶ La turbidité moyenne des eaux (matérialisée par la position de sa limite inférieure et par la densité des faisceaux) ;
- ▶ Les courants et l'hydrodynamisme (matérialisés par les structures érosives qui affectent la matre) ;
- ▶ Les taux de sédimentation (matérialisé par la vitesse de croissance des rhizomes et, en cas de déficit, par leur déchaussement) ;
- ▶ Les polluants stables (concentration et mémorisation des teneurs au cours du temps) ;
- ▶ La dessalure aux débouchés de fleuves côtiers ou de nappes phréatiques (matérialisée par la disparition de l'herbier) ;
- ▶ La matière organique et les nutriments (matérialisés par les épiphytes des feuilles et la composition chimique de la plante) (Pergent-Martini *et al.*, 2005 ; Pergent, 2006).

Par conséquent, *Posidonia oceanica* est utilisée en routine pour évaluer l'état de santé du milieu marin méditerranéen, et ce, par la mise en œuvre de nombreux descripteurs qui permettent d'accéder à différentes échelles d'informations : (i) l'écosystème, (ii) l'herbier, (iii) l'individu (échelle du faisceau) et (iv) la physiologie (Tableau 1).

Par ailleurs, l'utilisation de *Posidonia oceanica* en tant qu'élément de qualité biologique a nécessité la mise au point d'indices biotiques capables de caractériser l'état général de la plante, et par conséquent d'appréhender la qualité des masses d'eau. En accord avec la DCE, la classification du statut écologique est basée sur la déviation du statut d'un BQE (Biological Quality Ratio) par rapport aux conditions de référence (définies préalablement). Il est évalué de 1 (conditions de référence) à 0 (mauvaises conditions). Le rapport entre le statut d'un BQE au niveau d'un site donné et son statut en conditions de référence est appelé Ecological Quality Ratio (EQR). Actuellement, cinq indices biotiques basés sur plusieurs descripteurs de *Posidonia oceanica* ont été développés pour évaluer le statut écologique des eaux côtières en Méditerranée (Tableau 2).

## Introduction générale

**Tableau 1.** Liste des différents descripteurs de l'herbier à *Posidonia oceanica* en réponse à différents types de stress (Projet POSIDONIA, 2007).

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

## Introduction générale

**Tableau 2.** Méthodes basées sur les descripteurs de *Posidonia oceanica* pour définir le statut écologique des eaux côtières de Méditerranée dans le cadre de la Directive Cadre des Eaux.

Indice	Descripteurs	Méthode d'agrégation	Conditions de référence	Référence
<b>PosWare</b> (system for coastal water classification by using <i>Posidonia oceanica</i> as quality element according to WFD)	Densité des faisceaux Largeur et longueur des feuilles intermédiaires Production foliaire Production des rhizomes Longueur des rhizomes	Autoclass C Miner 3D	Meilleur site	Buia <i>et al.</i> (2005) in Gobert <i>et al.</i> (2009)
<b>POMI</b> ( <i>Posidonia oceanica</i> Multivariate Index)	Densité des faisceaux Recouvrement Pourcentage des rhizomes plagiotropes Surface foliaire Pourcentage de nécrose foliaire Taux d'azote et de phosphore dans les rhizomes Taux de carbohydrates solubles dans les rhizomes Rapport des isotopes 15N et 34S dans les rhizomes Taux d'azote des épiphytes Taux de Cu, Pb et Zn dans les rhizomes	ACP	Herbier virtuel (meilleurs paramètres)	Romero <i>et al.</i> (2007)
<b>Valencian CS</b>	Densité des faisceaux Recouvrement Pourcentage de matte morte Pourcentage de rhizomes plagiotropes Déchaussement Surface foliaire Pourcentage de nécrose foliaire Pression de broutage Biomasse des épiphytes	ACP	Herbier virtuel (meilleurs paramètres)	Fernandez-Torquemada <i>et al.</i> (2008)
<b>BiPo</b> (Biotic index using <i>Posidonia oceanica</i> )	Profondeur de la limite inférieure Type de la limite inférieure Densité des faisceaux Longueur des feuilles	Moyenne	Meilleur site	Lopez Y Royo <i>et al.</i> (2009a)
<b>PREI</b> ( <i>Posidonia oceanica</i> Rapid Easy Index)	Profondeur de la limite inférieure Type de la limite inférieure Densité des faisceaux Surface foliaire Charge épiphytique	Moyenne	- Densité et surface foliaire : la moyenne des 3 meilleurs sites en enlevant le max. - Limite inférieure : meilleur site dans la région	Gobert <i>et al.</i> (2009)

Des exercices d'intercalibration entre les indices POMI, BiPo et PosWare ont été effectués par Lopez Y Royo *et al.* (2011). Il en résulte que les indices POMI, BiPo présentent non seulement une bonne corrélation avec les pressions anthropiques, mais également entre eux, ce qui permet d'utiliser indifféremment ces deux indices. Néanmoins, le POMI fournit plus d'informations sur les facteurs de stress responsables, d'où une base

## Introduction générale

---

plus riche pour l'aide à la prise de décision. Par contre, le BiPo est plus facile, plus rapide et moins cher dans son application : il est utile lors des monitorings appliqués aux grandes étendues du littoral. Quant au PosWare, il ne présente pas de résultats aussi comparables. En outre, Gobert *et al.*(2009) dans son analyse comparative de ces différents indices confirme que l'application des indices BiPo et PREI est à la fois rentable et facile à appliquer. Ils exigent des plongeurs travaillant sur des stations ponctuelles et aléatoires (~15 m de profondeur) et sur des stations positionnées (limite inférieure).

L'application de l'indice PREI au littoral algérois semble refléter au mieux l'état écologique attendu, il n'en est pas de même pour l'indice BiPo qui perd sa corrélation avec les pressions anthropiques. Par conséquent, l'utilisation de l'indice PREI pour l'évaluation de l'état écologique des eaux côtières algéroises est préconisée par Boumaza *et al.* (2015). Par ailleurs, la perte de précision dans la classification des stations étudiées en utilisant le BiPo, pourrait résulter du fait d'avoir un descripteur en moins pour le calcul de cet indice, en l'occurrence le rapport E/L (rapport biomasse des épiphytes des feuilles sur la biomasse des feuilles). En effet, cette perte de précision dans la classification des masses d'eaux est observée lorsque le nombre de descripteurs pris en compte passe de 8 à 4 puis à 2 (Projet POSIDONIA, 2007).

### 1.3. Cadre de l'étude et objectifs

La présente étude s'inscrit dans une problématique générale destinée à mieux cerner le rôle des herbiers à *Posidonia oceanica* dans la Gestion Intégrée des Zones Côtières en Méditerranée. Le travail développé dans ce mémoire de magister constitue la continuité des travaux entamés en 2011 par l'équipe « Ecosystèmes littoraux » dans le cadre d'un « Projet National de Recherche » (PNR, code 2/μ 163/431) qui s'oriente vers la mise en œuvre d'un indice biotique basé sur *Posidonia oceanica* pour évaluer la qualité globale des eaux côtières de la zone algéroise (Boumaza *et al.*, 2015).

Ce travail s'articule autour de six (6) objectifs complémentaires :

- (i) caractériser les herbiers à *Posidonia oceanica* des baies de Bou Ismaïl, d'Alger et de Zemmouri. Pour ce faire, douze (12) stations soumises à différentes pressions anthropiques (rejets d'effluents urbains et industriels,

## Introduction générale

---

station de dessalement de l'eau de mer, activités aquacoles, structures portuaires) sont considérées. Cette caractérisation s'effectue à la fois au niveau de la population (densité), de l'individu (biométrie foliaire) et de la communauté associée (couverture épiphytique) ;

- (ii) évaluer le statut écologique des eaux côtières algéroises à travers l'application de l'indice PREI (*Posidonia Rapid Easy Index*) (Gobert *et al.* 2009) ;
- (iii) comparer les statuts écologiques, assignés par l'indice PREI aux différentes stations étudiées en 2011 et 2015 ;
- (iv) évaluer la pression anthropique exercée sur les stations étudiées en utilisant les méthodes décrites par Lopez Y Royo *et al.* (2009b) - méthode basée sur l'utilisation d'images satellitaires et par Larid dans le cadre du Programme d'Aménagement Côtier PAC « zone côtière algéroise » (PNUE/PAM/PAP/CAR, 2005) - approche méthodologique basée sur la combinaison des trois agrégats : naturalité, anthropisation, altérité ;
- (v) établir le lien entre le statut écologique des eaux côtières algéroises et les pressions anthropiques : étape essentielle, car elle détermine la sensibilité et la robustesse de la méthode ;
- (vi) fournir les conclusions quant à la pertinence de cet indice biotique basé sur *Posidonia oceanica* dans l'évaluation des actions anthropiques sur le littoral algérois et enfin proposer des perspectives de recherche.

*Matériel*  
&  
*Méthodes*

# Matériel et méthodes

## 2.1. Présentation des stations

Douze (12) stations, réparties le long du littoral algérois, sont considérées dans le cadre de ce travail. Ces stations ont déjà fait l'objet d'un suivi, pour la plupart d'entre elles en 2011 ; à l'exception de la station localisée au niveau de la Pointe Pescade. Les stations sont choisies en fonction des différents types de pressions anthropiques qui les affectent et sont réparties dans les baies de Bou Ismaïl (9 stations), d'Alger (1 station) et de Zemmouri (2 stations).

Les cartes montrant la localisation géographique des stations sont représentées par secteur pour une meilleure lisibilité (Figures 4, 5 et 6). Elles sont élaborées à l'aide de MapInfo Professional Version 8.0 (logiciel SIG). Le trait de côte, les isobathes et le réseau hydrographique sont dessinés à partir d'une carte marine (Service Hydrographique des Forces Navales, 1998). Les stations d'épuration des eaux usées et les industries polluantes sont relevées à partir de cartes déjà établies (PNUE/PAM/CAR PAP, 2006 ; APPL, 2014).

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

La baie de Bou Ismaïl est l'une des plus importantes de la côte algérienne. D'une superficie de 350 km<sup>2</sup>, elle s'étend de 2° 54 E et 36° 48 N à 2° 24 E et 36° 38 N avec une ouverture de l'ordre de 40 km. Elle est délimitée à l'est par le massif d'Alger (Ras Acrata) et par le Mont Chenoua à l'ouest et est orientée SO-NE. Trois oueds à régime irrégulier débouchent dans la baie de Bou Ismaïl : oued Mazafran, oued Nador et oued Beni Messous (Bachari-Houma, 2009). Ces derniers drainent les eaux usées, les polluants des villes et des industries implantées sur leur parcours et les eaux de lessivage des sols des régions agricoles qu'ils traversent (Bakalem, 2008 ; Bakalem *et al.*, 2009).

La frange côtière de la baie de Bou Ismail reste une zone peu industrialisée et à faible urbanisation. Elle présente des particularités morphologiques, climatiques et culturelles qui

## Matériel et Méthodes

---

lui confèrent un aspect touristique et agricole (Grimes, 2010). La population supplémentaire d'estivants dans la Wilaya de Tipasa a été estimée à 17 millions pour l'année 2011, selon Haouchine *et al.* (2015). La région littorale et l'arrière-pays de la baie de Bou Ismaïl sont surtout à vocation agricole : les cultures intensives sous serres ont connu un grand développement avec un recours abusif aux engrais chimiques et produits phytosanitaires, ce qui n'est pas sans conséquences sur l'environnement marin (Bakalem, 2008).

L'herbier à *Posidonia oceanica* est la principale communauté benthique de l'étage infralittoral de la baie de Bou Ismaïl. Il se développe sur substrat dur et la position bathymétrique de sa limite inférieure – située à 20 m de profondeur en moyenne – coïncide avec la bordure inférieure du platier rocheux. La nature du substrat semble être à l'origine de ce type de limite, comme signalé par Clabaut *et al.* (2010) en Corse. En outre, la baie de Bou Ismaïl est exposée à des courants de fond orientés d'ouest vers l'est rendant difficile le maintien ou la progression de l'herbier vers le large (Braïk, 1989). Dans la partie orientale de la baie, les herbiers sont moins florissants en raison de l'influence des courants parallèles à la côte et des apports de l'oued Mazafran (Le Gall, 1969 ; PNUE/ PAM/ CAR/ ASP/2004).

### 2.1.1.1. Station de Cap El Hamouche (CH)

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 intensive pratiquée sur la frange littorale et une urbanisation anarchique. Les rejets des eaux usées évacués en mer, l'extraction de sable de plage et la pêche sur les herbiers sont 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). Au niveau de la localité de Chenoua, plusieurs rejets sont également dénombrés (CNL-Tipasa, 2015).

### 2.1.1.2. Station de Kouâli (AK)

Cette station se situe à l'est de la commune de Tipasa, qui est caractérisée par une activité humaine peu marquée et est représentée essentiellement par l'occupation

## Matériel et Méthodes

---

saisonnaire 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 (Grimes, 2011). D'ailleurs, l'ensemble Mont Chenoua-anses de Kouâli a été retenu par les autorités algériennes chargées de l'environnement pour bénéficier du statut d'Aire Marine et Côtière Protégée (AMCP) (Semroud *et al.*, 1971 ; Mangos et Claudot, 2013). L'herbier à *Posidonia oceanica* de l'anse de Kouâli s'étend entre 0,3 et 20m de profondeur et se développe sur substrat dur. Sa productivité primaire est l'une des plus importantes enregistrées en Méditerranée et constitue de ce fait un herbier de référence dans la baie de Bou Ismaïl (Boumaza et Semroud, 2000 ; Boumaza *et al.*, 2014 ). En outre, cette station est caractérisée par la présence d'un certain nombre de paysages marins menacés en Méditerranée, tels le récif-barrière à *Posidonia oceanica* et les trottoirs à vermetes (Boudouresque *et al.*, 1990). Cependant, depuis 2010, le petit cours d'eau - reliant l'oued Seris et l'oued Hadjidji - qui se déverse au centre de l'anse, charrie des eaux usées dont l'impact sur le récif-barrière est déjà perceptible par la présence de mattes mortes (Boumaza, comm. Pers.).

### 2.1.1.3. Station de Berrard (Br)

Cette station située dans la commune d'Aïn Tagouraït, a été choisie du fait de sa proximité d'une ferme mytilicole SEAM « Sarl d'Elevage Aquacole Méditerranée ». Cette ferme a une capacité annuelle de production de 50 Tonnes de moules (*Mytilus galloprovincialis*) pour un total de cinq (05) filières.

La mytiliculture introduit dans le milieu des structures physiques qui altèrent la dynamique hydrosédimentaire en modifiant les courants et en augmentant les taux de sédimentation. Les biodépôts rejetés par les moules et les organismes associés accroissent l'eutrophisation et les processus biogéochimiques, modifiant la demande en O<sub>2</sub>, le pH, les potentiels redox, les concentrations en sulfures dissous et les flux de CO<sub>2</sub> et de nutriments à l'interface eau-sédiment. La mytiliculture peut aussi modifier la dynamique des herbiers et des macroalgues, cependant ces effets restent peu documentés. À plus large échelle, les effets sur le benthos sont liés notamment aux concentrations des épibiontes macrobenthiques dans les concessions, aux changements locaux des communautés planctoniques et à la prolifération d'espèces invasives ou autres espèces nuisibles à cause de l'addition de structures physiques dans le milieu (Mc Kindsey *et al.*, 2011).

## Matériel et Méthodes

---

### 2.1.1.4. Station de Khemisti (Kh)

Cette station se situe à proximité du port de pêche de Khemisti, caractérisé par un fort ensablement et une pollution organique et inorganique par les métaux lourds (Bachouche *et al.*, 2010). En effet, le volume des eaux usées rejetées en mer et dans les oueds au niveau de la commune de Khemisti est de 1920 m<sup>3</sup> par jour (MRE/DEAH/CTB, 2012).

### 2.1.1.5. Stations de Bou Ismaïl

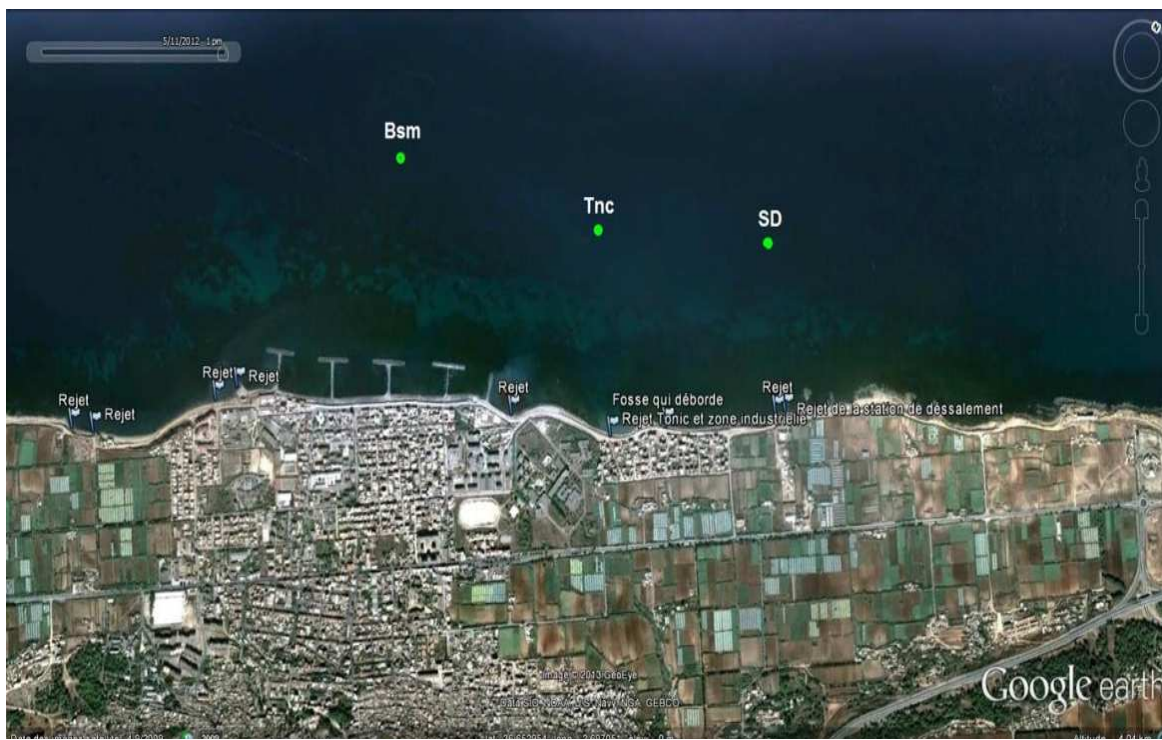
Trois stations sont considérées au large du Front de mer de la ville de Bou Ismaïl. Cette ville est considérée comme la plus industrialisée de la wilaya de Tipasa. Trois (03) unités industrielles classées « Grande Industrie » sont implantées sur les hauteurs de la ville sur un total de dix (10) unités que compte cette wilaya (PNE, 2010 *in* MRE/DEAH/CTB/2012). Les activités industrielles concernent principalement les secteurs de la métallurgie, le textile, la tannerie, le papier, le plastique et la céramique (PNUE/PAM/CAR PAP, 2006). 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). Le volume des eaux usées rejetées en mer dans la commune de Bou Ismaïl est de 5 200 m<sup>3</sup> par jour (MRE/DEAH/CTB, 2012). Elles charrient des quantités importantes de matières organiques et de détergents qui atténuent la transparence de l'eau et réduisent ainsi la pénétration de la lumière (Braïk, 1989 ; PNUE/PAM/CAR PAP, 2006).

**-Station de Bou Ismaïl (1) (Bsm) :** Cette station se situe à 600 m au large des épis de protection perpendiculaires à la côte (quatre épi en T et un épi en I). Ces épis sont utilisés comme abri pour les petites embarcations de pêche et de plaisance, retenant ainsi la pollution engendrée par ces dernières. De plus, la région subit les effets de 03 rejets importants (CNL-Tipasa, 2015) (Figure 3).

**- Station de Bou Ismaïl (2) (Tnc) :** Cette station se situe à 600 m au large du réseau collecteur de la ville qui draine une pollution domestique et industrielle.

## Matériel et Méthodes

- **Station de Bou Ismaïl 3 (SD)** : Cette station se situe à 580 m au large du rejet de la station de dessalement de Bou Ismaïl. La station a fonctionné de 2004 à février 2015, sa capacité était de 5000 m<sup>3</sup> par jour et la saumure était rejetée directement en mer.



**Figure 3.** Localisation des stations de Bou Ismaïl et des différents rejets au niveau du front de mer de la ville de Bou Ismaïl (CNL-Tipasa, 2015).

### 2.1.1.6. Station de la Madrague (LP)

Cette station se situe dans la commune d'Aïn Benian, à l'extrémité est de la baie de Bou Ismaïl, exactement dans la petite baie d'El Djamila qui est limitée par Ras Acrata à l'est et par la presqu'île de Sidi Fredj à l'ouest. La station est à 700 m au large du port de pêche et de plaisance d'El Djamila (ex La Madrague). Cette région est marquée par une forte urbanisation qui se concentre sur la marge littorale, en arrière de laquelle s'étendent des terres agricoles. Le site 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. Le volume des rejets en eaux usées au niveau de la commune d'Aïn Benian est de 13 300 m<sup>3</sup> par jour (MRE/DEAH/CTB/2012). Malgré la réalisation d'une station d'épuration des eaux usées (Figure 5) au niveau de cette commune, de nombreux rejets sauvages déversent leurs eaux usées en mer et ce, au niveau de plusieurs plages de la

## Matériel et Méthodes

---

commune. La baie d'El Djamila reçoit les apports terrigènes de l'oued Beni Messous (Bakalem, 2008). Son embouchure est à environ 2 km à l'ouest de la station LP.

### 2.1.1.7. Station d'Aïn Benian (AB)

Cette station se situe aussi dans la commune d'Aïn 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. Stations de la baie d'Alger

La baie d'Alger occupe la partie centrale de la côte algérienne, c'est une baie régulière délimitée par la Pointe Pescade à l'ouest et le cap Matifou à l'est, d'une superficie de l'ordre de 180 km<sup>2</sup>. Les apports terrigènes sont dus essentiellement à oued El Harrach dans le secteur centre et oued Hamiz dans le secteur est. Ce sont des oueds à régime irrégulier qui drainent vers la baie toutes les eaux usées domestiques, agricoles et industrielles des zones de la Mitidja qu'ils traversent. Les eaux usées urbaines d'Alger, des villes côtières et d'un certain nombre d'unités industrielles sont drainées vers le port ou la baie d'Alger grâce à un réseau d'assainissement complexe. La région algéroise est une région très urbanisée et industrialisée: environ 15% de la population algérienne et 22 % du parc national des unités économiques (Bakalem, 2008). La baie d'Alger constitue le réceptacle de plusieurs types de pollution ; les eaux usées déversées sans traitement sont chargées de matières organiques, matières en suspension, détergents et huiles lubrifiantes ce qui génère des pollutions organiques et chimiques (Bachari-Houma, 2009).

#### 2.1.2.1. Station de la Pointe Pescade (PP)

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. L'urbanisation au niveau de cette région se concentre au niveau de la frange littorale. Le volume des eaux usées rejetées en mer est de 4 700 m<sup>3</sup> par jour (MRE/DEAH/CTB/2012).

### 2.1.3. Stations de la baie de Zemmouri

La baie de Zemmouri se situe à l'est de la baie d'Alger. Très largement ouverte vers le nord, elle s'étale sur une cinquantaine de kilomètres. Elle est limitée à l'ouest par le cap Matifou et à l'est par le cap Djinet. L'oued Isser constitue le principal tributaire (Benslama, 1990). En raison de la nature des terrains traversés par cet oued, les troubles évacués en mer sont importants. En effet, le débit solide véhiculé par ce dernier est estimé à 4.8 millions de tonnes/an (Dagorne *et al.*, 1985). La région prise en considération dans cette étude est située à l'extrémité ouest de la baie de Zemmouri et à 28 km de cet oued. Le choix de ce site a été effectué du fait de sa proximité de l'embouchure du lac de Réghaia ; la zone constitue en outre une zone humide, classée réserve naturelle en 2016. Le lac de Réghaia forme un réceptacle direct des eaux urbaines, industrielles (zone industrielle de Rouiba-Réghaia) et agricoles (les activités agricoles dominantes sont les cultures maraîchères, la viticulture et la culture d'agrumes). Il reçoit quotidiennement environ 80 000 m<sup>3</sup> d'eaux polluées, imputées aux divers rejets, qui ont dépassé les normes internationales admises (MADR/DGF/2003 ; PNUE/PAM/CAR PAP, 2006; Thibault, 2006). Aux effluents de rejets liquides, chargés en polluants, viennent s'ajouter les quantités de déchets spéciaux produits par la zone industrielle Rouiba-Réghaia (soit 716 t/an stockées actuellement dans les unités de production) (CAR/ASP - PNUE/PAM, 2015).

D'autre part, cette région est influencée par les effets négatifs provoqués par le grand effort de pêche qui est focalisé sur une zone très limitée (îlots de Sandja et île Agueli). De plus, l'analyse de la ligne de rivage le long de la côte entre Cap Matifou et l'embouchure de l'Oued Réghaia montre une tendance vers le recul. Cela est dû à l'ouverture de plusieurs sites d'extraction de sables le long de la côte Est de la wilaya d'Alger (CAR/ASP - PNUE/PAM, 2015).

#### 2.1.3.1. Stations de l'île Agueli (AGI et AGII)

Ces deux stations se situent à la périphérie de la petite île rocheuse d'Agueli (212 m<sup>2</sup>), à un kilomètre au large de la côte, face à l'embouchure du lac de Réghaia. En effet, la station AGI est située à 200m à l'est de l'île et la station AGII se situe à 100m au sud-ouest de l'île.

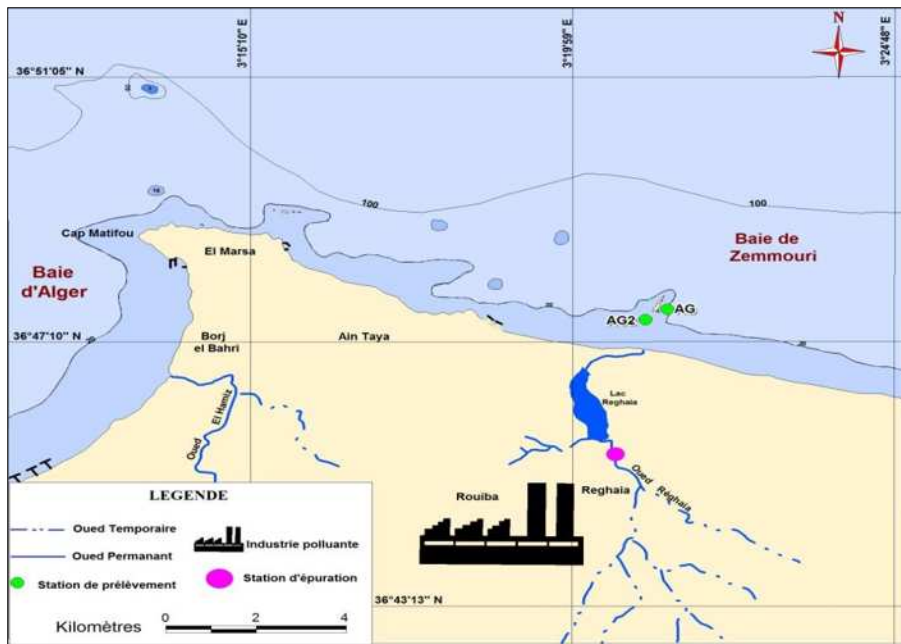
## Matériel et Méthodes



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



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



**Figure 6.** Localisation des stations étudiées au niveau de la baie de Zemmouri.

### 2.2. Prélèvement des échantillons et mesures *in-situ*

Le prélèvement et les mesures *in-situ* sont effectués durant une période très courte, afin de s'affranchir de l'impact saison sur les différents paramètres étudiés (Tableau 3). Pour chacune des stations, 20 rhizomes orthotropes sont prélevés à environ 12 – 14m de profondeur, en plongée en scaphandre autonome selon le protocole décrit par Gobert *et al.* (2009) (Figure 7). Les rhizomes récoltés sont distants d'environ un mètre les uns des autres, afin d'éviter les individus rattachés à un même rhizome plagiotrope (Pergent, 1987). Les rhizomes prélevés sont ensuite conservés dans de l'eau de mer formolée à 10%, dans des sachets en plastique bien fermés et étiquetés, jusqu'à leur étude au laboratoire.



**Figure 7.** Récolte des rhizomes de *Posidonia oceanica* en plongée autonome.

## Matériel et Méthodes

**Tableau3.** Coordonnées géographiques des stations étudiées et calendrier de l'échantillonnage et des mesures *in-situ*.

Baie	Station	Coordonnées	Date
Baie de Bou Ismaïl	Cap El Hamouche (CH)	36° 38.533' N 02° 23.508' E	07/08/2015
	Kouâli (AK)	36° 35.677' N 02° 29.707' E	08/08/2015
	Berrard (Br)	36° 36.977' N 02° 37.489' E	10/08/2015
	Khemisti (Kh)	36° 38.579' N 02° 40.098' E	11/08/2015
	Bou Ismaïl 1 (Bsm)	36° 39.250' N 02° 41.161' E	29/07/2015
	Bou Ismaïl 2 (Tonic) (Tnc)	36° 39.363' N 02° 41.529' E	10/08/2015
	Bou Ismaïl 3 (Station de dessalement) (SD)	36° 39.609' N 02° 42.070' E	11/08/2015
	La Madrague (LP)	36° 48.035' N 02° 53.428' E	13/08/2015 19/08/2015
	Aïn Benian (AB)	36° 48.553' N 02° 55.195' E	13/08/2015
Baie d'Alger	La Pointe Pescade (PP)	36°49.143' N 03°01.178' E	18/08/2015
Baie de Zemmouri	Ile Aguelli (AGII)	36°47.527' N 03°20.993' E	16/08/2015
	Ile Aguelli (AGI)	36° 47.527' N 03° 21.252' E	23/07/2015

### 2.2.1. Profondeur de la limite inférieure

La position de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia* est souvent considérée comme un indice de la qualité et de la transparence des eaux : si les eaux littorales sont claires, cette limite est profonde, si elles sont turbides, la limite est plus élevée (Augier et Boudouresque, 1979 ; Charbonnel *et al.*, 1993 ; Pergent, 1991 ; Ballesta *et al.*, 2000). Elle est mesurée à l'aide d'un profondimètre électronique (précision  $\pm 10$  cm). Au niveau de chaque station, la moyenne de plusieurs mesures prises tout au long de la limite inférieure est calculée.

### 2.2.2. Type de la limite inférieure

Le type de limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* apporte des informations sur la dynamique de l'herbier, d'une part en fonction de l'évolution de la transparence de l'eau et d'autre part en fonction de l'intensité de l'hydrodynamisme

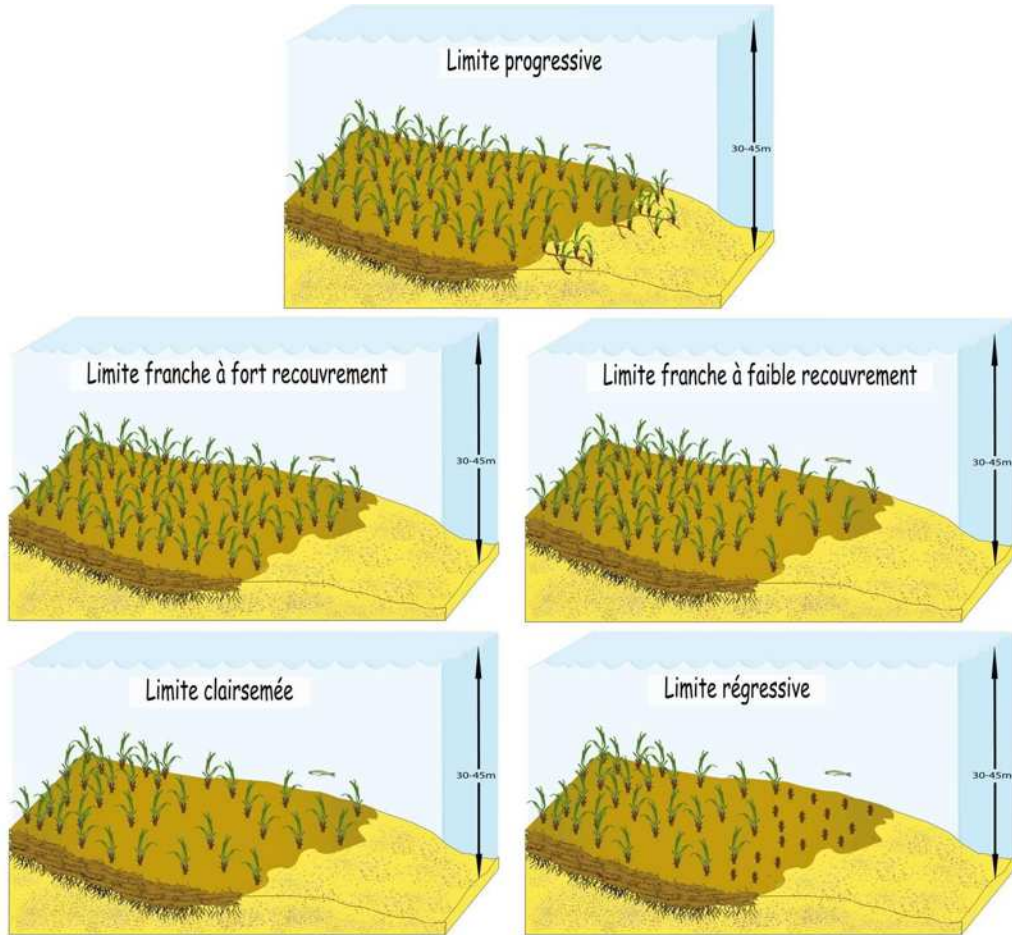
(Meinesz et Laurent, 1978). Le type de limite est en mesure d'apporter des informations sur les conditions du milieu, de façon plus précoce que l'extension bathymétrique de la limite inférieure (Pergent *et al.*, 2005 ; Lopez y Royo, 2008).

Une observation en plongée permet de caractériser le type de limite en fonction de la typologie de Pergent *et al.* (2004) (Figure 8) :

- **La limite progressive** est caractérisée par la présence de rhizomes plagiotropes disposés de façon parallèle, dans le sens de la pente. L'herbier n'édifie pas de matte mais la présence de ces rhizomes traduit une amélioration, au moins momentanée, de la qualité des eaux.
- **La limite franche à fort ou à faible recouvrement** est caractérisée par des limites nettes qui présentent soit un recouvrement supérieur à 25% (fort recouvrement), soit inférieur à 25% (faible recouvrement). Ces limites indiquent généralement un statut d'équilibre, mais le faible recouvrement peut indiquer une détérioration de l'environnement et traduire un début de déséquilibre.
- **La limite clairsemée** est constituée de semi-herbiers, dont la densité est inférieure à 100 faisceaux par m<sup>2</sup> et le recouvrement est inférieur à 15%. Elle traduit en général un herbier en phase de démantèlement.
- **La limite régressive** est caractérisée par la présence de mattes mortes en avant de la limite, ce qui atteste d'un recul de l'herbier. Quelques faisceaux de feuilles, témoins de l'ancienne position de l'herbier, subsistent en aval de la limite actuelle. Ce type de limite traduit une régression de l'herbier.

### 2.2.3. Densité de l'herbier

La densité de l'herbier est un bon indicateur de la turbidité de l'eau (Pergent-Martini *et al.*, 1999), elle correspond au nombre de faisceaux par unité de surface (m<sup>2</sup>). Elle est déterminée par des comptages *in-situ*, au moyen d'un carré de 40 cm de côté (Pergent-Martini *et al.*, 2005) (Figure 9). Pour chaque station, dix mesures sont effectuées au hasard dans l'herbier afin de prendre en compte la structure globale de l'herbier (Panayotidis *et al.*, 1981). Lorsque l'herbier est discontinu, les comptages sont réalisés à l'intérieur des taches d'herbier (Pergent *et al.*, 2008).



**Figure 8.** Schéma des différents types de limites inférieures de l'herbier à *Posidonia oceanica* (d'après Pergent *et al.*, 2005).



**Figure 9.** Comptage *in-situ* de la densité avec un carré de 40 cm de côté.

### 2.3. Etude des paramètres biométriques

#### 2.3.1. Surface foliaire

La surface foliaire par faisceau, intègre l'ensemble des variables phénologiques : nombre, longueur et largeur des feuilles. Ce descripteur constitue un bon indicateur de la transparence de l'eau (Ruiz et Romero, 2001, 2003), de l'enrichissement du milieu (Cancemi *et al.*, 2003 ; Leoni *et al.*, 2006) et de la pollution par les rejets industriels (Balestri *et al.*, 2004).

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 10):

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

Dans le cadre de ce travail, seules les feuilles adultes et intermédiaires sont prises en compte. Les paramètres mesurés sont la longueur et la largeur de chaque feuille et le nombre de feuilles par faisceau. À partir de ces données biométriques, la surface foliaire globale pour chaque faisceau est exprimée en cm<sup>2</sup>.

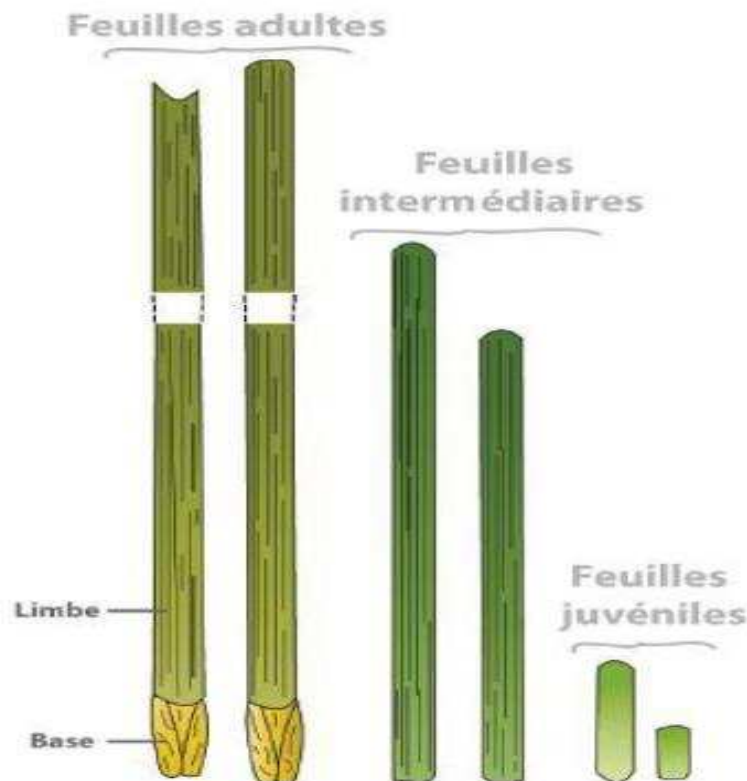
#### 2.3.2. Rapport biomasse des épiphytes sur biomasse des feuilles (E/L)

Les feuilles de *Posidonia oceanica* constituent un excellent substrat pour les organismes épiphytes (Fucophycées, Rhodobiontes, Bryozoaires, Hydriaires, *etc.*) (Boudouresque *et al.*, 2006), et leur développement excessif peut avoir un impact négatif sur le développement de la plante, car ils créent un écran réduisant la pénétration de la lumière (Dalla Via *et al.*, 1998). L'aptitude des épiphytes à répondre de façon précoce aux

## Matériel et Méthodes

modifications du milieu, fait de leur biomasse un indicateur incontournable dans les programmes de surveillance et de gestion des zones côtières (Giovannetti *et al.*, 2010).

Les faisceaux ayant servi à la biométrie foliaire sont utilisés pour déterminer la biomasse des épiphytes. Pour chaque faisceau, les deux faces de chaque feuille sont soigneusement grattées avec une lame de rasoir. Les feuilles et les épiphytes sont séchés séparément à l'étuve pendant 72 h à 70°C. La matière sèche est ensuite pesée à l'aide d'une balance de type Denver instrument M-220 D (précision de 0,1 mg). La biomasse est exprimée en mg Ps (poids sec) par faisceau. Le rapport E/L est ensuite calculé, il correspond au rapport de la biomasse des épiphytes sur la biomasse des feuilles (adultes et intermédiaires).



**Figure 10.** Types de feuilles de *Posidonia oceanica* en fonction de leur âge (d'après Pergent *et al.*, 2008).

### 2.4. Calcul de l'indice PREI

Le « *Posidonia oceanica* Rapid Easy Index » (PREI) permet de définir le statut écologique des masses d'eau côtières en Méditerranée. Cet indice a été mis au point en respectant les prérogatives de la Directive Cadre de l'Eau (WFD 2000/60/EC) (Gobert *et al.*, 2013). La détermination de cet indice biotique se fait par la combinaison des paramètres suivants : profondeur et type de la limite inférieure, densité de l'herbier, surface foliaire et rapport biomasse des épiphytes des feuilles sur la biomasse des feuilles (E/L) (Gobert *et al.*, 2009).

Selon la Directive Cadre de l'Eau, la classification de l'état écologique est basée sur l'écart entre le statut de l'Elément de Qualité Biologique (EQB) et son statut potentiel dans des conditions de référence. Cet état écologique est exprimé à l'aide d'une échelle allant de 1 (conditions de référence) à 0 (mauvaises conditions) où l'EQB est gravement affecté ou absent. Le rapport entre l'état d'un EQB donné dans une station et son état dans les conditions de référence est appelé Ratio de Qualité Ecologique (EQR) (Gobert *et al.*, 2009).

Pour calculer cet EQR, une détermination des conditions de référence doit être établie. Ces dernières, décrivent les caractéristiques dans des conditions non perturbées ; elles correspondent aux meilleures valeurs de chaque descripteur mesuré (Gobert *et al.*, 2009).

Tout d'abord, un indice EQR', intégrant la moyenne des différents paramètres dans chacune des stations, est défini à partir de la formule suivante :

$$\text{EQR}' = (\text{N}_{\text{densité}} + \text{N}_{\text{surf foliaire}} + \text{N}_{(E/L)} + \text{N}_{\text{limite inf.}}) / 3.5 \dots (1)$$

Avec :

$\text{N}_{\text{densité}} = (\text{densité de la station} - \text{densité de la classe mauvaise}) / (\text{densité de référence} - \text{densité de la classe mauvaise})$

$\text{N}_{\text{surf foliaire}} = (\text{surface foliaire de la station} - \text{surface foliaire de la classe mauvaise}) / (\text{surface foliaire de référence} - \text{surface foliaire de la classe mauvaise})$

## Matériel et Méthodes

---

$$N_{(E/L)} = [1 - (E/L)] \times 0,5$$

$N_{\text{limite inférieure}} = (\text{limite inférieure de la station} - \text{limite inférieure de la classe mauvaise}) / (\text{limite inférieure de référence} - \text{limite inférieure de la classe mauvaise}).$

La limite inférieure de la station est corrigée en tenant compte de sa dynamique :

$N' = \text{profondeur mesurée (limite stable)} ; \text{profondeur mesurée} + 3 \text{ (limite progressive)} ; \text{profondeur mesurée} - 3 \text{ (limite régressive)}.$

La détermination des conditions de références et de mauvaises classes est donnée pour chacun des paramètres comme suit (Gobert *et al.*, 2009) :

- Pour la densité et la surface foliaire, les valeurs de référence correspondent à la moyenne des trois valeurs supérieures du paramètre considéré, après que la valeur maximale soit rejetée, alors que les valeurs de la classe mauvaise correspondent à la valeur 0.
- Pour le rapport E/L, la valeur de référence est de 0 correspondant à des faisceaux sans épiphytes.
- La limite inférieure de référence correspond à la valeur de la limite inférieure maximale rencontrée dans la région. Tandis que la limite inférieure de la classe mauvaise correspond à la limite inférieure la plus basse des herbiers de Posidonie.

Une valeur arbitraire de 0.100 est attribuée à l'EQR de la mauvaise classe ; les autres EQR sont obtenus en divisant l'intervalle [0,100 - 1] en 4 classes d'égale amplitude (Tableau 4) (Gobert *et al.*, 2009). Par ailleurs, l'absence de *Posidonia oceanica* n'est pas nécessairement liée à une dégradation, donc la classe « mauvaise » est attribuée à des situations où est constatée une disparition récente de l'herbier (< 5 années) (Med-GIG, 2007 ; Gobert *et al.*, 2013 ). Par conséquent, l'EQR est calculé comme suit :

$$\mathbf{EQR = (EQR' + 0,11) / (1 + 0,10) \dots (2)}$$

**Tableau 4.** Echelle d'interprétation de l'Ecological Quality Ratio (EQR) de l'indice PREI pour l'évaluation de la qualité des masses d'eau côtières (d'après Gobert *et al.*, 2009).

EQR	Statut écologique	Code couleur
1 - 0,775	Très bon	Bleu
0,774 - 0,550	Bon	Vert
0,549 - 0,325	Moyen	Jaune
0,324 - 0,100	Médiocre	Orange
0,100 - 0,00	Mauvais	Rouge

### 2.5. Evaluation de la pression anthropique

Dans le but de mieux définir les limites d'utilisation et les avantages que présente la mise en œuvre de l'indice PREI pour caractériser l'état écologique des eaux côtières algéroises, une évaluation de la pression anthropique exercée au niveau de chacune des stations est établie. A cet effet, deux méthodes ont été mises en œuvre : la première basée sur l'estimation visuelle avec l'utilisation d'images satellitaires, et la deuxième basée sur la combinaison de trois agrégats : naturalité, anthropisation et altérité.

#### 2.5.1. Evaluation visuelle des pressions anthropiques selon la méthode décrite par Lopez Y Royo *et al.* (2009 b)

Les pressions sont évaluées à différentes échelles ou unités géographiques par l'utilisation d'images satellitaires. Les pressions anthropiques sont évaluées à l'intérieur d'une surface d'un carré de 25km×25km. On positionne la station étudiée au centre de ce carré et on calcule la distance à la source de stress, cette distance est indicative si elle est à moins de 10 km de la station.

Les pressions prises en compte, qui affectent la zone côtière sont au nombre de cinq (05) : (i) occupation des sols, (ii) industries, (iii) ports, (iv) rivières et (v) structures artificielles (autre que les structures urbaines). Elles sont considérées comme indicatrices des pressions liées à la densité de la population, l'urbanisation, les activités industrielles, l'aquaculture, les pêcheries, le transport de marchandises et le tourisme. Elles sont donc susceptibles d'induire des modifications sur l'environnement côtier. En outre, elles sont

## Matériel et Méthodes

---

facilement identifiables en utilisant des images satellitaires avec une moyenne/bonne résolution. Chacun de ces cinq éléments est classé en source de pression élevée, modérée, faible ou nulle. Concernant les industries, les ports et les rivières, leur présence et leur distance par rapport à la station étudiée sont mesurées et notées. Pour les ports, le type (industriel, commercial, loisir, pêche) est également noté. Le critère utilisé pour l'évaluation du taux de pression est la distance entre la pression identifiée et la station étudiée (Tableau 5).

Si des ports sont présents dans l'aire considérée, la classification est la suivante : les ports industriels (<10km) sont classés comme pression élevée, les ports industriels (>10km) et/ou les ports commerciaux (<10km) sont classés comme pression modérée, les ports commerciaux (>10km) et/ou de loisirs (<10km) sont classés comme pression faible. Lorsque les ports sont inexistants ou très petits ils sont classés comme pression nulle (Tableau 5).

Dans le cas où plusieurs pressions coexistent dans l'aire considérée, par exemple deux industries, la plus proche de la station est prise en compte pour la classification. Pour les structures artificielles, les ouvrages côtiers et/ou les infrastructures touristiques, ils sont enregistrés dans un rayon de 10km et ils sont classés comme pressions modérées et leur absence comme pression nulle.

Pour l'occupation des sols, trois types d'occupation sont considérés : urbain, agricole et naturel. Le type est déterminé sur une surface de 10km × 10km, à l'aide d'une grille divisée en carreaux de 500m × 500m, placée directement sur une image Google-Earth de chaque station (Figure 11). Le type d'occupation est estimé sur des carrés de 0,25 km<sup>2</sup> du linéaire côtier. Le pourcentage du type d'occupation est déterminé à partir du nombre de carreaux attribué à chaque type (urbain, agricole et naturel). Le pourcentage des différents types d'occupation obtenus est utilisé pour la classification de ce type de pression : élevée, modérée, faible ou nulle (Tableau 5).

Les cinq éléments présentés dans le tableau 5 sont utilisés pour évaluer la pression totale exercée sur chacune des stations.

## Matériel et Méthodes

Dans le cadre de ce travail, nous avons utilisé l'approche proposée par Garcia Marin (2013) qui propose de donner une valeur numérique à chacune des catégories (3-élevée, 2-modérée, 1-faible et 0-nulle ; Tableau 5) et de calculer la moyenne des scores attribués à chacune des pressions pour évaluer la pression finale qui sera subdivisée en 3 catégories (Tableau 6).

**Tableau 5.** Classification des 5 types de pression considérés (occupation du sol, rivières, industries, ports et structures artificielles) (Lopez Y Royo *et al.*, 2009b).

Type de pression	Elevée (3)	Modérée (2)	Faible (1)	Aucune (0)
<b>Occupation du sol (% du linéaire côtier)</b>	Urbain >90%	Naturelle :<50% Urbaine+Agricole :>50%	Urbaine+Agricole :<50% ; Ou seulement agricole <90%	Naturelle >90%
<b>Rivières (distance du site)</b>	n/a	<10km (dans la même baie)	>10km	Aucune
<b>Industries (distance du site)</b>	<10km	Industrie : >10 km	n/a	Non
<b>Ports (type et distance du site)</b>	Industriel <10km	Industrie :>10km et/ou commercial :<10km	Commercial : >10km ; Plaisance : <10km	Non
<b>Structures artificielles</b>	n/a	oui	n/a	Non

n/a : no answer (Aucune réponse)

**Tableau 6.** Limites des intervalles dans l'évaluation de la pression selon Garcia Marin (2013).

Evaluation de la pression	
Valeur numérique	Catégorie
3-2	Elevée
2-1	Modérée
1-0	Faible

### 2.5.2. Qualification de la zone d'étude et calcul de la cotation d'anthropisation : méthode des indicateurs agrégés

Cette approche vise à établir une vision synthétique de la situation existante en zone côtière. Elle est établie par évaluation et combinaison de notions caractéristiques notamment de son potentiel naturel (naturalité), de la pression qu'elle subit (anthropisation) et de l'impact ou des changements enregistrés (altérité). Le but de cette approche est de parvenir à une typologie de la zone étudiée, en présentant des groupements

de stations selon l'importance de chacun des trois agrégats (naturalité, anthropisation et altérité) (PNUE/PAM/PAP/CAR/2005).



**Figure 11.** Exemple d'application de la méthode d'évaluation de la pression anthropique et la détermination du pourcentage d'occupation du linéaire côtier à l'aide d'images satellitaires pour la station de la Madrague (LP).

Chaque agrégat est déterminé par un nombre de paramètres ( $P_n$ ) choisis pour qualifier l'état et l'évolution globale d'une station donnée. Le but est de positionner dans un triangle la combinaison de ces trois agrégats. Pour y parvenir, il s'agit de construire et de remplir une matrice avec en lignes les paramètres ( $P_n$ ) et en colonnes les cotations des paramètres ( $C_n$ ), celles-ci variant de 1 à 5 (Tableau 7) (Larid, 2002).

A partir de cette matrice, on détermine pour chaque station et pour chacun des 3 agrégats son évaluation globale  $C_k$  :

$$C_k = \frac{\sum_1^N C_n}{5 \cdot \sum_1^N P_n} \dots (3)$$

## Matériel et Méthodes

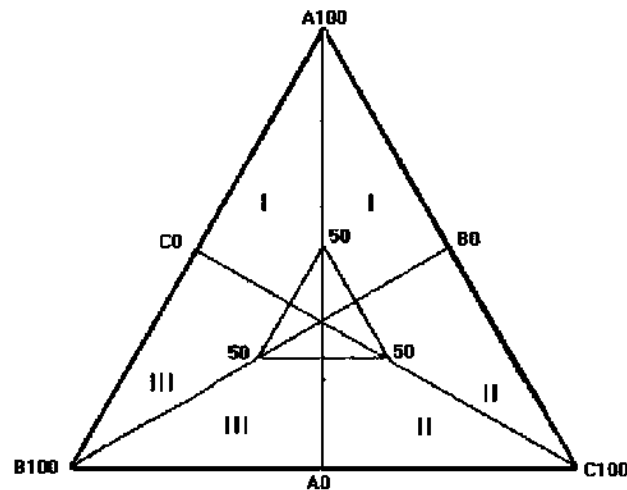
On combine les trois agrégats (naturalité, anthropisation, altérité) pour avoir des indications sur les potentialités globales et la situation générale d'une station selon l'expression :

$$Ia = \frac{Ck}{\sum_1^3 Ck} \dots (4)$$

La valeur en % de chacun des trois agrégats se positionne sur la médiane qui lui correspond au niveau d'un triangle équilatéral pour définir ensuite l'état général de la station considérée selon les zonations établies dans ce triangle (Figure 12) (Larid, 2002).

**Tableau 7.** Matrice des cotations des paramètres de naturalité, d'anthropisation et d'altérité (Larid, 2002 ; PNUE/PAM/PAP/CAR / 2005).

Paramètres (Pn)	COTATIONS				
	1	2	3	4	5
<b>Naturalité</b>					
1-longueur de côte en Km / surface communale	< 0.40	0.4-0.8	0,81 – 1, 20	1,21 – 1, 60	1,61 - 2
2-% de littoral sableux	< 10%	10-30%	30,01 – 60 %	60,01 – 80 %	80 ,01 - 100 %
3- Largeur moyenne de la plate - forme continentale	< 1	1-5	5,01 – 10	10,01 – 15	>15 Km
4-Cours -d'eau permanents	0	1	2	3	4
5-Cours -d'eau temporaires	0	1-5	6 – 10	11 – 15	> 15
6-Surface sites sensibles (zone humide, naturelle, dunes) Par rapport à la surface Communale	0	<10%	10 – 30 %	30,01 – 60 %	60,01 – 100 %
7-Couverture végétale (forêt, bois, maquis) par rapport à la surface communale	0	<10%	10 – 30 %	30,01 – 60 %	60,01 – 100 %
8-Herbiers phanérogames marines (en %)	0	<10%	10 – 30 %	30,01 – 60 %	60,01 – 100 %
<b>Anthropisation</b>					
1-Occupation (tous aménagements confondus) par rapport à la surface communale	< 5%	5 – 20 %	20,01 – 40 %	40,01 – 60 %	60,01 - 100 %
2-% de la population permanente par rapport à la population de la wilaya	< 5%	5 – 20 %	20,01– 40 %	40,01 – 60 %	60,01 - 100 %
3-Volume total d'eaux usées en m <sup>3</sup> / Jour	< 100	100 - 1000	1000,01 à 3000	3000,01 à 6000	> 6000,01
4-Déchets solides ménagers en tonnes/an	< 1000	1000 à 10000	10000,01 à 15000	15000,01 à 25000	> 25000,01
<b>Altérité</b>					
1-% des eaux usées traitées	100	80,01 – 100	40,01 – 80	10 – 40	< 10 %
2-% de collecte des déchets solides ménagers	100	80,01 – 100	40,01 – 80	10 – 40	< 10 %
3-Recul total des plages en mètres pour la période 1970- 2000	0	0 – 1	1,01 – 5	5,01 – 10	> 10
4-Volume d'extraction de sable en m <sup>3</sup> /an (période : 1970 – 1998)	0	0,1 - 100	100,1 - 200	200,1 à 300	> 300
$\Sigma$ COTATIONS	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>C<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>3</sub></b>	<b>C<sub>4</sub></b>	<b>C<sub>5</sub></b>



**Figure 12.** Représentation triangulaire (A0 – A100 : axe de naturalité ; B0 – B100 : axe d’altérité ; C0 – C100 : axe d’anthropisation ; Zone I : forte naturalité ; Zone II : Forte anthropisation ; Zone III : Forte altérité) (Larid, 2002).

### 2.6. Analyses statistiques des données

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées dans l’environnement R (R Development Core Team, 2016). Les tests statistiques utilisés et listés ci-après sont réalisés au seuil de signification de 5%.

Dans le but de comparer les moyennes de chacun des paramètres étudiés, des analyses de variance à un facteur (Anova) sont mises en œuvre (effet de la station), 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.

Les corrélations entre le PREI EQR et les cotations d’anthropisation quantifiées selon la méthode décrite par Lopez Y Royo (2009b) et par Larid (2002) sont déterminées à partir du coefficient de corrélation des rangs de SPEARMAN.

La représentation triangulaire des trois agrégats (naturalité, anthropisation et altérité) décrite par Larid (2002) est réalisée à l’aide du logiciel STATISTICA (StatSoft France, 2004).

*Résultats*  
&  
*discussion*

# Résultats et discussion

## 3.1. Evaluation des différentes métriques

### 3.1.1. Profondeur et type de limite inférieure

Les profondeurs et les types de limite inférieure, enregistrés au niveau des différentes stations explorées, sont donnés dans le tableau 8. Les profondeurs minimale et maximale sont respectivement observées au niveau des stations de Khemisti (Kh) (14.7m) et de Bou Ismaïl (Bms) (21 m).

La profondeur maximale des herbiers à *Posidonia oceanica* étudiés coïncident toujours avec la bordure du platier rocheux, et tout particulièrement en ce qui concerne les herbiers localisés au niveau de la baie de Bou Ismaïl : ce type de limite semble lié au type de substrat comme rapporté par Semroud *et al.* (2014) et Boumaza (2015). Selon Braïk (1989), l'extension vers le large des herbiers à *Posidonia oceanica* de la baie de Bou Ismaïl est stoppée par les remaniements sous-marins auxquels est soumise cette zone de forte pente. Ce type de limite a été également observé en Corse par Clabaut *et al.* (2010). Ces auteurs rapportent que l'extension des herbiers en limite inférieure est limitée à la fois par la nature rocheuse du substrat et par l'intensité de l'hydrodynamisme. Selon les classifications de Meinesz et Laurent, (1978) et Lopez Y Royo (2008), ce type de limite est qualifié de limite franche.

Quant aux herbiers à *Posidonia oceanica* des stations de Bérard (Br), Khemisti (Kh), Bou Ismaïl1 (Bsm), Bou Ismaïl 2 (Tnc) et La Madrague (LP), leur limite présente une régression. Elle est caractérisée par la présence de rhizomes plagiotropes morts et des touffes de faisceaux foliaires déchaussés. Selon Meinesz et Laurent, (1978), ce type de limite est observé lorsque la quantité de lumière reçue par la plante est insuffisante, en raison de l'augmentation de la turbidité ; ce qui fragilise l'herbier et le rend vulnérable vis-à-vis des courants qui le désagrègent et déchaussent les rhizomes. En effet, la station (Br) subit l'influence de la ferme mytilicole qui introduit dans le milieu des structures physiques qui

## Résultats et discussion

---

altèrent la dynamique hydrosédimentaire en modifiant le sens des courants et en augmentant les taux de sédimentation. Par contre, les herbiers des stations (Kh) et (LP), localisées à proximité des ports de pêche de Khemisti et de la Madrague, respectivement ; subissent l'influence de ces derniers mais également celles des rejets d'eaux usées qui entraînent une diminution de la transparence des eaux et donc de la pénétration de la lumière, d'où une régression des herbiers au niveau de leur limite inférieure. De même, les stations (Bsm) et (Tnc) sont soumises aux nuisances liées aux épis de protection et aux rejets du réseau collecteur de la ville qui draine une pollution domestique et industrielle, induisant ainsi une augmentation de la turbidité du milieu, et donc une régression de la limite inférieure de l'herbier (Boudouresque *et al.*, 1975; 2009).

Quant à l'herbier de la station Cap El Hamouche (CH), il se caractérise par une limite dite clairesemée, avec un très faible recouvrement. Elle correspond au type de limite habituellement rencontré lorsque les conditions de l'eau montrent des signes de détérioration et que la plante présente des difficultés à se développer en profondeur (Pergent, 2007 ; Lopez Y Royo, 2008 ; RAC/SPA-UNEP/MAP, 2014). En effet, la station (CH) subit l'influence de l'agriculture intensive pratiquée sur la frange littorale, des rejets d'eaux usées, de l'oued Nador et du port de pêche de Tipasa.

L'herbier à *Posidonia oceanica* de la station d'Aïn Benian (AB), localisée à l'est de la baie de Bou Ismaïl, présente une limite inférieure de type régressif, due à la diminution de la transparence des eaux, en raison des différents rejets d'eaux usées auxquels est soumise cette station.

Quant aux herbiers des stations localisées au niveau de la baie d'Alger (la Pointe Pescade- PP) et de la baie de Zemmouri (Aguelli- AGI et AGII), elles sont caractérisées par une limite dite clairesemée. En effet, ces stations subissent des nuisances pouvant être à l'origine de la dégradation de la qualité des eaux qui engendre ce type de limite (RAC/SPA - UNEP/MAP, 2014). En effet, la station (PP) est influencée par une forte urbanisation de la frange littorale et les travaux de confortement et d'aménagement de l'abri de pêche de Rais Hamidou et les stations (AGI) et (AGII) sont aussi soumises aux perturbations liées à la forte urbanisation auxquelles s'ajoutent les rejets des eaux usées domestiques et industrielles (issues de la zone industrielle de Reghaia-Rouiba).

## Résultats et discussion

**Tableau 8.** Profondeur et type de limite inférieure enregistrés au niveau des stations étudiées.

Station	Profondeur de limite inférieure (m)	Type de Limite inférieure
Cap El Hamouche (CH)	19	clairsemée
Kouâli (AK)	20	franche
Berrard (Br)	19	régressive
Khemisti (Kh)	14,78	régressive
Bou Ismaïl 1 (Bsm)	21	régressive
Bou Ismaïl 2 (Tnc)	18	régressive
Bou Ismaïl 3 (SD)	16,7	franche
La Madrague (LP)	15,05	régressive
Aïn Benian (AB)	18,18	régressive
Pointe Pescade (PP)	16,88	clairsemée
Ile Agueli (AGII)	17	clairsemée
Ile Agueli (AGI)	17	clairsemée

### 3.1.2. Densité de l'herbier et surface foliaire

La densité des herbiers, exprimée en nombre de faisceaux de *Posidonia oceanica* par m<sup>2</sup>, présente des différences significatives entre les stations étudiées ( $p < 0,05$ , Kruskal Wallis). Le maximum est observé au niveau de la station Bou Ismaïl 2 (Tnc) ( $217,5 \pm 51,2$  faisceaux/m<sup>2</sup>) et le minimum est observé à La Madrague (LP) ( $119,4 \pm 15,9$  faisceaux/m<sup>2</sup>) (Tableau 9).

La classification de ces herbiers, selon la grille de lecture proposée par PNUE-PAM-CAR/ASP (2015) (Annexe 1), indique que les herbiers de l'ensemble des stations étudiées correspondent à des herbiers dits de densité «médiocre», seuls les herbiers de la Madrague (LP), d'Aïn Benian (AB) et de la Pointe Pescade (PP) correspondent à des herbiers dits de densité «mauvaise» (Tableau 9). Par ailleurs, cette classification qui exprime la variabilité de la densité en fonction de la profondeur, ne tient pas compte des autres facteurs susceptibles d'affecter ce paramètre, comme la morphologie et la topographie du substrat et/ou la teneur en nutriment (Balestri *et al.*, 2003 ; Gobert *et al.*, 2003). Les faibles valeurs de densité enregistrées au niveau des stations étudiées, particulièrement celles de la baie de Bou Ismaïl pourraient résulter du fait qu'elles soient soumises au fort hydrodynamisme qui caractérise cette baie, comme rapporté par Boudouresque *et al.* (2006) et Dural *et al.* (2012).

## Résultats et discussion

Néanmoins, les deux stations (LP) et (PP) avec une densité «mauvaise», sont influencées par des aménagements portuaires : l'extension du port de pêche d'El Djamila à la station (LP) et les travaux de confortement et d'aménagement de l'abri de pêche de Rais Hamidou au niveau de la station (PP). Ce type de nuisance engendre une diminution de la densité des faisceaux en raison de l'augmentation de la turbidité et des charges d'épiphytes qui réduisent la lumière disponible (Ruiz, 2000 ; Fernandez-Torquemada *et al.*, 2005). L'augmentation des taux d'envasement et d'accumulation de matière organique dans les sédiments peuvent également produire des conditions anoxiques qui affectent négativement les herbiers (Terrados *et al.*, 1999).

De plus, l'herbier au niveau de ces deux stations ainsi qu'au niveau de la station (AB) - ayant aussi une densité «mauvaise»-, est colonisé par *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*. L'impact de la compétition avec *Posidonia oceanica* pourrait se traduire par une diminution de la densité, comme c'est le cas avec *Caulerpa taxifolia* (Molenaar *et al.*, 2009). En effet, les herbiers de Posidonie affectés par les perturbations associées aux structures portuaires, peuvent être remplacés par des espèces plus tolérantes, ce qui est le cas dans la région d'Alicante près des deux ports étudiés par Fernandez-Torquemada *et al.*, (2005) et dans la région de Mers-El Hadjadj au Golfe d'Arzew étudié par Ould-Ahmed (1994) où les zones dégradées ont été colonisées par l'algue opportuniste *Caulerpa prolifera*.

**Tableau 9.** Grille d'interprétation en cinq classes des densités de l'herbier à *Posidonia oceanica* (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2015).

Stations	Densité moyenne 2015 (Faisceaux / m <sup>2</sup> )	Classe
Cap El Hamouche (CH)	169 ± 19	médiocre
Kouâli (AK)	211 ± 43	médiocre
Berrard (Br)	184 ± 45	médiocre
Khemisti (Kh)	197 ± 54	médiocre
Bou Ismaïl1 (Bsm)	180 ± 46	médiocre
Bou Ismaïl 2(Tnc)	217 ± 51	médiocre
Bou Ismaïl 3 (SD)	155 ± 19	médiocre
La Madrague (LP)	119 ± 16	mauvaise
Aïn Benian (AB)	131 ± 19	mauvaise
La Pointe Pescade (PP)	140 ± 42	mauvaise
Ile Aguelli (AGII)	178 ± 26	médiocre
Ile Aguelli (AGI)	155 ± 30	médiocre

## Résultats et discussion

---

Quant à la surface foliaire - paramètre synthétique de la physiologie de *Posidonia oceanica* puisqu'il intègre l'ensemble des paramètres biométriques (Annexe2) : longueur, largeur et nombre des feuilles par faisceau (Silvestri, 1993) -, elle diffère de façon significative entre les stations étudiées ( $p < 0,05$ , Kruskal-Wallis). La valeur maximale est enregistrée à Kouâli (AK) ( $382,7 \pm 75$  cm<sup>2</sup>/faisceau), et la valeur minimale est enregistrée à La Madrague (LP) ( $190,3 \pm 71$  cm<sup>2</sup>/faisceau) (Figure 13). La diminution drastique de la surface foliaire au niveau de la station (LP) est concomitante à celle de la densité (Figure 13). L'augmentation de la turbidité au sein de cette station, suite aux divers rejets et à sa proximité d'une structure portuaire, sont à même d'entraîner la diminution des paramètres biométriques et donc de la surface foliaire de *Posidonia oceanica* (Balestri *et al.*, 2004 ; Fernandez-Torquemada *et al.*, 2005 ; Ben Brahim *et al.*, 2010 ; Boumaza *et al.*, 2014).

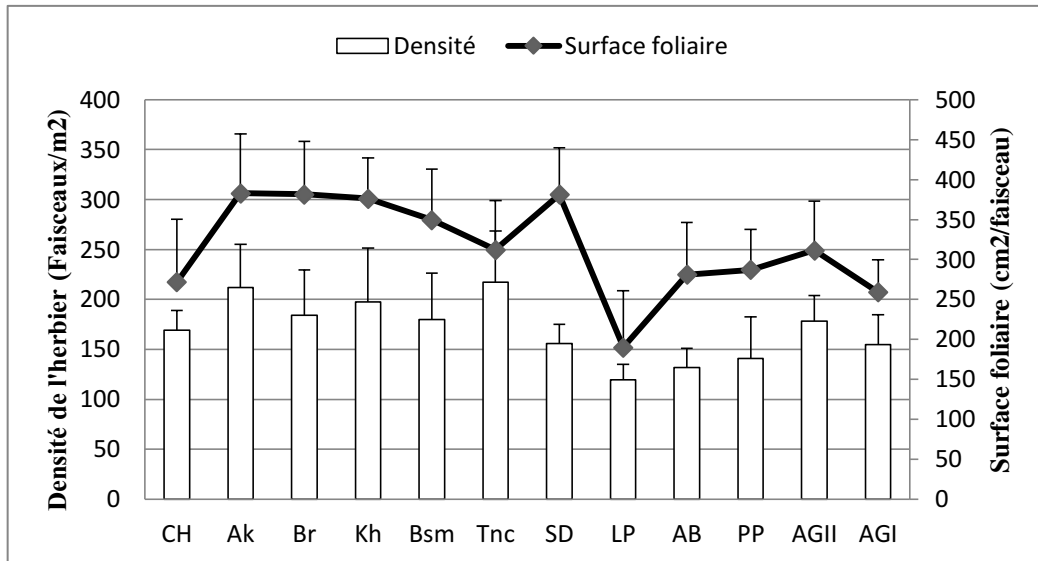
Concernant la station (SD) située à proximité du rejet de la station de dessalement de Bou Ismaïl, qui est en arrêt de fonctionnement depuis Février 2015 (cinq mois avant les prélèvements de faisceaux de Posidonie), elle présente une surface foliaire élevée ; en effet, Fernandez-Torquenada et Sanchez-Lizaso (2005) et Latorre (2005) ont montré que si une augmentation de la salinité dans le milieu n'a pas été excessive, le taux de croissance revient à ses valeurs normales dès le retour à des conditions de salinité normale. En se référant aux travaux réalisés en 2011 au niveau de la même station et dans la même période de l'année (§1.3), une augmentation significative ( $p < 0,05$ ) de surface foliaire est mise en évidence (291 cm<sup>2</sup> / faisceau en 2011 contre 381 cm<sup>2</sup> / faisceau en 2015).

### 3.1.3. Rapport biomasse des épiphytes sur biomasse des feuilles (E/L)

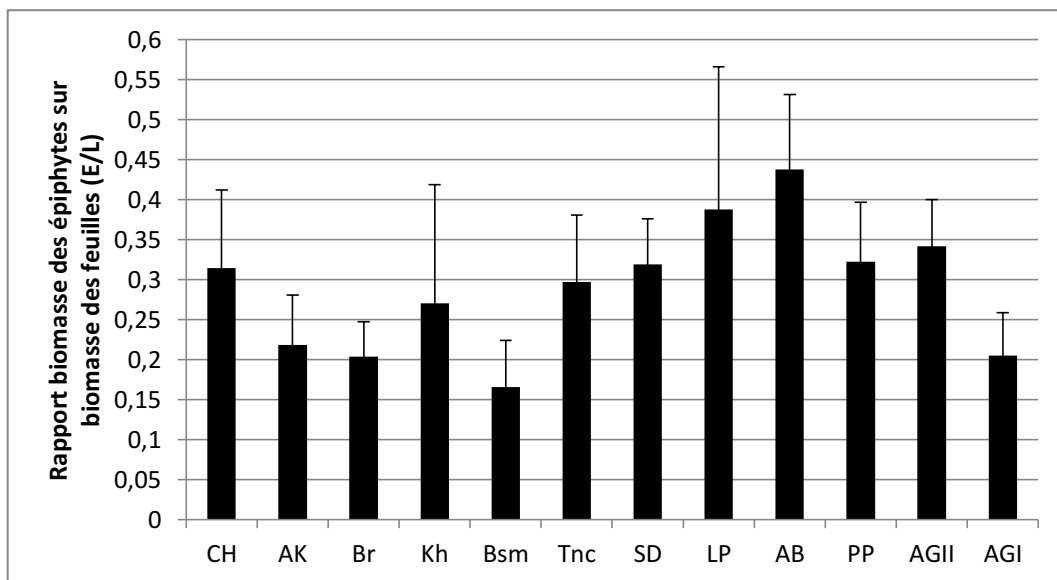
Le rapport E/L présente des différences significatives entre les stations étudiées ( $p < 0,05$ , ANOVA) avec un maximum enregistré à Aïn Benian (AB) ( $0,44 \pm 0,09$ ) et un minimum enregistré à Bou Ismaïl (Bms) ( $0,17 \pm 0,06$ ) (Figure 14). L'augmentation de la richesse épiphytique enregistrée à (AB) est à mettre en relation avec l'enrichissement du milieu en nutriments (Cancemi *et al.*, 2003). En effet, cette station est caractérisée par de nombreux rejets qui drainent une pollution domestique et industrielle. En outre, une valeur élevée de E/L est également enregistrée au niveau de la station (LP), en raison de sa proximité du port de pêche de La Madrague, qui s'est traduit par l'enrichissement du milieu, d'où une augmentation de la biomasse des épiphytes concomitamment à une diminution de la biomasse des feuilles.

## Résultats et discussion

La valeur minimale du rapport E/L enregistré au niveau de la station (Bsm), pourrait s'expliquer par l'effet d'autres facteurs comme l'hydrodynamisme et le broutage, qui peut conduire à des changements de la biomasse des épiphytes, minimisant ainsi l'effet de l'enrichissement (Borowskitzka *et al.*, 2006 ; Castejón Silvo, 2011).



**Figure 13.** Variation de la surface foliaire et de la densité des herbiers à *Posidonia oceanica* au niveau des différentes stations étudiées.



**Figure 14.** Variation du rapport E/L au niveau des différentes stations.

### 3.2. Evaluation du statut écologique des différentes stations étudiées par l'application de l'indice PREI

La combinaison des différentes métriques : densité de l'herbier, type et profondeur de la limite inférieure, surface foliaire et rapport biomasse des épiphytes sur biomasse des feuilles (E/L) (Tableau 10) ont permis de calculer l'indice PREI. Les valeurs de référence de ces différentes métriques ainsi que leurs valeurs pour la mauvaise classe telles que définies par Gobert *et al.* (2009) sont données dans le Tableau 11. La métrique type de la limite inférieure suit les classifications décrites par Meneisz et Laurent (1978) et Pergent *et al.* (2005). La valeur de référence de la profondeur de la limite inférieure dans la zone algéroise est estimée en se basant sur nos observations ainsi que sur les données bibliographiques existantes. La profondeur maximale enregistrée à ce jour est de 24 m de profondeur - au niveau de la plage Miramar dans la commune de Raïs Hamidou (APPL, 2016).

Pour rappel, la première étape a consisté à calculer un EQR (Ecological Quality Ratio) intermédiaire EQR' et la seconde étape correspond au calcul de l'EQR final pour chacune des stations (§ 2.4) (Tableau 12).

L'application de l'indice PREI aux 12 stations étudiées a permis de classer les stations comme suit :

Les stations localisées dans la partie ouest de la baie de Bou Ismaïl (CH, Br, Kh, Bms, Tnc et SD) présentent un statut écologique qualifié de Bon et la valeur de l'EQR obtenue pour la station AK, lui confère un statut écologique qualifié de Très Bon (Tableau 12). Il apparaît donc que les herbiers à *Posidonia oceanica* de cette portion du littoral algérois ne sont pas impactés de façon significative par les différents rejets qui jalonnent cette portion du littoral. En outre, la configuration et la courantologie de la baie de Bou Ismaïl permettent une dissipation de la pollution drainée par les différents rejets d'eaux usées domestiques et industriels vers le large (Braïk, 1989 ; Boumaza *et al.*, 2014). Quant à l'herbier à *Posidonia oceanica* de la station (AK), il est identifié comme herbier de référence dans la baie de Bou Ismail, sa productivité primaire étant l'une des plus importantes enregistrées en Méditerranée (Boumaza et Semroud, 2000 ; Boumaza *et al.*, 2014).

## Résultats et discussion

**Tableau 10.** Métriques (moyenne  $\pm$  écart type) utilisées pour le calcul des EQR PREI.

Station	Profondeur de limite inférieure (m)	Type de limite inférieure	Densité (Nombre faisceaux/m <sup>2</sup> )	Surface foliaire (cm <sup>2</sup> /faisceaux)	E/L
Cap El Hamouche (CH)	19	clairsemée	169,4 $\pm$ 19,6	271,7 $\pm$ 78,4	0,31 $\pm$ 0,10
Kouâli (AK)	20	franche	211,9 $\pm$ 43,1	382,7 $\pm$ 74,7	0,22 $\pm$ 0,06
Berrard (Br)	19	régressive	184,4 $\pm$ 45	381,7 $\pm$ 66,1	0,20 $\pm$ 0,04
Khemisti (Kh)	14.78	régressive	197,5 $\pm$ 53,7	376,1 $\pm$ 51,2	0,27 $\pm$ 0,15
Bou Ismaïl (Bsm)	21	régressive	180 $\pm$ 46,2	349,6 $\pm$ 63,6	0,17 $\pm$ 0,06
Bou Ismaïl 2(Tnc)	18	régressive	217,5 $\pm$ 51,2	312,1 $\pm$ 61,3	0,30 $\pm$ 0,08
Bou Ismaïl 3 (SD)	16.7	franche	155,6 $\pm$ 19,5	381,2 $\pm$ 58,6	0,32 $\pm$ 0,06
La Madrague (LP)	15.05	régressive	119,4 $\pm$ 15,9	190,3 $\pm$ 71	0,39 $\pm$ 0,18
Aïn Benian (AB)	18.18	régressive	131,9 $\pm$ 19,2	281,1 $\pm$ 65,1	0,44 $\pm$ 0,09
La Pointe Pescade (PP)	16.88	clairsemée	140,6 $\pm$ 41,9	287,1 $\pm$ 50,6	0,32 $\pm$ 0,07
Ile Agueli (AGII)	17	clairsemée	178,1 $\pm$ 25,6	311,6 $\pm$ 61,2	0,34 $\pm$ 0,06
Ile Agueli (AGI)	17	clairsemée	155 $\pm$ 29,7	258,9 $\pm$ 41	0,20 $\pm$ 0,05

**Tableau 11.** Valeurs de référence et valeurs de la classe rouge utilisées pour le calcul des EQR PREI.

Valeurs limites	Profondeur limite inférieure (m)	Densité (faisceaux/m <sup>2</sup> )	Surface foliaire (cm <sup>2</sup> /faisceau)	E/L
<b>Valeurs de référence</b>	24	197,91	379,66	0
<b>Valeurs de la classe rouge</b>	15	0	0	1

Inversement, les stations (LP) et (AB) situées à l'est de la baie de Bou Ismaïl et la station (PP) -localisée à l'extrême ouest de la baie d'Alger - présentent un statut écologique qualifié de Moyen. Ces résultats suggèrent que les différents rejets d'eaux usées impactent directement la vitalité des herbiers à *Posidonia oceanica*, en particulier par une augmentation de la charge en épiphyte, une diminution de la surface foliaire et/ou de la densité (§ 3.1). Cette tendance a également été enregistrée dans différents herbiers à *Posidonia oceanica* soumis à des apports en nutriments (Delgado *et al.*, 1999 ; Cancemi *et al.*, 2003 ; Boumaza *et al.*, 2014).

## Résultats et discussion

Enfin, les stations localisées dans la partie ouest de la baie de Zemmouri (AGI) et (AGII), présentent un statut écologique qualifié de Bon. Il apparait donc que les herbiers à *Posidonia oceanica* ne sont affectés par les différents rejets enregistrés au niveau de cette portion de littoral et tout particulièrement ceux charriés par l'embouchure du lac Réghaïa.

**Tableau 12.** Evaluation du statut écologique des stations étudiées à partir de l'indice PREI.

Station	EQR	Statut écologique
Cap El Hamouche (CH)	0,626	Bon
Kouâli (AK)	0,886	Très bon
Berrard (Br)	0,735	Bon
Khemisti (Kh)	0,705	Bon
Bou Ismaïl 1 (Bsm)	0,770	Bon
Bou Ismaïl 2 Tonic (Tnc)	0,690	Bon
Bou Ismaïl 3 (SD)	0,703	Bon
La Madrague (LP)	0,381	Moyen
Aïn Benian (AB)	0,544	Moyen
Pointe Pescade (PP)	0,537	Moyen
Ile Aguelli (AGI)	0,632	Bon
Ile Aguelli (AGII)	0,584	Bon

### 3.2.1. Comparaison des statuts écologiques assignés aux différentes stations avec ceux de 2011

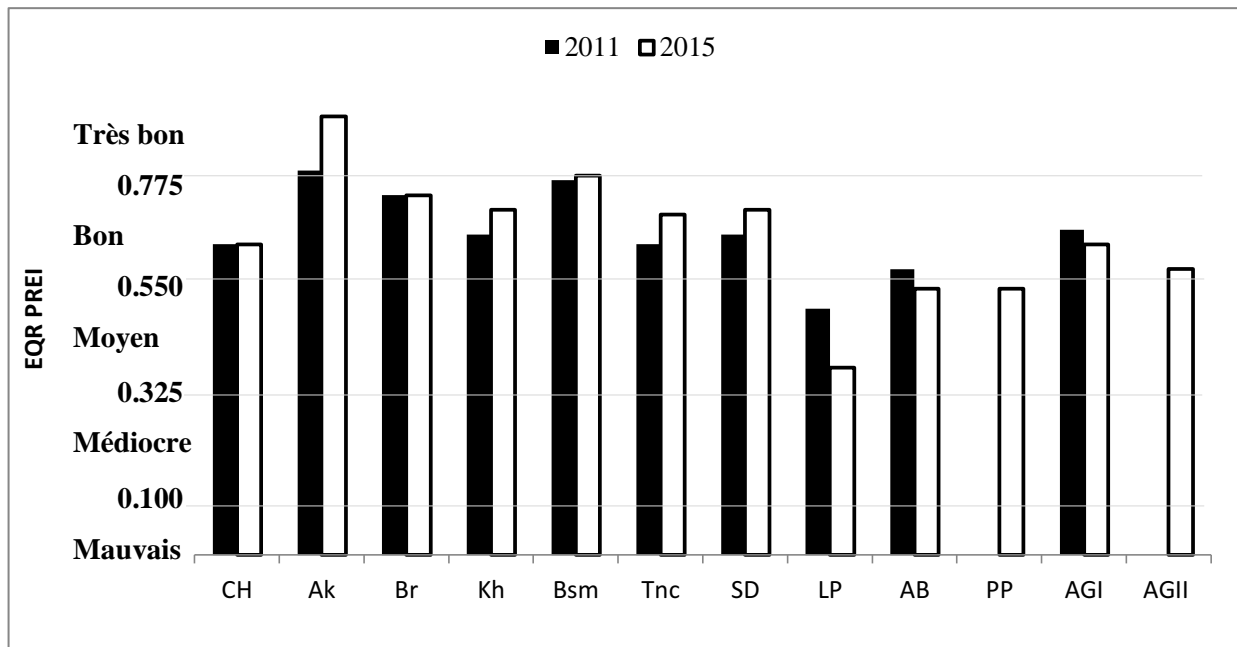
La comparaison des statuts écologiques assignés à chacune des stations étudiées par l'indice PREI en 2011 (Boumaza *et al.*, 2015) et en 2015 (cette étude) (Tableau 13 et Figure 15) fait ressortir que l'ensemble des stations présentent le même statut écologique, à l'exception de la station (AB) qui s'est vu assigner un statut écologique Moyen en 2015 contre celui de Bon en 2011. Ceci reflète la dégradation de la qualité du milieu au niveau de cette station liée à l'extension de l'urbanisation qui a marqué cette région ces dernières années (Baouni et Berchache 2011 ; Betouche 2014). Cette dégradation s'est matérialisée par une diminution de la vitalité de l'herbier, tout particulièrement en ce qui concerne la surface foliaire qui présente une diminution significative ( $p < 0,05$ ) ( $281 \pm 65 \text{ cm}^2/\text{faisceau}$  en 2015 contre  $369 \pm 62 \text{ cm}^2/\text{faisceau}$  en 2011). Cette diminution résulte de la diminution des

## Résultats et discussion

paramètres biométriques de *Posidonia oceanica* en raison de l'augmentation de la turbidité (Fernandez-Torquemada *et al.*, 2005 ; Boumaza *et al.*, 2014). En outre, une augmentation significative de l'indice épiphytique (rapport de la biomasse des épiphyte sur la surface foliaire) ( $p < 0,05$ ) est enregistrée au niveau de cette station ( $1,92 \pm 0,38 \text{ mg / cm}^2$  en 2015 contre  $1,64 \pm 0,36 \text{ mg / cm}^2$  en 2011). Ce paramètre répond à l'enrichissement du milieu en éléments nutritifs, en raison de la présence de différents rejets comme rapporté par Prado *et al.* (2008). Enfin, la densité de l'herbier exprimée en nombre de faisceaux par  $\text{m}^2$  présente également une diminution significative ( $p < 0,05$ ) ( $131 \pm 19$  Faisceaux /  $\text{m}^2$  en 2015 et  $173 \pm 19$  Faisceaux /  $\text{m}^2$  en 2011), ce qui correspond selon Ralph *et al.* (2007) et Boumaza (2015) à une réponse de *Posidonia oceanica* à la diminution de la luminosité. En effet, cela permet une réduction des effets d'auto-ombrage et donc une meilleure pénétration de la lumière dans la canopée. Cette diminution est fortement liée à l'urbanisation du littoral selon Ralph *et al.* (2007).

**Tableau 13.** Comparaison des statuts écologiques évalués à partir de l'indice PREI des stations étudiées en 2011 et 2015 ([-] : données manquantes).

Station	2011		2015	
	EQR	Statut écologique	EQR	Statut écologique
Cap El Hamouche (CH)	0,63	Bon	0,63	Bon
Kouâli (AK)	0,78	Très bon	0,89	Très bon
Berrard (Br)	0,73	Bon	0,73	Bon
Khemisti (Kh)	0,65	Bon	0,70	Bon
Bou Ismaïl 1 (Bsm)	0,76	Bon	0,77	Bon
BouIsmaïl 2 (Tnc)	0,63	Bon	0,69	Bon
Bou Ismaïl 3 (SD)	0,65	Bon	0,70	Bon
La Madrague (LP)	0,5	Moyen	0,38	Moyen
AïnBenian (AB)	0,58	Bon	0,54	Moyen
La Pointe Pescade (PP)	-	-	0,54	Moyen
Ile Aguelli (AGI)	0,66	Bon	0,63	Bon
Ile Aguelli (AGII)	-	-	0,58	Bon



**Figure 15.** Comparaison des EQR PREI obtenus en 2011 et 2015 pour les différentes stations.

### 3.3. Evaluation de la pression anthropique sur les stations étudiées

Dans le but de vérifier la sensibilité de l'indice PREI aux pressions anthropiques, nous avons tout d'abord évalué des indices de pression anthropique pour chacune des stations étudiées. Par la suite, nous avons établi la relation entre ces indices et les EQR PREI correspondants à ces mêmes stations.

#### 3.3.1. Evaluation visuelle des pressions anthropiques selon la méthode décrite par Lopez Y Royo *et al* (2009b)

Pour l'évaluation des pressions anthropiques qui s'exercent au niveau de chaque station étudiée, l'approche proposée par Lopez Y Royo *et al.* (2009b) et modifiée par Garcia Marin (2013) est mise en œuvre (§ 2.5.1). Les résultats obtenus montrent que dix (10) stations sont sujettes à des pressions anthropiques modérées, et deux (02) sont confrontées à des pressions faibles (Tableau 14).

Les stations (CH) et (AK) subissent une pression faible selon la classification de Lopez Y Royo *et al* (2009b). L'occupation du sol est essentiellement de type agricole au niveau de (AK). Oued Nador est situé à moins de 10 km de ces deux stations et la zone industrielle de

## Résultats et discussion

Hadjout est située à plus de 10 km, ce qui est considéré comme une pression modérée. Le port de pêche de Tipasa n'exerce qu'une faible pression.

La station (Br) est soumise à une pression modérée. Le port de pêche de Bouharoun, situé à 3 km, a un faible impact. A ceci, s'ajoute l'occupation du sol, de type agricole, qui exerce une pression modérée. En outre, cette station reste affectée par l'activité industrielle de la ville de Bou Ismail, située à 6,8 km.

Les stations (Kh), (Bsm), (Tnc) et (SD) sont soumises à une pression modérée malgré la présence de la zone industrielle de la ville de Bou Ismail. Elles subissent également des pressions modérées liées à la présence de structures artificielles (ouvrages de protections de la plage), à l'occupation du sol de type urbain et agricole. Le port de pêche de Khemisti a un faible impact sur ces stations. Quant à l'oued Mazafran, il exerce une pression modérée sur la station (SD).

**Tableau 14.** Pourcentage d'occupation du sol (U : urbaine, A : agriculture, N : naturelle), distance des rivières, industries et ports (I : industriel, C : commercial, P : plaisance) et présence de structures artificielles (SA). La moyenne des scores des différentes pressions et la catégorie de pression correspondante sont également présentées.

Stations	Occupation du sol (%)			Rivière (km)	Industrie (km)	Ports (km)			SA	Pression	
	U	A	N			I	C	P		Valeur	Catégorie
(CH)	37	22	41	5,7	14	Non	Non	7,4	Non	1	Faible
(AK)	26	39	35	7,2	10,5	Non	Non	4	Non	1	Faible
(Br)	41	48	11	Aucune	6,8	Non	Non	3	Oui	1,14	Modérée
(Kh)	41	45	14	13,3	6,4	Non	Non	0,6	Oui	1,29	Modérée
(Bsm)	43	46	11	11,4	5,0	Non	Non	2,2	Oui	1,29	Modérée
(Tnc)	50	46	4	10,7	5,6	Non	Non	2,7	Oui	1,29	Modérée
(SD)	46	50	4	9,8	6,2	Non	Non	3,7	Oui	1,43	Modérée
(LP)	96	0	4	2,0	11,2	Non	Non	0,7	Oui	1,43	Modérée
(AB)	93,5	3,2	3,2	3,8	8,5	Non	Non	2,3	Oui	1,57	Modérée
(PP)	79,2	0	20,8	13,23	0,7	Non	7,5	6,3	Oui	1,57	Modérée
(AGII)	15,8	42,1	42,1	0,98	8,6	Non	Non	Non	Oui	1,29	Modérée
(AGI)	16	53	31	1,2	8,7	Non	Non	Non	Oui	1,29	Modérée

La station (LP) est soumise à une pression modérée due à la forte urbanisation du linéaire côtier. Elle subit aussi une pression modérée causée par la proximité de l'Oued Beni Messous (2 Km), la présence d'une industrie polluante : cimenterie de Rais Hamidou (>10 km) et la présence de la plage artificielle d'Aïn Benian. Le port de pêche d'El Djamilia exerce une faible pression sur la station.

## Résultats et discussion

---

La station (AB) est soumise à une pression modérée car affectée à la fois par une forte urbanisation et par la présence d'une industrie polluante située à 8,5 km : cimenterie de Raïs Hamidou. Elle subit également une pression modérée causée par sa proximité de l'Oued Beni Messous et la présence de la plage artificielle d'Aïn Benian. Le port de pêche d'El Djamilia exerce aussi une faible pression sur cette station.

La station (PP) est soumise à une pression modérée en raison de sa proximité de la cimenterie de Raïs Hamidou. De plus elle est affectée de façon modérée par l'urbanisation, sa proximité du port commercial d'Alger et la présence de structures artificielles : ouvrages de protection de la plage El Kettani de Bab El Oued. Par contre, oued El Harrach et l'abri de pêche de Raïs Hamidou n'exercent qu'une faible pression sur la station.

Les stations (AGI) et (AGII), subissent une pression modérée générée essentiellement par la zone industrielle de Rouiba-Réghaïa. Elles subissent aussi une pression modérée causée par : la proximité de l'embouchure du lac de Réghaïa (réceptacle de polluants d'origine agricole et urbaine) ; les structures artificielles d'Aïn Taya et l'occupation agricole du sol.

### 3.3.2. Evaluation des pressions anthropiques selon la méthode décrite par Larid (2002)

Tout d'abord nous nous sommes attachés à caractériser les stations étudiées selon les trois critères : anthropisation, naturalité et altérité, tels que décrits par Larid (2002). Les données utilisées ont été compilées à partir de données administratives par commune à savoir : les types de plages (CNL-Tipasa, 2015 et APPL 2014) ; la largeur moyenne de la plate-forme continentale ; la quantité et le pourcentage des déchets solides ménagers ; le recul des plages ; le volume d'extraction de sable (Larid, comm. Pers) ; les cours d'eau permanents et temporaires (ANRH, 2008). Des données sur la population permanente (RGPH 2008 *in* MRE/DEAH/CTB/2012), le volume total d'eaux usées et le pourcentage des eaux usées traitées (MRE/DEAH/CTB/2012), ont également été rassemblées. Par ailleurs, la digitalisation d'images satellitaires de bonne résolution, a permis de déterminer la surface urbanisée, la surface de couverture végétale, la longueur de la côte, le pourcentage du littoral sableux et la surface des sites sensibles au niveau des différentes communes littorales (Figures 16, 17 et 18). Par la suite, des cotations sont attribuées pour chacun de ces paramètres selon leurs valeurs. Pour chaque commune et selon les trois critères cités ci-dessus, les indices de

## Résultats et discussion

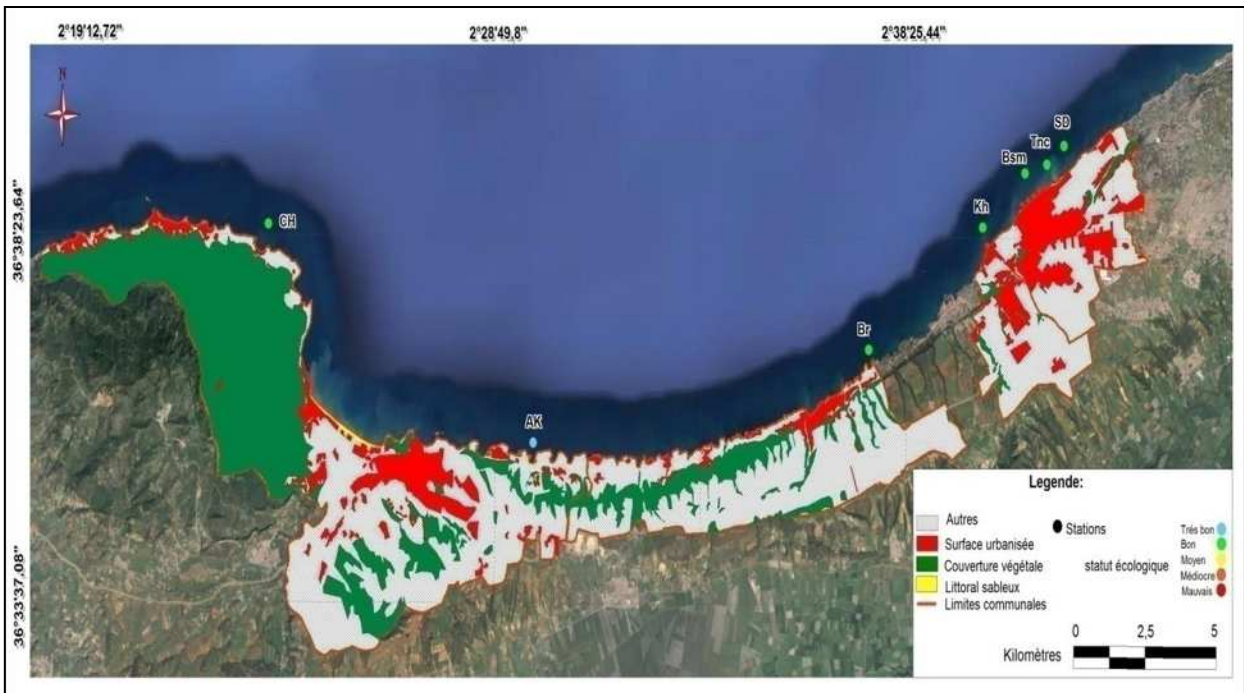
cotation ont été calculés (Tableau15 et Figure 19) (§2.5.2). Ces indices de cotation sont utilisés ensuite pour établir la relation entre l'indice PREI et la pression anthropique exercée sur le milieu.

Les différents indices de cotation assignés aux stations (LP) et (AB) situées dans la même commune (Aïn Benian) s'expliquent par le fait que ses deux stations ne se situent pas dans la même baie, et que chaque station a été choisie en fonction de sa proximité à un type de nuisance particulier (§2.1.1). En effet, l'influence de la proximité du port de pêche et de plaisance et de l'oued de Béni Messous sur la station (LP), lui attribuent un indice de cotation plus élevé que la station (AB). La position géographique de cette dernière à l'extérieur de la baie d'El Djamilia fait qu'elle est moins exposée à ces nuisances. D'autre part, selon le PNUE/PAM/PAP/CAR (2005), la pertinence de cette approche serait plus importante si elle ne se basait pas sur des délimitations administratives des communes, et si elle s'appuyait sur des unités spatiales naturelles plus ou moins homogènes: unités physiographiques balnéaires, ensembles dunaires, côtes à dominance rocheuses, zone côtière à forte emprise anthropique, etc

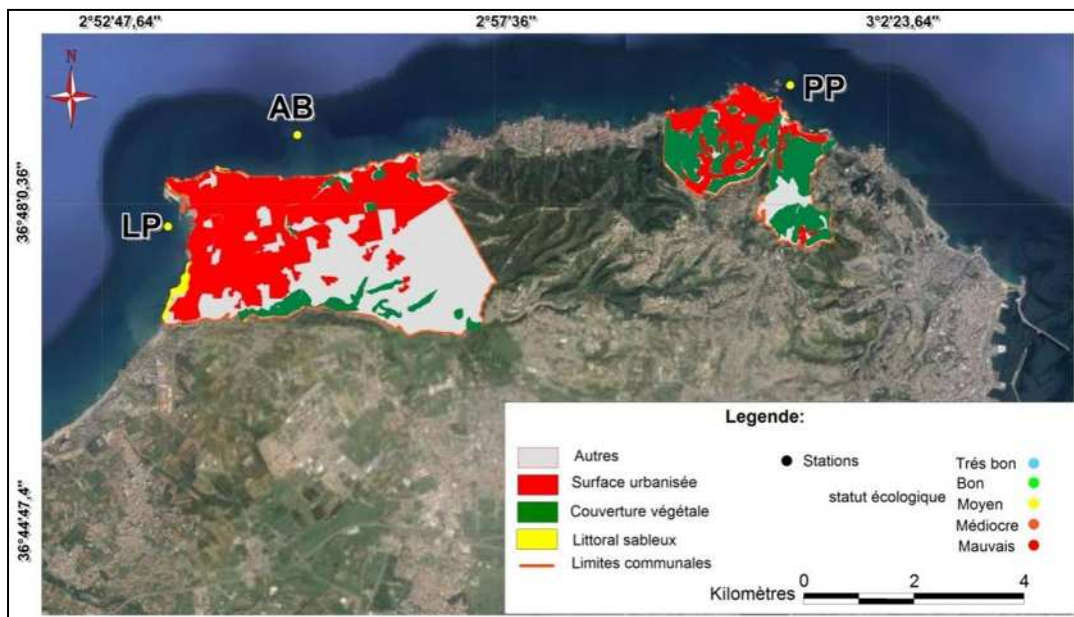
**Tableau 15.** Indices de cotations d'anthropisation, d'altérité et de naturalité par commune

Communes (Stations)	Indice de cotations de naturalité	Indice de cotations d'anthropisation	Indice de cotations d'altérité
Tipasa (CH)/(AK)	0,475	0,4	0,6
Aïn Tagouraït (Br)	0,425	0,25	0,5
Khemisti (Kh)	0,35	0,4	0,5
Bou Ismaïl (Bsm) / (Tnc) /(SD)	0,35	0,4	0,5
Aïn Benian (LP)	0,3	0,75	0,65
Aïn Benian (AB)	0,3	0,65	0,65
Rais Hamidou (PP)	0,425	0,65	0,4
Reghaïa (AGI)/(AGII)	0,425	0,6	0,55

## Résultats et discussion

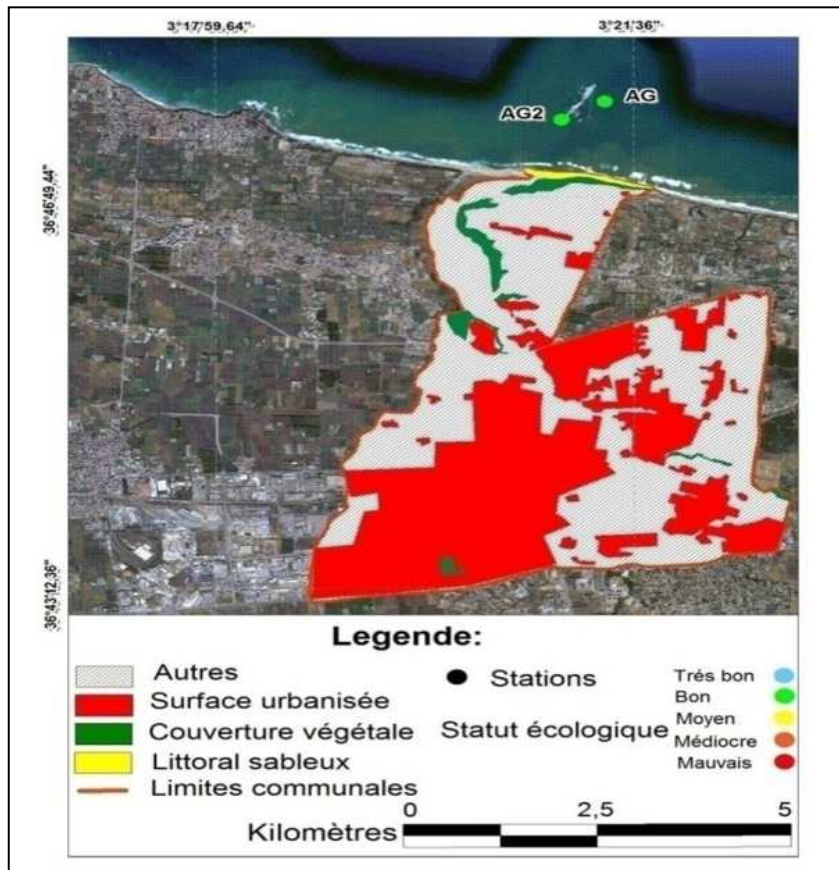


**Figure 16.** Carte montrant les principales utilisations du sol au niveau des communes : Tipasa (CH) / (AK) Aïn Tagouraït (Br) Khemisti (Kh) et Bou Ismaïl (Bsm) / (Tnc) / (SD).

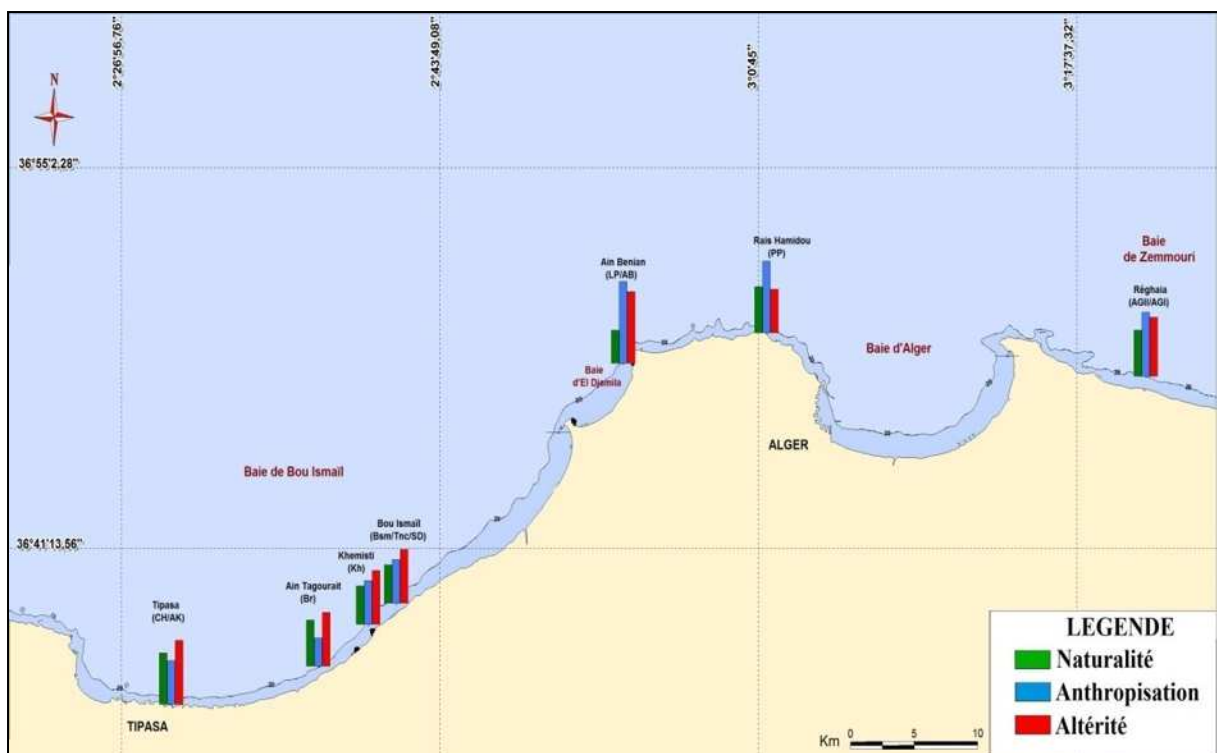


**Figure 17.** Carte montrant les principales utilisations du sol au niveau des communes : Aïn Benian (AB) / (LP) et Raïs Hamidou (PP).

## Résultats et discussion



**Figure 18.** Carte montrant les principales utilisations du sol au niveau de la commune de Réghaïa (AGI) et (AGII).



**Figure 19.** Les indices de cotation d'anthropisation, d'altérité et de naturalité au niveau de la zone d'étude.

## Résultats et discussion

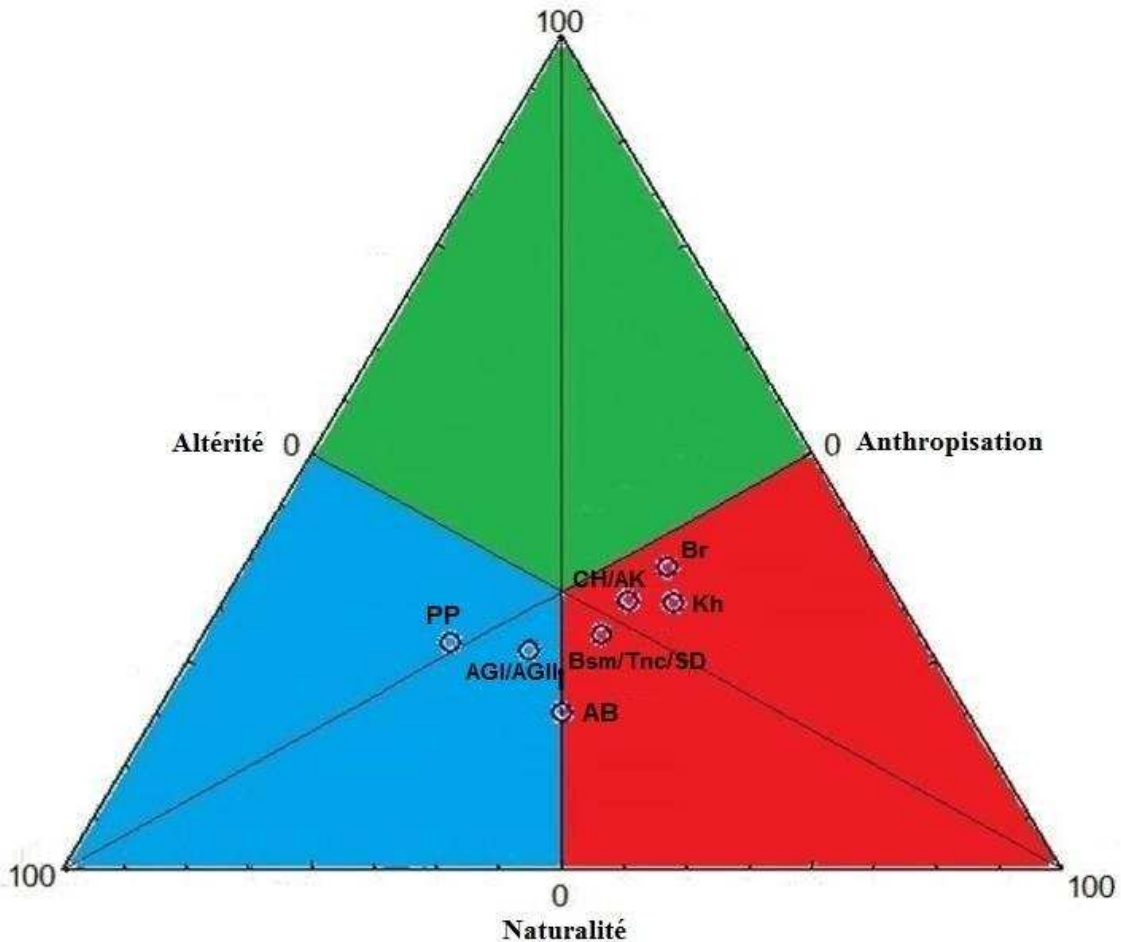
L'appartenance typologique en rapport avec le critère dominant de chacune des communes est représentée dans un diagramme tridimensionnel (Figure 20) basé sur les valeurs de qualification calculées pour chaque station (Tableau 16). Cette représentation montre que l'ensemble des stations présentent des qualifications d'anthropisation et d'altérité très importantes, indicatives d'un faible potentiel de naturalité. Les communes de Tipasa (CH) / (AK), Ain Tagourait (Br), Khemisti (Kh) et Bou Ismail (Bsm) / (Tnc) / (SD) se trouvent dans la zone de forte altérité en raison de l'impact important des activités humaines sur le milieu naturel et ses ressources. Cette altérité est liée aux faibles pourcentages de traitement des eaux usées et de collecte des déchets solides ménagers, le recul des plages et l'extraction anarchique de sable.

Quant aux communes d'Aïn Benian (LP) / (AB), Rais Hamidou (PP) et Reghaïa (AGI, AGII), elles correspondent à des zones de forte anthropisation en raison d'une forte urbanisation (47%, 32,5% et 45% , respectivement), de la croissance démographique (RGPH 2008 *in* MRE/DEAH/CTB (2012)), des rejets des eaux usées (MRE/DEAH/CTB/2012) et des déchets solides ménagers (PNUE/PAM/PAP/CAR/2005).

D'autre part, la comparaison des résultats obtenus lors de la présente étude avec ceux obtenus dans le cadre du PNUE/PAM/PAP/CAR (2005), montre que l'ensemble des communes côtières présente la même appartenance typologique.

**Tableau 16.** Qualifications d'anthropisation, d'altérité et de naturalité par commune.

<b>Communes (Stations)</b>	<b>Qualification de naturalité</b>	<b>Qualification d'anthropisation</b>	<b>Qualification d'altérité</b>
<b>Tipasa (CH) / (AK)</b>	<b>0,322</b>	<b>0,271</b>	<b>0,407</b>
<b>Aïn Tagourait (Br)</b>	<b>0,362</b>	<b>0,213</b>	<b>0,426</b>
<b>Khemisti (Kh)</b>	<b>0,318</b>	<b>0,227</b>	<b>0,455</b>
<b>Bou Ismaïl (Bsm) / ( Tnc) / (SD)</b>	<b>0,280</b>	<b>0,320</b>	<b>0,400</b>
<b>Aïn Benian (AB )</b>	<b>0,188</b>	<b>0,406</b>	<b>0,406</b>
<b>Rais Hamidou (PP)</b>	<b>0,270</b>	<b>0,476</b>	<b>0,254</b>
<b>Reghaïa (AGI) / (AGII)</b>	<b>0,262</b>	<b>0,400</b>	<b>0,338</b>



**Figure 20.** Diagramme tridimensionnel.

Vert : forte naturalité / Bleu : Forte anthropisation / Rouge : Forte altérité.

### 3.3.3. Relation entre l'anthropisation et l'état écologique

Afin d'établir la relation entre les indices d'anthropisation calculés ci-dessus et les EQR PREI, nous avons également pris en considération les stations étudiées uniquement en 2011 par Boumaza *et al.* (2015) :

(i) La station de Sidi Fredj (SF), située au large de la plage Ouest de Sidi Fredj dans la commune de Staoueli et à proximité du centre de thalassothérapie avec un statut écologique Moyen.

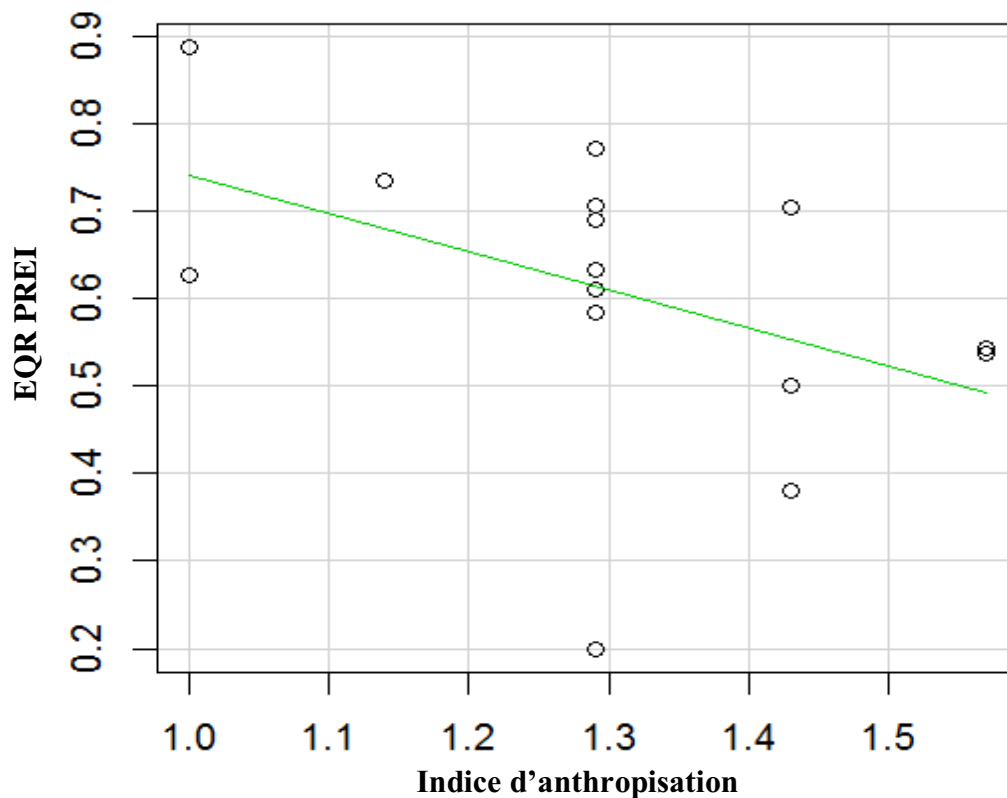
(ii) La station de Tamentfoust (ex La Pérouse) (Pr), située au large de la plage de Tamentfoust, avec un statut écologique Médiocre.

(iii) La station d'El Marsa (ex Jean Bart) (JB), située à l'extrémité ouest de la baie de Zemmouri dans la commune d'El Marsa avec un statut écologique Bon.

## Résultats et discussion

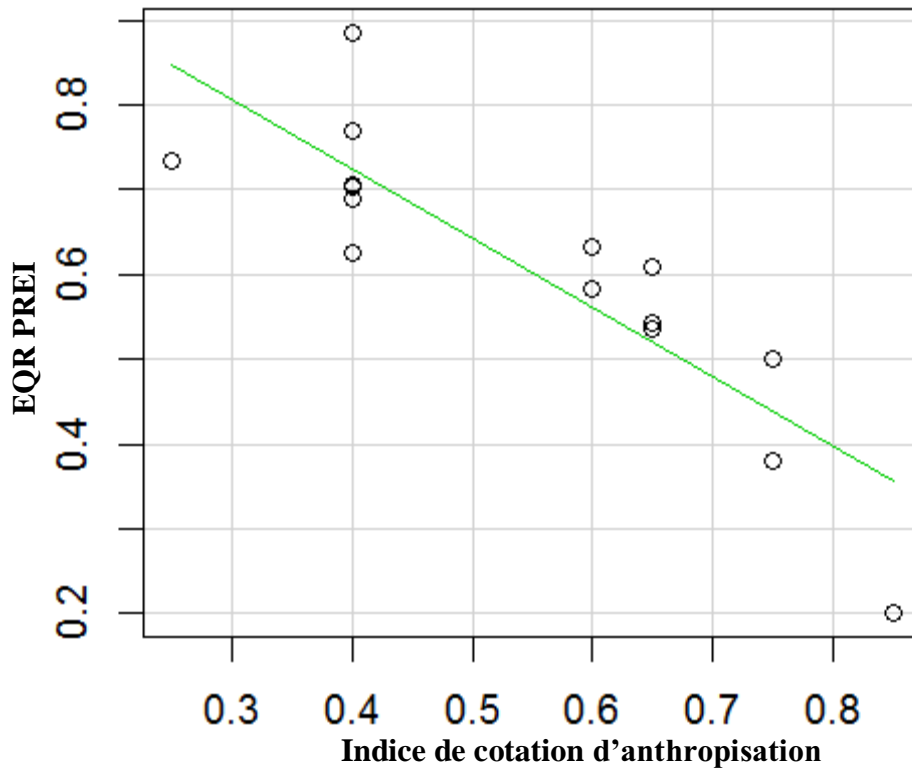
En effet, il est recommandé d'avoir un nombre assez important de stations, et si possible de conditions hétérogènes, pour augmenter la robustesse des méthodes utilisées (Gobert *et al.*, 2013).

L'indice global d'anthropisation calculé selon Lopez Y Royo *et al.* (2009b) et modifié par Garcia Marin (2013) (Tableau 14) et les valeurs des EQR PREI de chaque station sont corrélés de façon significative ( $r = -0,57$ ,  $p < 0,05$ ) (Figure 21). Cependant, cette corrélation n'explique que 20% de la variance de l'EQR. Il est probable que d'autres sources de perturbations, que celles prises en compte lors du calcul de l'indice d'anthropisation, impactent la vitalité des herbiers à *Posidonia oceanica*.



**Figure 21.** Relation entre les EQR PREI et l'indice global d'anthropisation calculé selon Lopez Y Royo *et al.* (2009b).

Inversement, la relation entre l'indice de cotation d'anthropisation calculé selon la méthode préconisée par Larid (2002) et les valeurs des EQR PREI enregistre une corrélation négative hautement significative ( $r = -0,91$ ,  $p < 0,05$ ) (Figure 22). Cette tendance a déjà été mise en évidence par Boumaza *et al.* (2015).



**Figure 22.** Relation entre les EQR PREI et l'indice de cotation d'anthropisation calculée selon Larid (2002).

Par conséquent, l'évaluation de la pression anthropique selon la méthode de Larid (2002) montre une meilleure conformité avec le statut écologique basé sur le calcul de l'indice PREI comparativement avec la méthode décrite par Lopez Y Royo *et al.* (2009b). En effet, la méthode décrite par Larid (2002) quantifie de manière détaillée les activités anthropiques qui impactent les herbiers à *Posidonia oceanica* et tout particulièrement les volumes d'eaux usées. En outre, la prise en compte de la surface totale de la commune lors de l'estimation du paramètre : surface de l'occupation du sol, au lieu de la frange côtière tel que préconisée par Lopez Y Royo *et al.* (2009b), permet une meilleure quantification des pressions d'origine urbaine.

*Conclusions générales*  
&  
*perspectives*

# Conclusions générales et perspectives

Cette étude a permis de répondre aux objectifs fixés en introduction et a ouvert de nouvelles perspectives et orientations. Elle a permis, entre autres, de mettre en œuvre des outils opérationnels simples de suivi des herbiers à *Posidonia oceanica* de la zone côtière algéroise, entre le mont Chenoua à l'ouest et le lac de Reghaia à l'est. Grâce aux informations relatives à la vitalité des herbiers à *Posidonia oceanica*, cette étude a également permis d'appréhender la qualité écologique du milieu littoral.

En effet, l'analyse des paramètres de vitalité de l'herbier a révélé une diminution de la surface foliaire et de la densité des faisceaux au niveau des stations à proximité des ports et des rejets des effluents. Ces pressions anthropiques sont à l'origine d'une augmentation de la turbidité et donc réduisent la quantité de lumière disponible. Quant à la charge épiphytique, une augmentation liée à l'enrichissement du milieu a été notée pour certaines stations soumises à des rejets d'effluents. Néanmoins, cette relation n'est pas établie pour quelques stations (Bsm) et (AGI), ce qui pourrait s'expliquer par l'effet d'autres facteurs comme l'hydrodynamisme et le broutage, qui peut conduire à des changements de la biomasse des épiphytes, minimisant ainsi l'effet de l'enrichissement (Castejón Silvo, 2011).

Par la suite, l'évaluation du statut écologique des eaux côtières algéroises à travers l'application de l'indice PREI a permis d'assigner à 75% des stations étudiées un statut écologique allant de Très bon à Bon et à 25% des stations un statut écologique qualifié de Moyen. En dépit, des différentes conditions environnementales qui caractérisent les stations étudiées, aucune station ne présente le statut écologique Mauvais ou Médiocre. Il apparaît donc que les différentes actions anthropiques enregistrées au niveau de ces stations n'aient pas eu un impact grave sur les différents herbiers à *Posidonia oceanica* étudiés.

## Conclusions générales et perspectives

---

La tendance générale qui se dégage de cette étude est que les herbiers à *Posidonia oceanica* localisés dans la partie ouest de la baie de Bou Ismaïl : (CH), (AK), (Br), (Kh), (Bsm), (Tnc) et (SD), présentent un statut écologique allant de Très Bon à Bon. Elles appartiennent à la portion du littoral algérois ayant la cotation d'anthropisation la plus faible. Quant aux stations (LP) et (AB) situées à l'est de la baie d'El Djamila et la station (PP) - localisée à l'extrême ouest de la baie d'Alger -, elles présentent toutes un statut écologique Moyen et correspondent à un secteur présentant une forte urbanisation. En outre, elles sont situées dans la partie ouest de la Wilaya d'Alger, la capitale du pays, connue par sa forte urbanisation et son industrialisation. Enfin, les stations localisées dans la partie ouest de la Baie de Zemmouri (AGII) et (AGI), présentent aussi un statut écologique Bon avec une cotation d'anthropisation moyenne et ce malgré les nuisances enregistrées au niveau de ce secteur notamment l'influence de la zone industrielle Rouiba-Réghaïa.

La comparaison entre les statuts écologiques obtenus au niveau des stations étudiées en 2011 et en 2015, montre que toutes les stations ont gardé le même statut écologique. Seule la station d'Aïn Benian (AB) a vu une dégradation de son statut écologique qui est passé de Bon en 2011 à Moyen en 2015, en raison de la dégradation du milieu générée par l'extension de l'urbanisation et les rejets des eaux usées non traitées au niveau de ce secteur.

La caractérisation de la zone d'étude, soutenue par la bonne corrélation obtenue entre la cotation d'anthropisation et les EQR PREI, permet de confirmer l'efficacité de l'utilisation de cet indice - simple à mesurer et peu coûteux - pour définir la qualité des eaux littorales algéroises. En effet, l'utilisation de cet indice pour l'évaluation de l'état écologique des eaux côtières algéroises a déjà été préconisée par Boumaza *et al.* (2015), en raison de la bonne corrélation entre cet indice et les cotations d'anthropisation des stations étudiées trouvée par ces auteurs.

## Conclusions générales et perspectives

---

En perspectives, il serait intéressant de :

- ✓ Créer une base de données bancarisant les informations collectées sur les herbiers à *Posidonia oceanica* et les pressions anthropiques qui affectent le littoral algérois ;
- ✓ Introduire un facteur de correction dans l'évaluation de la pression anthropique pour tenir compte de la morphologie côtière et de la courantologie : paramètres importants dans la dispersion des polluants ;
- ✓ Etablir une typologie des limites inférieures caractéristique de la zone algéroise afin d'améliorer l'utilisation de l'indice PREI au niveau de cette région ;
- ✓ Etablir un indice biotique de la qualité des eaux côtières, le Synthetic Index *Posidonia oceanica* (SIPo) adapté à la rive sud de la Méditerranée, à partir d'un certain nombre de descripteurs morphologiques et biochimiques. C'est dans cette optique que d'autres descripteurs de *Posidonia oceanica* sont actuellement mesurés, à savoir : le taux de recouvrement de l'herbier, le Brown Tissue Area Index et le nombre de cellules à tanins afin d'évaluer le statut écologique des eaux côtières algéroises et ce, dans le cadre du projet intitulé : « Mise en œuvre des outils basés sur *Posidonia oceanica* pour la surveillance des masses d'eau côtières » (Semroud *et al.*, 2016) (Projet CNEPRU, code : D01N01ES1609201500 01).

*Références  
bibliographiques*

# Références bibliographiques

**AMARA, R.** (2010). Impact de l'anthropisation sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes marins. Exemple de la Manche-mer du nord. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*[En ligne],Hors-serie (8 octobre 2010), mis en ligne le 04 octobre 2010. DOI : 10.4000/vertigo.10129. [consulté sur internet le 29/04/2016]. Disponible sur le web : <<http://vertigo.revues.org/10129>>.

**ANRH.** (2008). Carte des ressources en eaux souterraines du nord de l'Algérie : carte hydrologique interprétative. Alger : Algérie.

**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 : APPL.

**ARDIZZONE, G. D., PELUSI, P.** (1984). Yield and damage evaluation of bottom trawling on *Posidonia* meadows. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, GIS Posidonie publ., Fr. N° 1. p.p: 63-72.

**AUGIER, H., BOUDOURESQUE, C. F.** (1979). Premières observations sur l'herbier de posidonies et le détritique côtier de l'île du Levant (Méditerranée, France), à l'aide du sous-marin Griffon de la Marine Nationale. France : Travaux Scientifiques du Parc National de Port-Cros. N° 5, p.p : 141-153.

**AUGIER, H., GILLES, G., RAMONDA, G.** (1977). Utilisation de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* (L) Delile pour mesurer le degré de contamination mercurielle des eaux littorales méditerranéennes. France : *Comptes rendus de l'Académie des sciences.* N° 285, p.p : 1557-1560.

**BACHARI-HOUMA, F.** (2009). *Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire.* Thèse de Doctorat : Sciences de l'univers et Environnement. France : Université Val de Marne, Paris XII, Fr, p.p : 1- 272.

**BACHOUCHE, S., BELKESSA, R., HOUMA-BACHARI, F., AMROUCHE, L.** (2010). Aménagement du port de pêche de Khemisti. Congrès International : Gestion systémique des ressources halieutiques. Alger : ENSSMAL. p.p : 1-79.

**BAKALEM, A.** (2008). *Contribution à l'étude des peuplements benthiques du plateau continental Algérien.* Thèse de Doctorat. Océanographie. Alger : USTHB, p.p : 1- 677.

- BAKALEM, A., RUELLET, T., DAUVIN, J. C.** (2009). Benthic indices and ecological quality of shallow Algeria fine sand community. *Ecological Indicators*. N° 9, p.p: 395-408.
- BALESTRI, E., BENEDETTI-CECCHI, L., LARDICCI, C.** (2004). Variability in patterns of growth and morphology of *Posidonia oceanica* exposed to urban and industrial wastes: contrasts with two reference locations. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*., N° 208, p.p : 1-21.
- BALESTRI, E., CINELLI, F., LARDICCI, C.** (2003). Spatial variation in *Posidonia oceanica* structural, morphological and dynamic features in a northwestern Mediterranean coastal area: a multi-scale analysis. *Marine Ecology Progress Series*. N° 250, p.p : 51–60.
- BALLESTA, L., PASQUALINI, V., PERGENT, G., PERGENT-MARTINI, C.** (2000). Distribution and dynamics of *Posidonia oceanica* beds along the Albères coastline. *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Life Sciences*. N° 323, p.p : 407-414.
- BAOUNI, T., BERCHACHE, R.** (2011). Intermodalité et développement urbain dans l'agglomération d'Alger : défis, enjeux et perspectives. Les Cahiers du CREAD, N° 97, p.p : 93-109.
- BARBIER, E.B., HACKER, S.D., KENNEDY, C., et al.** (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services *Ecological Monographs*. Vol 81, N° 2, p.p : 169-193.
- 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. Belgique : Université Liège, p.p : 1-251.
- BEN BRAHIM, M., HAMZA, A., HANNACHI, I., et al.** (2010). Variability in the structure of epiphytic assemblages of *Posidonia oceanica* in relation to human interferences in the Gulf of Gabes. Tunisia: *Marine Environmental Research*. N° 70, p.p : 411-421.
- BENSLAMA, H.** (1990). Apports détritiques de l'Oued Isser et le rôle du Canyon de Zemmouri El Bahri dans la dynamique des sédiments du Plateau Ouest-Algérois. France : Rapport de la *commission internationale pour l'exploration scientifique de la Méditerranée*. Vol 32. N° 1, p.p : 1-87.
- BETOUCHE-TIHAL, Y.** (2014). *Intégration de la commune de Ain Benian dans le processus de développement touristique de la côte ouest algéroise*. Mémoire de magister. Urbanisme et Environnement. Alger : EPAU, p.p : 1-199.
- BOROWSKITZKA, M.A., LAVERY, P.S., VAN KEULEN, M.** (2006). Epiphytes of seagrasses. In Larkum A.W.D. Orth r.j., Duarte C.M. (eds), *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. France: *Springer*, p.p: 441-461.

**BOUDOURESQUE, C. F., MEINESZ, A.** (1982). Découverte de l'herbier de Posidonie. Cah. Parc nation. Port-Cros, Fr. N° 4, p.p : 1-79.

**BOUDOURESQUE, C.F., AUGIER, H., BELSHER, T., et al.** (1975). Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc national). X. La régression du récif-barrière de Posidonies. France : Travaux Scientifiques du *Parc national de Port-Cros*. N° 1, p.p: 41-46.

**BOUDOURESQUE, C.F., BERNARD, G., BONHOMME, P., et al.** (2006). Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. Monaco : RAMOGE Publ, p.p : 1-202.

**BOUDOURESQUE, C.F., BERNARD, G., PERGENT, G., et al.** (2009). Regression of Mediterranean Seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review. *Botanica Marina*. N° 52, p.p : 395-418.

**BOUDOURESQUE, C. F., BALLESTEROS, E., BEN MAIZ, N., et al.** (1990). Livre rouge "Gérard Vuignier" des végétaux, peuplements et paysages menacés de Méditerranée. Programme des Nations Unies pour l'Environnement publ., Athenes, Grece, p.p : 1-205.

**BOUMAZA, S.** (2015). *Caractérisation d'un herbier à Posidonia oceanica soumis à des rejets d'effluents*. Thèse de Doctorat. Biologie. Alger : USTHB, p.p :1-109.

**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. *Biologia Marina Mediterranea*. N° 7 (2), p.p : 26-30.

**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. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. N° 457, p.p : 113-119.

**BOUMAZA, S., SENGOUGA, A., MISRAOUI, A., et al.** (2015). Assessment of the ecological status of Algiers coastal waters using two indices based on the seagrass *Posidonia oceanica*: PREI and BiPo. *The 4th Mediterranean Seagrass Workshop -Sardinia 2015*. Oristano, Italy.

**BRAÏK, D.** (1989). *Etude de la dynamique sédimentaire devant Bou Ismaïl : Sédimentologie - Morphologie - problème d'érosion littorale - Aménagement*. Thèse magistère : Géologie marine. Alger: USTHB, p.p : 1-174.

**BURGER, J.** (2006). Bioindicators: A Review of Their Use in the Environmental Literature 1970–2005. *Environmental Bioindicators*. N° 1, p.p :136–144.

**CANCEMI, G., DE FALCO, G., PERGENT, G.** (2003). Effects of organic matter input from a fish farming facility on a *Posidonia oceanica* meadow. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. N° 56, p.p : 961-968.

**CAR/ASP - PNUE/PAM.** (2015). Bilan diagnostic de la Réserve naturelle de Réghaia (Algérie). Par BENABDI, M., BACHETARZI, R. Ed. CAR/ASP - Projet MedMPAnet, Tunis, p.p: 1-50.

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

**CAYE, G.** (1989). *Sur la morphogénèse, le cycle végétatif et la reproduction de deux phanérogames : Posidonia oceanica (Linnaeus) Delile et Cymodocea nodosa (Ucria) Ascherson*. Thèse Habilitation à Diriger des Recherches. France : Université Nice, p.p : 1-229.

**CHARBONNEL, E., BOUDOURESQUE, C.F., BERTRANDY, M.C.,** et al. (1993). Le Réseau de Surveillance Posidonies en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (Méditerranée, France) : premiers résultats. France : *Symposium international Protection du milieu marin contre la pollution urbaine*. N° 3, p.p : 1-10.

**CHARBONNEL, E., BOUDOURESQUE, C. F.** (2003). Les 20 ans d'expérience du réseau de surveillance posidonies. *Le courrier de la nature*. N° 206.

**CLABAUT, P., PERGENT-MARTINI, C., PERGENT, G.,** et al. (2010). Les relations entre les herbiers de Posidonies, le substrat et l'hydrodynamisme. In: EL ASMI, S., LANGAR, H., BELGACEM,R. (Eds), *Proceedings of the Fourth Mediterranean Symposium on Marine Vegetation*. Hammamet-Yasmine. RAC/SPA Publ., Tunis, p.p : 49-54.

**CNL-Tipasa.** (2015). Les rejets et l'état des plages du littoral de la wilaya de Tipasa : Rapport d'activité. Document non publié. Tipasa : CNL.

**DAGORNE, A., MAHROUR, M., ALBUISSON, M.,** et al. (1985). Télédétection satellitaire et cartographie du littoral en Algérie. Un exemple en Kabylie : la feuille de Djinet . In: *Méditerranée, troisième série, tome 54, Télédétection III*, p.p : 81-94.

**DALLA VIA, J., STURMBAUER, C., SCHÖNWEGER, G.,** et al. (1998). Light gradients and meadow structure in *Posidonia oceanica* : ecomorphological and functional correlates. *Marine Ecology Progress Series*. N° 163, p.p : 267-278.

**DELGADO, O., RUIZ, J., PEREZ, M.,** et al. (1999). Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean bay: seagrass decline after organic loading cessation. France: *Oceanologica Acta*. Vol 22. N° 1, p.p: 109-117.

**DEN HARTOG, C.** (1970). The sea-grasses of the world. Pays-Bas: *North Holland publ*, p.p: 1-275 + 63 pl. h.t.

**DUARTE, C.M.** (1991). Seagrass depth limits. *Aquatic Botany*. N° 40, p.p : 363-377.

**DURAL, B., VEYSEL, A., NILSUN, D., et al.** (2012). The status of sensitive ecosystems along the Aegean coast of Turkey: *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*. Vol 18. N° 3, p.p : 360-379.

**FERNÁNDEZ-TORQUEMADA, Y., SÁNCHEZ-LIZASO, J.L., GONZÁLEZ-RREA, J.M.** (2005). Preliminary results of the monitoring of the brine discharge produced by the SWRO desalination plant of Alicante (SE Spain). *Desalination*. N° 182, p.p: 395–402.

**FERNÁNDEZ-TORQUEMADA, Y., SÁNCHEZ-LIZASO, J.L.** (2005). Effects of salinity on leaf growth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. N° 320, p.p: 57-63.

**FERNANDEZ-TORQUEMADA, Y., M DIAZ VALDES, F., COLILLA, B., LUNA, J.L., et al.** (2008). Descriptors from *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows in coastal waters of Valencia, Spain, in the context of the EU Water Framework Directive. *ICES. Journal of Marine Science*. N° 65, p.p : 1492-1497.

**GARCÍA-MARÍN, P.** (2013). *Desarrollo de herramientas basadas en angiospermas marinas para la evaluación del estado ecológico de masas de agua del sur de la Península Ibérica*. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz, p.p : 1-142.

**GIOVANNETTI, E., MONTEFALCONE, M., MORRI, C., et al.** (2010). Early warning response of *Posidonia oceanica* epiphyte community to environmental alterations (Ligurian Sea, NW Mediterranean). *Marine Pollution Bulletin*. N° 60, p.p : 1031-1039.

**GIRAUD, G.** (1979). Sur une méthode de mesure et de comptage des structures foliaires de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. France : *Bulletin du Muséum national d'histoire naturelle*. N° 39, p.p: 33-39.

**GOBERT, S., KYRAMARIOS, M., LEPOINT, G., et al.** (2003). Variations at different spatial scales of *Posidonia oceanica* (L.) Delile beds; effects on the physico-chemical parameters of the sediment. *Oceanologica Acta*. N° 26, p.p : 199-207.

**GOBERT, S., SARTORETTO, S., RICO-RAIMONDINO, V., et al.** (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*. N° 58, p.p: 1727-1733.

**GOBERT, S., SARTORETTO, S., RICO-RAIMONDINO, V., et al. (2013).** Indicateur Angiospermes/Herbiers de Posidonies PREI (Facade Méditerranée, Masses d'eaux Côtières. Guide relatif aux règles d'évaluation de l'état des eaux littorales (eaux côtières et eaux de transition) en vue de la mise à jour de l'état des lieux 2013. Paris, France: Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, p.p : 92-95

**GOBERT, S., CAMBRIDGE, M.L., VELIMIROV, B., et al. (2006).** In Larkum, D., Orth, R.J., Duarte, C.M. (Edits). "Seagrasses Biology: Ecology and Conservation". New York : Springer Publ, p.p: 387-408.

**GRIMES, S. (2010).** *Peuplements benthiques des substrats meubles de la côte algérienne : Taxonomie, structure et statut écologique.* Thèse de doctorat. Sciences de l'Environnement. Oran : Université d'Oran, p.p: 1-362.

**GRIMES, S. (2011).** Profil de durabilité dans quelques destinations touristiques méditerranéennes : La destination touristique pilote en Algérie : la zone côtière de Tipasa. Plan Bleu, CAR/ PNUE/PAM, *Sophia Antipolis*, p.p: 1-78.

**HAOUCHINE, A., HAOUCHINE, F.Z., LABADI, A. (2015).** Changements climatiques et activités anthropiques : impacts sur les aquifères côtiers en Algérie. *Larhyss Journal*, Issn 1112-3680, N° 24, p.p : 227-241

**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*. France : *Colloque franco-japonais d'Océanographie*. N° 1, p.p: 143-151.

**LARID, M. (2002).** Le recul des plages en Algérie : problèmes et perspectives. Tanger : *CIESM Workshop Series*. Vol 18. N° 02, p.p : 53-57.

**LASAGNA, R., MONTEFALCONE, M., ALBERTELLI, G., et al. (2011).** Much damage for little advantage: Field studies and morphodynamic modelling highlight the environmental impact of an apparently minor coastal mismanagement. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. N° 94, p.p: 255-262.

**LATORRE, M. (2005).** Environmental impact of brine disposal on *Posidonia* seagrasses. *Desalination 000*, p.p: 517-524.

**LE GALL, J.Y. (1969).** Etude de l'endofaune des pelouses de Zostéracées superficielles de la baie de Castiglione (côte d'Algérie). *Téthys*. Vol 1. N° 2, p.p : 395-420.

**LE MOAL, M. (2012).** Bioindicateurs (récifs coralliens et phanérogames) pour qualifier l'état écologique des masses d'eaux côtières en outre-mer, dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau. Etude bibliographique. France : *Muséum national d'Histoire naturelle, Service du Patrimoine Naturel*, p.p : 1-32.

- LEONI, V., PASQUALINI, V., PERGENT-MARTINI, C., et al.** (2006). Morphological responses of *Posidonia oceanica* to experimental nutrient enrichment of the canopy water. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. N° 339, p.p : 1-14.
- LOPEZ Y ROYO, C.** (2008). *Utilisation de Posidonia oceanica comme outil de gestion dans le cadre de l'évaluation du bon état écologique du milieu littoral*. Thèse Doctorat «Ecologie marine ». France : Université de Corse, p.p : 1-242.
- LOPEZY ROYO, C., CASAZZA, G., PERGENT-MARTINI, C., PERGENT, G.** (2009a). Application of an angiosperm-based classification system (BiPo) to Mediterranean coastal waters: Using spatial analysis and data on metal contamination of plants in identifying sources of pressure. *Hydrobiologia*. Vol 633. N° 1, p.p : 169-179.
- LOPEZ Y ROYO, C., SILVESTRI, C., PERGENT, G., et al.** (2009b). Assessing human-induced pressures on coastal areas with publicly available data. *Journal of Environmental Management*. Vol 90. N° 3, p.p: 1494-1501.
- LOPEZ Y ROYO, C., PERGENT, G., ALCOVERRO, T., et al.** (2011). The seagrass *Posidonia oceanica* as indicator of coastal water quality: Experimental intercalibration of classification systems. *Ecological Indicators*. N° 11, p.p: 557–563.
- MADR/DGF.** (2003). Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar. Réserve naturelle du lac de Réghaïa., Algérie, p.p : 1-16.
- MANGOS, A., CLAUDOT, M.A.** (2013). Etude économique des effets des aires protégées marines et côtières en Méditerranée. *Les Cahiers du Plan Bleu, Valbonne*. N° 13, p.p : 1-64.
- MCKINDSEY, C.W., ARCHAMBAULT, P., CALLIER, M. D., OLIVIER, F.** (2011). Influence of suspended and off-bottom mussel culture on the sea bottom and benthic habitats: a review. Canada: *Canadian Journal of Zoology*. N° 89, p.p : 622-646.
- MED-GIG.** (2007). WFD Intercalibration technical report for coastal and transitional waters in the Mediterranean ecoregion. In: WFD Intercalibration technical report – Part 3: Coastal and transitional waters. Available from: <http://circa.europa.eu/Public/irc/jrc/jrceewai/library?l=/intercalibration2&vm=detailed&sb=Title>.
- MEINESZ, A., LAURENT, R.** (1978). Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-Maritimes. Campagne Poséidon, 1976. *Botanica Marina*. Vol 21. N° 8, p.p : 513-526.
- MERMEX GROUP : DURRIEU DE MADRON, X., GUIEU, C., et al.** (2011). Marine ecosystems responses to climatic and anthropogenic forcings in the Mediterranean. *Progress in Oceanography*. N° 91, p.p : 97-166.

**MOLENAAR, H., MEINESZ, A., THIBAUT, T.** (2009). Alterations of the structure of *Posidonia oceanica* beds due to the introduced alga *Caulerpa taxifolia*. *Scientia Marina*. Vol 73. N° 2, p.p: 329-335.

**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, p.p: 1-125.

**OULD AHMED, N.** (1994). *Etude des espèces phytobenthiques au voisinage de la centrale thermique de Mers El Hadjadj (golfe d'Arzew ; Ouest algérien). Mention particulière sur une espèce remarquable chlorophyte, Caulerpale : Caulerpa prolifera (Forsskal) Lamoureux.* Thèses Magister. Océanographie. Alger : ISMAL, p.p: 1-177. + annexes

**PANAYOTIDIS, P., BOUDOURESQUE, C.F., MARCOT-COQUEUGNIOT, J.** (1981). Microstructure de l'herbier de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Botanica Marina*. Vol 24. N° 3, p.p : 115-124.

**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). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. N° 47, p.p: 359-367.

**PERGENT, G.** (1987). *Recherches lépidochronologiques chez Posidonia oceanica (Potamogetonaceae). Fluctuations des paramètres anatomiques et morphologiques des écailles des rhizomes.* Thèse Doctorat. Océanologie. France : Université Aix-Marseille II, p.p: 1-853.

**PERGENT, G.** (1991). La protection légale de la Posidonie en France: un outil efficace - Nécessité de son extension à d'autres pays méditerranéens. *In: Boudouresque, C.F., Avon, M., Gravez, V. (eds), Les espèces marines à protéger en Méditerranée.* France : *GIS Posidonie publ.*, p.p: 29-33.

**PERGENT, G.** (2006). Le rôle des herbiers à *Posidonia oceanica*. *In « Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica », Boudouresque, C.F., Bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel, E., Diviacco, G., Meinesz, A., Pergent, G., Pergent-Martini, C., Ruitton S., Tunesi, L. eds. Monaco : RAMOGE Publ, p.p: 25-31.*

**PERGENT, G.** (2007). Protocol for the setting up of *Posidonia* meadows monitoring systems. « MedPosidonia » Programme / RAC/SPA - TOTAL Corporate Foundation for Biodiversity and the Sea; Memorandum of Understanding N°21/2007/RAC/SPA\_MedPosidonia Nautilus-Okianos, p.p: 1-24 + Annexes.

**PERGENT, G., PERGENT-MARTINI, C.** (1990). Some applications of lepidochronological analysis in the seagrass *Posidonia oceanica*. *Botanica marina*. N° 33, p.p: 299-310.

**PERGENT, G., PERGENT-MARTINI, C., BOUDOURESQUE, C.F.** (1995). Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: Etat des connaissances. *Mesogée*. N°54, p.p: 3–29.

**PERGENT, G., CLABAUT, P., MIMAULT, B., et al.** (2005). Mise en œuvre d'un Réseau de Surveillance Posidonies le long du littoral de la Corse. Deuxième phase : Porto-Vecchio / Ajaccio. Contrat Office de l'Environnement de la Corse et GIS Posidonie Centre de Corse. *GIS Posidonie Publ*, p.p: 1-133.

**PERGENT, G., BOUDOURESQUE, C.F., DUMAY, O., et al.** (2008). Competition between the invasive macrophyte *Caulerpa taxifolia* and the seagrass *Posidonia oceanica*: contrasting strategies. *BioMed Central Ecology*. N° 8, p.p: 1-20.

**PERGENT, G., ABIVEN, T., HAUDEN, S., et al.** (2004). Mise en œuvre d'un Réseau de Surveillance Posidonies le long du littoral de la Corse. Première phase : Cap Corse / Porto-Vecchio. Contrat Office de l'Environnement de la Corse et GIS Posidonie Centre de Corse, *GIS Posidonie Publ*, p.p: 1-108.

**PERGENT, G., BAZAIRI, H., BIANCHI, C.N., et al.** (2012). Les herbiers de Magnoliophytes marines de Méditerranée : résilience et contribution à l'atténuation des changements climatiques. Gland, Suisse et Málaga, Espagne : *The International Union for Conservation of Nature*, p.p: 1-80.

**PERGENT, G., BAZAIRI, H., BIANCHI, C.N., et al.** (2014). Climate change and Mediterranean seagrass meadows: a synopsis for environmental managers. *Mediterranean Marine Science*. Vol 15. N° 2, p.p: 462-473.

**PERGENT-MARTINI, C.** (2000). Protection des habitats d'herbiers de Phanérogames marines de Méditerranée. Les études d'impacts en milieu marin. CAR/ASP Tunis & *EqEL publ.*, p.p : 1-49 + Annexes.

**PERGENT-MARTINI, C., GUERRINI, P.** (1995). Concentration of mercury in marine phanerogam *Posidonia oceanica*. Preliminary results. France : *Rapport de la Commission internationale pour l'exploration scientifique de la mer Méditerranée*. N° 34, p.p: 143-143.

**PERGENT-MARTINI, C., LE RAVALLEC, C.** (2007). Lignes directrices pour les études d'impacts sur les herbiers marins. PNUE /CAR/ASP édit. Tunis, p.p: 1-45 + annexes.

**PERGENT-MARTINI, C., PASQUALINI, V., PERGENT, G.** (1995). Monitoring of *Posidonia oceanica* meadows near the outfall of the sewage treatment plant at Marseille (Mediterranean – France). *EARSeL Advances in Remote Sensing*. Vol 4. N° 1, p.p: 128-134.

**PERGENT-MARTINI, C., PASQUALINI, V., PERGENT, G.** (2000). - Impact de la station d'épuration de la Ville de Marseille sur l'herbier à *Posidonia oceanica* du secteur de Cortiou. Contrat Ville de Marseille/GIS Posidonie, *GIS Posidonie publ.*, Corté, Fr, p.p: 1-36.

**PERGENT-MARTINI, C., PERGENT, G., FERNANDEZ, C., FERRAT, L.** (1999). Value and use of *Posidonia oceanica* as a biological indicator. In proceed. MEDCOAST 99 - EMECS 99 Joint Conference «Land-ocean interactions: managing coastal ecosystems » MEDCOAST, *Middle East Technical Univ. Publ*, Ankara. N° 1, p.p: 73-90.

**PERGENT-MARTINI, C., LEONI, V., PASQUALINI, V., et al.** (2005). Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: Use and application. *Ecological Indicators*. N° 5, p.p: 213-230.

**PNUE/PAM/CAR PAP.** (2006). Programme d'Aménagement Côtier (PAC) de la «zone côtière algéroise» (PAC). Rapport final intégré. Grèce : *Plan d'action pour la Méditerranée/ Technical Report Series*. N° 64, UNEP, Athènes, p.p: 1-190 + Atlas cartographique.

**PNUE/PAM/CAR/ASP.** (2015). Lignes Directrices pour la Standardisation des Méthodes de Cartographie et de Surveillance des Magnoliophytes Marines en Méditerranée. Christine PERGENT-MARTINI, édits., CAR/ASP publ., Tunis, p.p : 1-48 + Annexes.

**PNUE/PAM/PAP/CAR.** (2005). Programme d'Aménagement Côtier (PAC) de la «zone côtière algéroise» (PAC). Document non publié. Algérie : PNUE.

**PNUE-PAM-CAR/ASP.** (2004). Programme d'Aménagement Côtier (PAC) de la «zone côtière algéroise» (PAC). Protection des sites sensibles naturels marins du secteur Cap Djinet au Mont Chenoua. Bilan et Diagnostic, p.p: 1-266.

**PRADO, P., ALCOVERRO, T., ROMERO, J.** (2008). Seasonal response of *Posidonia oceanica* epiphyte assemblages to nutrient increase. *Marine Ecology Progress Series*. N° 35, p.p: 89-98.

**PROCACCINI, G., BUIA, M.C., GAMBI, M.C., et al.** (2003). The seagrasses of the Western Mediterranean. In Green, E.P. et Short, F.T. (Edits), *World Atlas of Seagrasses*, *Université Californie Press Publ*, p.p: 48-58.

**PROJET POSIDONIA.** (2007). Rapport final d'activité du groupe de travail «Cartographie». Programme Interreg IIIB MEDOCC « 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*. Ifremer, ARPAL, ENEA, GIS Posidonie, Osservatorio Liguria, *BMC Studio & P. Clabaut Consultant* edit., p.p: 1- 68 + Annexes.

**RAC/SPA - UNEP/MAP.** (2014). Monitoring protocol for *Posidonia oceanica* beds. By Guala, I., Nikolic, V., Ivesa, L., Di Carlo, G., Rajkovic, Z., Rodic, P., Jelic, K. Ed. RAC/SPA - MedMPAnet Project, Tunis, p.p : 1-37 + annexes.

**RALPH, P.J., DURAKO M.J., ENRIQUEZ S., et al.** (2007). Impact of light limitation on seagrasses. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. N° 350, p.p: 176-193.

**REYJOL, Y., SPYRATOS, V., BASILICO, L.** (2012). Bioindication des outils pour évaluer l'état écologique des milieux aquatiques Perspectives en vue du 2e cycle DCE – Eaux de surface continentales : Synthèse des journées « DCE et bioindication » du séminaire « Méthodes d'évaluation de l'état des eaux – Situation et perspectives dans le contexte de la directive cadre sur l'eau », Paris 19 et 20 avril 2011, complétée des réflexions du groupe de travail DCE-ESC durant l'année 2012.

**ROMERO, J., MARTINEZ-CREGO, B., ALCOVERRO, T., PEREZ, M.** (2007). A multivariate index based on the seagrass *Posidonia oceanica* (POMI) to assess ecological status of coastal waters under the water framework directive (WFD). *Marine Pollution Bulletin*. N° 55, p.p: 196-204.

**RUIZ, J. M.** (2000). *Respuesta de la Fanerógama marina Posidonia oceanica (L.) Delile a perturbaciones antrópicas*. Memoire Doctorat. Biologie. Spain: University of Murcia, p.p: 1-212.

**RUIZ, J. M., ROMERO, J.** (2001). Effects of *in-situ* experimental shading on the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Ecology Progress Series*. N° 215, p.p: 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*. N° 46, p.p: 1523-1533.

**SEMROUD, R., BOUMAZA, S., AMAROUCHE, N., BOUKORTT, R.** (2014). Mise en œuvre de l'indice Synthetic Index *Posidonia oceanica* (SiPo) pour l'évaluation de l'état écologique des eaux côtière algéroises. Rapport Projet National de Recherche (PNR, code 2/u 163/ 431), p.p: 1-61.

**SEMROUD, R., BOUMAZA, S., SERIDI, H., et al.** (2016). Mise en œuvre des outils basés sur *Posidonia oceanica* pour la surveillance des masses d'eau côtières. Projet CNEPRU, code : D01N01ES160920150001. ENSSMAL. Alger, p.p : 1-26.

**SEMROUD, R., BOUDRIMONT, R., BOUCHENAKI, M., et al.** (1971). Projet d'un parc marin et terrestre Tipasa-Chenoua. Document dactylographié, p.p: 1-24.

**SILVESTRI, C.** (1993). *Studio sinecologico sulla prateria di Posidonia oceanica (L.) Delile di Monterosso al mare (SP) : cartografia quali-quantitativa e dinamica stagionale.* Thèse doctorat. Italy : Université Rome, p.p: 1-97.

**TERRADOS, J., DUARTE, C. M.** (2000). Experimental evidence of reduced particle resuspension within a seagrass (*Posidonia oceanica* L.) meadow. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. N° 243, p.p: 45-53.

**TERRADOS, J., DUARTE, C. M., KAMP-NIELSEN, L., et al.** (1999). Are seagrass growth and survival constrained by the reducing conditions of sediment? *Aquatic Botany*. N° 65, p.p: 175–197.

**THIBAUT, M.** (2006). Plan de Gestion de la Réserve Naturelle du Lac de Réghaia (Algérie).

**WATER FRAMEWORK DIRECTIVE 2000/60/EEC.** (2000). Council Directive of the European Parliament of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Union*, 22/12/2000, p.p: 1-327.

# *Annexes*

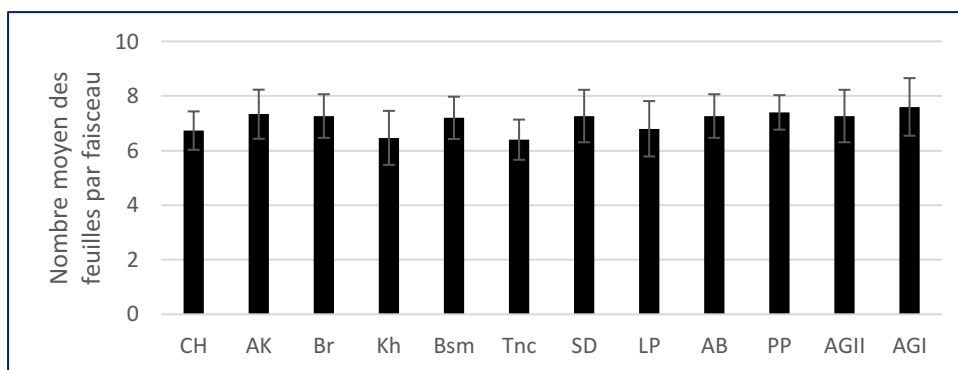
## Annexe 1.

**Tableau 1.** Classification des herbiers en fonction de la densité des faisceaux et de la profondeur. D'après PNUE-PAM-CAR/ASP (2015)

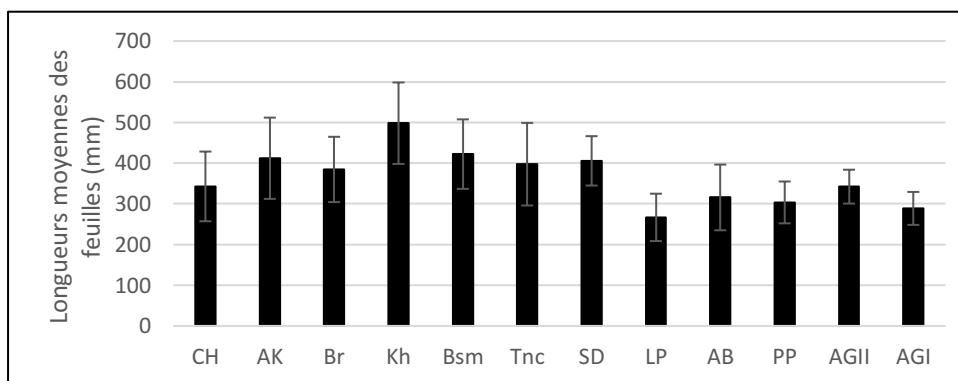
Profondeur (en m)	Très Bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
1	> 1133	1133 à 930	930 à 727	727 à 524	< 524
2	> 1067	1067 à 863	863 à 659	659 à 456	< 456
3	> 1005	1005 à 808	808 à 612	612 à 415	< 415
4	> 947	947 à 757	757 à 567	567 à 377	< 377
5	> 892	892 à 709	709 à 526	526 à 343	< 343
6	> 841	841 à 665	665 à 489	489 à 312	< 312
7	> 792	792 à 623	623 à 454	454 à 284	< 284
8	> 746	746 à 584	584 à 421	421 à 259	< 259
9	> 703	703 à 547	547 à 391	391 à 235	< 235
10	> 662	662 à 513	513 à 364	364 à 214	< 214
11	> 624	624 à 481	481 à 338	338 à 195	< 195
12	> 588	588 à 451	451 à 314	314 à 177	< 177
13	> 554	554 à 423	423 à 292	292 à 161	< 161
14	> 522	522 à 397	397 à 272	272 à 147	< 147
15	> 492	492 à 372	372 à 253	253 à 134	< 134
16	> 463	463 à 349	349 à 236	236 à 122	< 122
17	> 436	436 à 328	328 à 219	219 à 111	< 111
18	> 411	411 à 308	308 à 204	204 à 101	< 101
19	> 387	387 à 289	289 à 190	190 à 92	< 92
20	> 365	365 à 271	271 à 177	177 à 83	< 83
21	> 344	344 à 255	255 à 165	165 à 76	< 76
22	> 324	324 à 239	239 à 154	154 à 69	< 69
23	> 305	305 à 224	224 à 144	144 à 63	< 63
24	> 288	288 à 211	211 à 134	134 à 57	< 57
25	> 271	271 à 198	198 à 125	125 à 52	< 52
26	> 255	255 à 186	186 à 117	117 à 47	< 47
27	> 240	240 à 175	175 à 109	109 à 43	< 43
28	> 227	227 à 164	164 à 102	102 à 39	< 39
29	> 213	213 à 154	154 à 95	95 à 36	< 36
30	> 201	201 à 145	145 à 89	89 à 32	< 32
31	> 189	189 à 136	136 à 83	83 à 30	< 30
32	> 179	179 à 128	128 à 77	77 à 27	< 27
33	> 168	168 à 120	120 à 72	72 à 24	< 24
34	> 158	158 à 113	113 à 68	68 à 22	< 22
35	> 149	149 à 106	106 à 63	< 63	
36	> 141	141 à 100	100 à 59	< 59	
37	> 133	133 à 94	94 à 55	< 55	
38	> 125	125 à 88	88 à 52	< 52	
39	> 118	118 à 83	83 à 48	< 48	
40	> 111	111 à 78	78 à 45	< 45	

## Annexe 2.

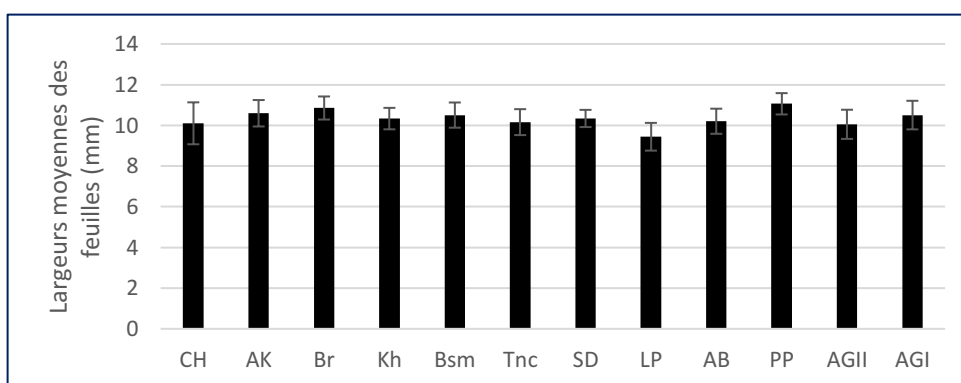
### Biométrie foliaire



**Figure 1.** Nombre moyen de feuilles par faisceau.



**Figure 2.** Longueurs moyennes des feuilles par faisceau.



**Figure 3.** Largeur moyenne des feuilles par faisceau.

## Annexe 3.

### Qualification de la zone d'étude et calcul de la cotation d'anthropisation : Liste des paramètres et sources des données

	<b>Paramètres Pn</b>	<b>Sources des données</b>
<b>Naturalité</b>	1 – longueur de côte en Km / surface communale	Calculée après digitalisation des images satellitaires Google Earth sur MapInfo
	2 – % de littoral sableux	Calculé après digitalisation des images satellitaires Google Earth sur MapInfo en se référant aux données des types de plages du CNL-Tipasa (2015) et APPL (2014)
	3 – Largeur moyenne de la plate-forme continentale	PNUE/PAM/PAP/CAR(2005) (Valeurs de cotation : Larid, comm. Pers )
	4 – Cours d'eau permanents	Carte hydrogéologique interprétative de l'ANRH (2008)
	5 – Cours d'eau temporaires	Carte hydrogéologique interprétative de l'ANRH (2008)
	6 – Surface sites sensibles (zone humide, naturelle, dune) Par rapport à la surface Communale	Calculée après digitalisation des images satellitaires Google Earth sur MapInfo
	7 – Couverture végétale (forêt, bois, maquis) par rapport à la surface communale	Calculée après digitalisation des images satellitaires Google Earth sur MapInfo
	8 – Herbiers phanérogames marines (en %)	-Estimation à partir des images satellitaires et un point de vérification <i>in-situ</i> pour les stations dont les images satellitaires de Google Earth sont de bonne résolution -PNUE/PAM/PAP/CAR(2005) (Valeurs de cotation : Larid, comm. Pers) pour le reste des stations.
<b>Anthropisation</b>	1 – Occupation (tous aménagements confondus) par rapport à la surface communale	Calculée après digitalisation des images satellitaires Google Earth sur MapInfo
	2 – % de la population permanente par rapport à la population de la wilaya	RGPH (2008) <i>in</i> MRE/DEAH/CTB (2012)
	3 – Volume total d'eau usées en m <sup>3</sup> / our	MRE/DEAH/CTB (2012)
	4 – Déchets solides ménagers en tonnes/an	PNUE/PAM/PAP/CAR(2005) (Valeurs de cotation : Larid, comm. Pers)
<b>Altérité</b>	1 – % des eaux usées traitées	MRE/DEAH/CTB (2012)
	2 – % de collecte des déchets solides ménagers	PNUE/PAM/PAP/CAR(2005) (Valeurs de cotation : Larid, comm. Pers)
	3 – Recul total des plages en mètres pour la période 1970- 2000	PNUE/PAM/PAP/CAR(2005) (Valeurs de cotation : Larid, comm. Pers)

## RESUME

Les herbiers à *Posidonia oceanica* sont de bons indicateurs biologiques, du fait de leur large répartition, leur abondance, leur facilité de collecte, leur capacité à accumuler les polluants stables et leur sensibilité aux agressions liées aux activités humaines. La présente étude a pour but de mieux cerner le rôle des herbiers à *Posidonia oceanica* dans la Gestion Intégrée des Zones Côtières algériennes. Le travail développé dans ce mémoire de magister consiste dans un premier temps à la caractérisation des herbiers de Posidonie dans les trois baies de la côte algéroise (Bou Ismaïl, Alger et Zemmouri/ 12 stations), et ce au niveau de la population (densité), de l'individu (biométrie foliaire) et de la communauté associée (couverture épiphytique). Dans un second temps, une évaluation du statut écologique des eaux à travers l'application de l'indice PREI a révélé qu'une (01) station est classée de « Très bon » statut écologique, huit (08) de « Bon » statut écologique et trois (03) de « Moyen » statut écologique. La comparaison entre les résultats obtenus en 2011 et en 2015 montre que la majorité des stations présentent le même statut écologique.

Afin de vérifier la robustesse de cet indice, la pression anthropique exercée sur la zone d'étude a été estimée selon deux méthodes : (i) l'évaluation visuelle par l'utilisation d'images satellitaires; (ii) la méthode des indicateurs agrégés qui combine trois agrégats: naturalité, anthropisation, altérité. Cette dernière montre une meilleure conformité avec le statut écologique basé sur le calcul de l'indice PREI

La caractérisation de la zone d'étude, soutenue par la bonne corrélation obtenue entre la cotation d'anthropisation et les EQR PREI, a permis de confirmer l'efficacité de l'utilisation de cet indice pour définir la qualité des eaux littorales algéroises.

**Mots clés :** *Posidonia oceanica*, côte algéroise, indice PREI, pression anthropique, bioindicateur.

## ABSTRACT

*Posidonia oceanica* meadows are good biological indicators, because of their wide distribution, abundance, ease of collection, ability to accumulate stable pollutants and susceptibility to anthropogenic stresses. The aim of this study is to understand the role of *Posidonia oceanica* meadows in the Integrated Management of Algerian Coastal Zones. The work developed in this study consists initially in the characterization of Posidonia meadows in the three bays of the Algiers coast (Bou Ismaïl, Algiers and Zemmouri/ 12 stations), at the population level (density), individual level (leaf biometry) and the associated community level (epiphytic cover). In a second step, an assessment of the ecological status of the waters using the PREI index revealed that one (01) station can be classified as "Hight", eight (08) stations as "Good" and three (03) station as "Medium" ecological status. The comparison between results of the present study and results obtained on 2011 show that the majority of stations maintained the same ecological status.

In order to verify the robustness of this index, the anthropogenic pressure exerted on the study area was estimated using two methods: (i) the visual evaluation using satellite imagery; (ii) the aggregated indicator method which combines three aggregates: naturalness, anthropization and alterity. This second method seems to be the most congruent with the ecological status obtained.

The characterization of the study area, sustained by the good correlation obtained between the anthropization quotation and the PREI EQR, confirmed the efficacy of the use of this index to assess the water quality on the Algiers coast.

**Keywords:** *Posidonia oceanica*, Algiers coast, PREI index, anthropogenic pressure, bioindicator.

## ملخص

تعد ضرائع البوزيدونيا من أحسن المؤشرات البيولوجية نظرا لانتشارها الواسع، وفرتها، سهولة جمعها، قدرتها على تخزين الملوثات وحساسيتها للمخاطر الناتجة عن العوامل البشرية. تهدف هذه الدراسة لفهم دور نبتة البوزيدونيا في التسيير المدمج للمناطق الساحلية الجزائرية. تتمثل الأشغال المطروحة ضمن هذه الدراسة أولا في تحديد خصائص ضرائع البوزيدونيا على مستوى ثلاث خلجان بالساحل الجزائري وسط (بوسماعيل، الجزائر، زموري/ 12 موقع) وهذا من خلال دراسة كثافة الضريع، المعايير الحيوية للنبتة وكذا النباتات الفوقية. بعدها تم تقييم الحالة البيئية للمياه الساحلية عن طريق المؤشر PREI، حيث صنف موقع واحد ذو حالة بيئية "جيدة جدا"، ثمانية مواقع "جيدة" وثلاثة مواقع ذات حالة بيئية "متوسطة". المقارنة بين هذه النتائج وتلك التي أجريت سنة 2011 بينت أن معظم المواقع حافظت على نفس الحالة البيئية.

لهدف اختبار فعالية هذا المؤشر، تم تقييم مؤشر ضغط العامل البشري على المنطقة باستخدام طريقتين: الأولى عن طريق استعمال صور أقمار صناعية والثانية عن طريق تجميع بيانات ثلاث عوامل (بشرية، طبيعية والتدهور). أظهرت هذه الطريقة الثانية تناسبا أكثر مع نتائج المؤشر PREI، مما يدل على فعالية استخدام هذا المؤشر لتقييم نوعية المياه الساحلية في الجزائر.

**كلمات البحث:** البوزيدونيا، الساحل الجزائري، المؤشر PREI، العامل البشري، المؤشرات الحيوية.