

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 FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
DE MASTER II EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : Environnement

**Evaluation du statut écologique des eaux côtières algéroises :  
Application des indices PREI et BiPo**

Présenté par:

- Mlle BOUMAOUR Amina
- Mlle KAHLAL Mounia

Soutenu le 24/10/2013, devant le jury composé de :

Mr HAMDI B.	Professeur (ENSSMAL)	Président
Mme AMAROUCHE N.	Maître-assistante A (USD Blida)	Examinatrice
Mme KORICHI H.	Maître-assistante A (ENSSMAL)	Examinatrice
Mme BOUMAZA S.	Maître-assistante A (ENSSMAL)	Promotrice
Mr BOUKORTT R.	Assistant (ENSSMAL)	Co-Promoteur

# Remerciements



Nous tenons à remercier vivement notre promotrice Mme S. BOUMAZA pour avoir accepté l'encadrement de notre master II. Ses orientations, précieux conseils et discussions scientifiques tout au long de ce parcours, nous ont été d'une utilité certaine.

Nous adressons de même notre profonde reconnaissance à notre co-promoteur, Monsieur R. BOUKORTT, pour sa contribution au travail sur le terrain, sa disponibilité, son soutien, conseils permanents, et pour la confiance qu'il nous a accordée.

Nous tenons à exprimer nos remerciements les plus chaleureux aux membres de jury qui nous ont fait l'honneur de bien vouloir examiner ce travail : le président de jury, Mr HAMDI B. ainsi que Mme AMAROUCHE N. et Mme KORICHI H. en tant qu'examinatrices.

Un de nos grands remerciements va à tout le personnel de la station de Sidi Fredj, solidaire à notre projet d'étude et en nous facilitant grandement l'accès aux moyens du laboratoire.

Nous ne saurions oublier l'aide précieuse des marins qui ont tout mis en œuvre pour la réussite de nos sorties en mer et le personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL pour l'aide précieuse apportée.

Nous exprimons nos vifs remerciements aux clubs de plongée « Récifs », « Aquasport » et « Decapalm » pour le soutien logistique à la bonne réussite des sorties en mer.

Sans oublier nos familles et tout particulièrement nos parents, qui nous ont été d'un grand soutien tout au long de nos années d'études.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué au bon déroulement de ce travail, tant au niveau humain qu'au niveau scientifique.

# *Sommaire*



## SOMMAIRE

<b>1. Introduction</b> .....	<b>1</b>
1.1. Objectifs de l'étude.....	2
<b>2. Généralités</b> .....	<b>3</b>
2.1. L'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> .....	3
2.2. Rôles écologiques des herbiers.....	4
2.3. Pressions exercées sur l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> .....	5
2.4. <i>Posidonia oceanica</i> : espèce bio indicatrice	6
<b>3. Matériel et méthodes</b> .....	<b>9</b>
3.1. Descriptions des stations étudiées .....	9
3.1.1. Baie de Bou Ismaïl.....	9
3.1.2. Baie d'Alger .....	11
3.1.3. Baie de Zemmouri .....	12
3.2. Sorties en mer .....	13
3.3. Caractérisation des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> .....	13
3.3.1. Profondeur de la limite inférieure.....	13
3.3.2. Identification du type de limite.....	13
3.3.3. Mesure de la densité.....	17
3.3.4. Estimation du recouvrement.....	18
3.3.5. Surface foliaire .....	19
3.3.6. Brown Tissue Area Index.....	20
3.3.7. Rapport biomasse des épiphytes sur la biomasse des feuilles (E/L) .....	20
3.3.8. Les cellules à tanins .....	21
3.4. Calcul des indices synthétiques et détermination du statut écologique .....	22
3.4.1. Calcul du PREI .....	22
3.4.2. Calcul du BiPo.....	23
3.4.3. Détermination du statut écologique .....	23
3.4.4. Exercice d'intercalibration .....	24
3.5. Traitements statistiques.....	29
<b>4. Résultats et discussion</b> .....	<b>30</b>
4.1. Application des indices PREI et BiPo .....	30
4.1.1. Evaluation du statut écologique des stations étudiées à partir des indices PREI et BiPo	30
4.1.2. Comparaison des résultats obtenus avec les indices PREI et BiPo .....	31
4.1.3. Corrélation entre le statut écologique et les pressions anthropiques .....	32
4.1.4. Exercices d'intercalibration.....	37
4.1.5. Synthèse des résultats et discussion.....	38
4.2. Paramètres de vitalité de <i>Posidonia oceanica</i> .....	39
4.2.1. Brown Tissue Area Index.....	39
4.2.2. Recouvrement.....	40
4.2.3. Cellules à tanins.....	40
<b>5. Conclusion</b> .....	<b>43</b>
<b>6. Références bibliographiques</b> .....	<b>45</b>

# *Introduction*



## 1. Introduction

Une gestion optimale de l'environnement requiert, de plus en plus, de disposer d'outils simples et standardisés qui permettent d'évaluer rapidement et de manière fiable la qualité globale du milieu (PERGENT-MARTINI, 2000). Au milieu des années 1980, la notion de biosurveillance découle de ce constat. C'est-à-dire une surveillance faisant appel aux êtres vivants (BOUDOURESQUE et al., 1993) capable de rendre compte de l'évolution du milieu : il s'agit des « bioindicateurs ».

Le recours à des indicateurs biologiques est un moyen adapté, dans la mesure où ils constituent d'importants outils de gestion, qui fournissent des informations intégrées et synthétiques (LOPEZ Y ROYO, 2008).

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 ou Water Framework Directive (WFD) 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). Parmi ces derniers figurent les herbiers à *Posidonia oceanica* qui présentent les potentialités nécessaires pour cette utilisation, du fait de leur large répartition en zone littorale, de leur sédentarité, de la facilité à les récolter, de leur abondance et de leur sensibilité aux modifications de l'environnement littoral (PERGENT et al., 1995 ; PERGENT-MARTINI et al., 2005 ; BOUDOURESQUE et al., 2006).

L'utilisation de cet élément de qualité biologique va de pair avec la définition et la validation d'indices synthétiques à même de répondre aux perturbations des conditions du milieu. Ces indices, contrairement à ceux des invertébrés benthiques, des macroalgues et du phytoplancton, ne se basent pas sur la composition en espèces sensibles/tolérantes, mais évaluent l'état général de l'écosystème en utilisant différents types ou groupes de descripteurs associés à cette espèce. Plusieurs indices ont été développés en ce sens : PosWare (BUIA et al., 2005 *in* GOBERT et al., 2009), POMI (ROMERO et al., 2007), Valencian CS (FERNANDEZ-TORQUEMADA et al., 2008), BiPo (LOPEZ Y ROYO et al., 2009a ; 2010) et PREI (GOBERT et al., 2009) et sont appliqués dans différentes régions de la mer

Méditerranée (Espagne, France, Italie, Turquie,...). Par ailleurs des exercices d'intercalibration entre les indices POMI et BiPo ont été effectués et ont montré non seulement une bonne corrélation avec les pressions anthropiques spécifiques à chaque région, mais également entre eux, ce qui permet d'utiliser indifféremment ces deux indices (LOPEZ Y ROYO et al., 2011).

L'état écologique des masses d'eau est ainsi quantifié sous la forme d'un ratio entre les conditions réelles et les conditions de référence (Ecological Quality Ratio (EQR) selon une échelle comportant cinq classes : Très bonne, Bonne, Moyenne, Médiocre, Mauvaise (LOPEZ Y ROYO, 2008).

### **1.1. Objectifs de l'étude**

Cette présente étude est la continuité d'un travail déjà entamé en 2011 par SENGOUGA et MISRAOUI intitulé : Caractérisation des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile de la baie de Bou Ismaïl.

La disponibilité de plusieurs indices synthétiques utilisant *Posidonia oceanica* nous offre l'opportunité d'évaluer la qualité globale des eaux côtières de certaines zones côtières algéroises déjà prospectées par MISRAOUI et SENGOUGA (2011). Deux indices sont retenus, le PREI et le BiPo, car ils nécessitent la prise en compte de descripteurs de *Posidonia oceanica* simples à mesurer et peu coûteux : profondeur et type de la limite inférieure, densité de l'herbier, longueur des feuilles, surface foliaire, biomasse des épiphytes. Les objectifs de cet exercice d'intercalibration sont de trois niveaux : (1) détermination du statut écologique des eaux côtières des baies de Bou Ismail, d'Alger et de Zemmouri, (2) évaluation de la comparabilité des résultats obtenus avec ces indices et (3) validation de ces indices en tenant compte des différentes pressions anthropiques qui s'exercent sur le littoral algérois.

En outre, d'autres descripteurs de la vitalité des herbiers à *Posidonia oceanica* sont également mesurés : le taux de recouvrement, le Brown Tissue Area Index et le nombre de cellules à tanins. Ces descripteurs permettront la mise en œuvre d'un indice biotique, Synthetic Index *Posidonia oceanica* (SiPo), pour évaluer le statut écologique des eaux côtières algéroises proposé récemment dans le cadre d'un « Projet National de Recherche, 2011 » (PNR, code 2/ u 163/ 431).

# *Généralités*



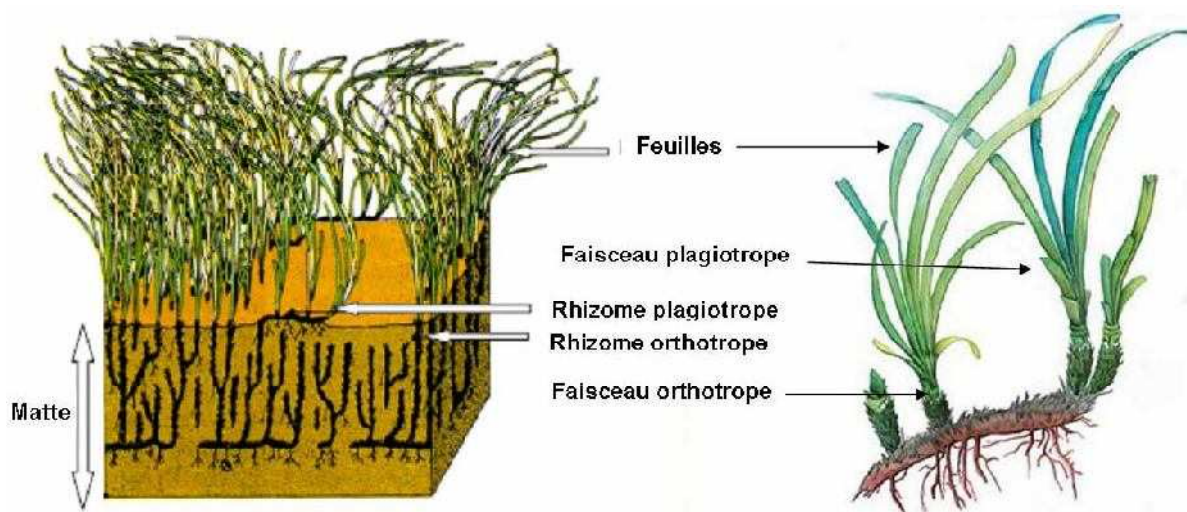
## 2. Généralités

### 2.1. L'herbier à *Posidonia oceanica*

La Magnoliophyte *Posidonia oceanica* (L.) Delile est une espèce endémique de la mer Méditerranée. Elle colonise l'étage infralittoral entre la surface et 30-40 mètres de profondeur et constitue de vastes prairies dénommées «herbiers» (BOUDOURESQUE et al., 2006). Les herbiers à *Posidonia oceanica* occupent une surface restreinte, de l'ordre de 1 à 2% des fonds de la Méditerranée, soit 25 000 à 50 000 Km<sup>2</sup> (PASQUALINI et al., 1998).

Les herbiers à *Posidonia oceanica* se développent à la fois verticalement (rhizomes orthotropes) et horizontalement (rhizomes plagiotropes) (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982). L'enchevêtrement des rhizomes verticaux et horizontaux, les racines qui poussent sur les rhizomes et le sédiment composent une structure relativement solide et cohésive dénommée «matte» (Figure 1).

Les feuilles de *Posidonia oceanica* sont rubanées de 40 à 140 cm de longueur et de 7 à 11 mm de largeur; elles sont regroupées en faisceaux de 4 à 8 feuilles environ (PERGENT-MARTINI et LE RAVALLEC, 2007). Les caractères morphologiques et l'âge des feuilles diffèrent selon leur position dans le faisceau. Les feuilles situées à la périphérie sont plus âgées que celles formées au centre du faisceau (Figure 1).



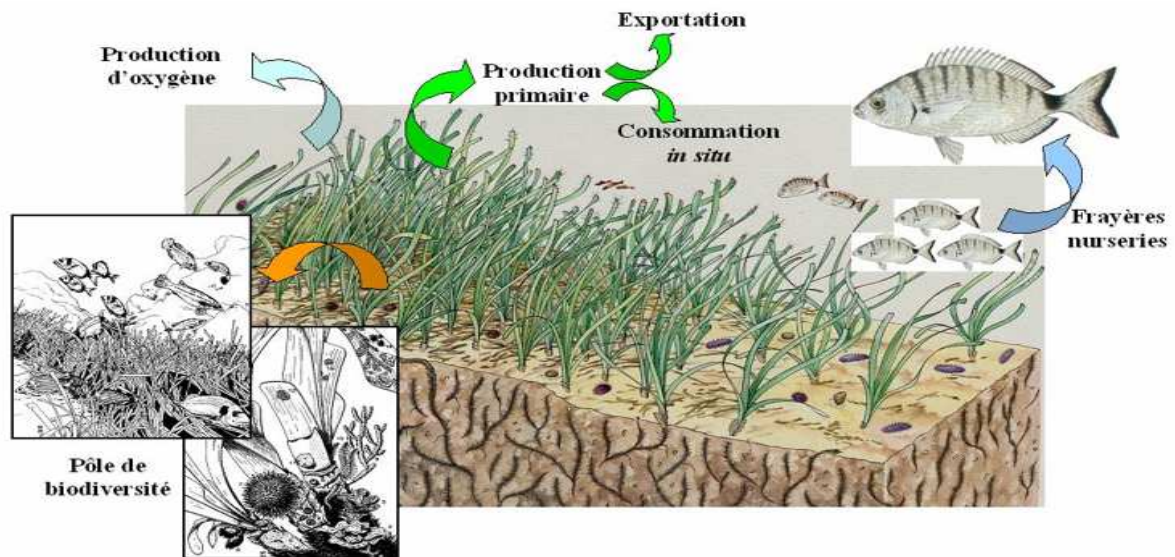
**Figure 1.** Caractéristiques des rhizomes et des faisceaux de *Posidonia oceanica* (d'après BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982 modifié par LOPEZ Y ROYO, 2008).

Quand les feuilles de *Posidonia oceanica* meurent, le limbe se détache et tombe, alors que sa base foliaire appelée pétiole reste rattachée au rhizome; elle est alors désignée sous le nom d'écaille. Les écailles peuvent persister plusieurs millénaires au sein de la matre, car elles sont peu putrescibles (BOUDOURESQUE et al., 2006).

## 2.2. Rôles écologiques des herbiers

L'herbier à *Posidonia oceanica* présente un très grand intérêt non seulement écologique mais aussi économique, avec des impacts tant physiques que biologiques sur son environnement :

- ▶ il contribue à l'équilibre sédimentaire des fonds par sa capacité à piéger les particules présentes dans l'eau et protège la frange côtière de l'érosion par les banquettes de feuilles mortes et par l'atténuation de la force des houles et des courants (BLANC et JEUDY de GRISSAC, 1978);
- ▶ il assure la production d'une large part d'oxygène de l'étage infralittoral (BAY, 1978), la posidonie libère environ 20 litres d'oxygène par jour pour chaque m<sup>2</sup> d'herbier (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982);
- ▶ il abrite une très grande biodiversité ; il est le lieu d'une production primaire importante mais aussi l'habitat pour de nombreuses espèces. L'herbier est une frayère, une nursery et un habitat pour plus de 400 espèces végétales et plusieurs milliers d'espèces animales (mollusques gastéropodes, crustacés amphipodes, des annélides polychètes, échinodermes et les poissons Labridés et Sparidés) soit environ 20% des espèces recensées en Méditerranée (BOUDOURESQUE et al., 2006);
- ▶ il exporte une part importante de matière végétale vers d'autres écosystèmes qui pourront être consommées par les détritivores (PERGENT et al., 1997) (Figure 2).



**Figure 2.** Rôle écologique de l’herbier à *Posidonia oceanica* (d’après J.G. HARMELIN 1993 et M.A. MATEO in PERGENT et al., 2005).

#### **2.4. Pressions exercées sur l’herbier à *Posidonia oceanica* :**

De par leur localisation en bordure littorale, les herbiers à *Posidonia oceanica* ont considérablement régressé, en particulier aux alentours des grands centres urbains et portuaires (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982). Les activités humaines constituent le principal facteur de régression de ces herbiers ; elles agissent le plus souvent en synergie (LERICHE *et al.*, 2006 ; TUNESI et BOUDOURESQUE, 2006).

Les herbiers à *Posidonia oceanica* sont particulièrement sensibles aux rejets anthropiques qui véhiculent une large gamme de contaminants tels que les détergents, les hydrocarbures, les pesticides, les herbicides et les métaux lourds qui réduisent la vitalité des herbiers à *Posidonia oceanica* (AUGIER *et al.*, 1987). Les actions mécaniques liées aux ancrages, la modification des apports par les fleuves, l’impact des fermes aquacoles et les problèmes liés à la compétition avec les espèces introduites *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa* sont à même d’amplifier ce phénomène de régression (DELGADO *et al.*, 1999 ; PERGENT *et al.*, 1999 ; TUNESI et BOUDOURESQUE, 2006). La sensibilité des herbiers à *Posidonia oceanica* à ces différentes agressions en fait un bon indicateur biologique, à l’instar des autres Magnoliophytes (PERGENT *et al.*, 1995).

### **2.3. *Posidonia oceanica*: espèce bio indicatrice**

En Méditerranée, l'herbier à *Posidonia oceanica* constitue un puissant intégrateur de la qualité des eaux littorales (PERGENT et al., 1995). Très largement distribué sur tout le littoral, particulièrement réceptif à la pollution (AUGIER et al, 1984 ; BOURCIER, 1989) et aux agressions liées aux activités humaines (MEINESZ et LAURENT, 1978 ; BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982 ; TUNESI et BOUDOURESQUE, 2006). Solidaire du fond, il rend compte, par sa présence et sa vitalité, de la qualité des eaux qui dérivent au-dessus de lui. L'empreinte de la qualité des eaux sur les herbiers à *Posidonia oceanica* est permanente et de nombreux paramètres sont à même d'être enregistrés par l'herbier :

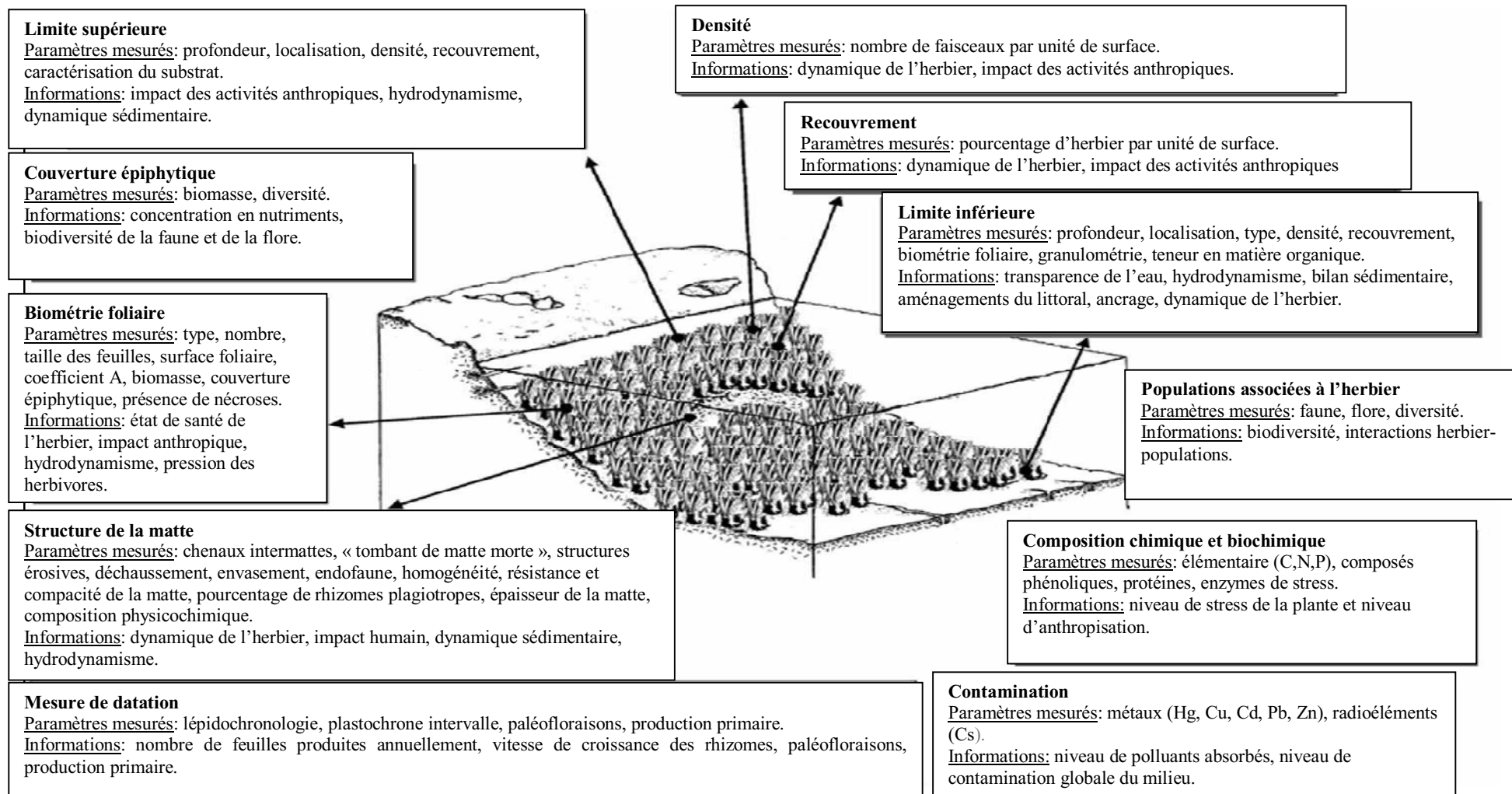
- ▶ turbidité moyenne des eaux (matérialisée par la position de sa limite inférieure et par la densité des faisceaux) ;
- ▶ courants et hydrodynamisme (matérialisés par les structures érosives qui affectent la matte) ;
- ▶ taux de sédimentation (matérialisé par la vitesse de croissance des rhizomes et, en cas de déficit, par leur déchaussement) ;
- ▶ polluants stables (concentration et mémorisation des teneurs au cours du temps) ;
- ▶ dessalure aux débouchés de fleuves côtiers ou de nappes phréatiques (matérialisée par la disparition de l'herbier) ;
- ▶ matière organique et 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 paramètres qui permettent d'accéder à différentes échelles d'informations : (i) l'écosystème, (ii) l'herbier, (iii) et l'individu (échelle du faisceau) (Figure 3).

Dans le cadre de la mise en place de la Directive Cadre des Eaux (DCE), *Posidonia oceanica* a été retenue comme l'un des éléments de qualité biologique à même de renseigner sur l'état écologique des eaux côtières. Son utilisation a nécessité la mise au point d'indices multi-descripteurs capables de caractériser l'état général de la plante et donc d'évaluer le statut écologique des eaux côtières en Méditerranée (Tableau 1).

**Tableau 1.** Indices et descripteurs de *Posidonia oceanica* utilisés pour définir le statut écologique des eaux côtières de Méditerranée, dans le cadre de la Directive Cadre des Eaux (DCE).

Indice	Descripteurs	Référence
PosWare (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	BUIA et al. (2005) <i>in</i> GOBERT et al. 2009
POMI ( <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 <sup>15</sup> N et <sup>34</sup> S dans les rhizomes Taux d'azote des épiphytes Taux de Cu, Pb et Zn dans les rhizomes	ROMERO et al. (2007)
Valencian CS	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	FERNANDEZ-TORQUEMADA et al. (2008)
BiPo (Biotic index using <i>Posidonia oceanica</i> )	Profondeur de la limite inférieure Type de la limite inférieure Densité des faisceaux Longueur des feuilles	LOPEZ Y ROYO et al. (2009a)
PREI ( <i>Posidonia oceanica</i> Rapid Easy Index)	Profondeur de la limite inférieure Type de la limite inférieure Densité des faisceaux Surface foliaire Charge épiphytique	GOBERT et al. (2009)



**Figure 3.** Schéma récapitulatif des principaux descripteurs de *Posidonia oceanica* avec les paramètres mesurés et les informations relatives (PERGENT-MARTINI et al., 2005, modifié par RICHIR, 2013).

# *Matériel et Méthodes*



### 3. Matériel et méthodes

#### 3.1. Descriptions des stations étudiées

Treize stations réparties le long du littoral algérois et représentatives des différentes sources de pressions anthropiques sont étudiées (Figures 4.1 ; 4.2 ; 4.3). Ces stations sont choisies suite à leur prise en compte lors du plan d'aménagement côtier (PAC, 2005) et du fait qu'elles ont aussi fait l'objet d'un travail préalable (SENGOUGA et MISRAOUI, 2011). Elles sont localisées de façon précise grâce à un positionnement satellite GPS et les coordonnées sont exprimées en degrés décimaux sous le système de référence géographique WGS 84. La description des herbiers à *Posidonia oceanica* est effectuée *in situ*, en plongée autonome. Elle permet de préciser la morphologie générale des herbiers, particulièrement la présence de structures érosives (tombants de matte, intermattes, chenaux...), la nature du substrat (sable grossier, sable fin, sable vaseux, matte morte, roche...) et la présence de ripple-marks.

##### 3.1.1. Baie de Bou Ismail

La baie de Bou Ismail, considérée comme l'une des plus importantes de la côte algérienne, est située à l'Ouest d'Alger. Elle est délimitée par le Cap du mont Chenoua à l'Ouest et le Cap Acrata à l'Est. Elle est soumise à diverses formes de pollutions causées par le développement urbain, économique, agricole et touristique qu'a connu la région ces dernières années. Dix stations situées dans la baie de Bou Ismail et soumises à différentes sources de pressions anthropiques, sont choisies :

**La station Cap El Hamouche (CH)** ( $36^{\circ} 38.533' N / 02^{\circ} 23.508' E$ ) se situe au pied du mont Chenoua. C'est une zone menacée par les eaux usées d'une agriculture intensive pratiquée sur la frange littorale, l'urbanisation anarchique, l'évacuation des rejets en mer, l'extraction de sable des plages et la pêche sur les herbiers (PAC, 2005). L'herbier est implanté sur des roches métriques subhorizontales et les rhizomes, majoritairement orthotropes, présentent un fort déchaussement.

**La station de Kouâli (AK)** ( $36^{\circ} 35.677' N / 02^{\circ} 29.707' E$ ) se situe à Tipasa, à l'Est du Complexe touristique (CET). La zone se caractérise par une faible pression anthropique, seule une fréquentation durant la saison estivale est enregistrée. L'herbier se développe sur du substrat dur et s'étend de 0.3 à 20m de profondeur, il est l'un des plus productifs de

Méditerranée (BOUMAZA et SEMROUD, 2000). L'algue verte *Caulerparacemosa* var. *cylindracea* (Sonder) colonise le substrat meuble, au-delà de la limite inférieure.

**La station Aïn-Tagourait (Berrard) (Br)** (36° 36.977' N / 02° 37.489' E) se situe à proximité des filières de mytiliculture de la ferme de Aïn-Tagourait. L'herbier se développe sur substrat dur et les rhizomes au niveau de la limite inférieure sont particulièrement enfouis dans le sédiment. L'eau présente une forte turbidité du fait d'une teneur importante de matière en suspension.

**La station Khemisti (Kh)** (36° 38.579' N / 02° 40.098' E) est située à proximité du port de pêche de Khemisti. L'herbier se développe sur substrat dur et les rhizomes présentent un déchaussement important. La présence de ripple-marks, d'intermattes recouvertes de litière Ainsi que de matte morte est notée au niveau de cette station.

**La station Bou Ismail (1) (Bsm)** (36° 39.250' N / 02° 41.161' E) est située au large du Front de mer de la ville de Bou Ismail, la ville la plus industrialisée de la wilaya de Tipasa. Son littoral est soumis à de nombreux aménagements et aux rejets domestiques et industriels, sans traitement préalable. L'herbier se développe sur un substrat rocheux recouvert d'une couche de sable grossier. De nombreuses intermattes sont présentes Ainsi que de la matte morte à certains endroits. De la litière est déposée sur les grandes taches de sable grossier. Le déchaussement des rhizomes et la présence de rhizomes morts sont également observés. Notons la présence de *Caulerparacemosa* var. *cylindracea*.

**La station Bou Ismail (2) (Tnc)** (36° 39.363' N / 02° 41.529' E) est située au large du réseau collecteur de la ville de Bou Ismail qui draine, en plus des rejets domestiques, les rejets de la société Tonic. Cette société, opérationnelle depuis les années 80, est spécialisée dans l'industrie du papier d'emballage. L'herbier se développe sur roche et les rhizomes présentent un déchaussement important. La présence de nombreuses intermattes, de matte morte et de l'algue invasive *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* est notée au sein de cette station.

**La station Bou Ismail (3) (SD)** (36° 39.609' N / 02° 42.070' E) est située à proximité d'une station de dessalement de l'eau de mer, opérationnelle depuis 2004. Sa capacité est de 5000 m<sup>3</sup>/jour et la saumure est rejetée directement à proximité de la côte. L'herbier se développe sur roche et de nombreuses intermattes sont présentes. Les rhizomes sont marqués

par un déchaussement important, dont certains sont morts. Notons la présence de poissons et de *Padina pavonica*.

**La station Sidi Fredj (SF)** (36° 45.530' N / 02° 50.159' E) est située au niveau de la plage Ouest de Sidi Fredj, à proximité du centre de thalassothérapie. L'herbier à *Posidonia oceanica* se développe sur un substrat sablo-rocheux. Le déchaussement des rhizomes est relativement important. La chlorophycée *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* est également très abondante. La présence très abondante de l'algue brune *Padina pavonica* ainsi que d'holothuries sont notées.

**La station El Djamila (La Madrague) (LP)** (36° 48.035' N / 02° 53. 428' E) est située devant la digue du port de pêche et de plaisance de La Madrague. De nombreuses nuisances caractérisent cette station, particulièrement depuis 2004: extension du port, aménagement d'une plage artificielle et construction d'un parking sur la mer. En outre, l'évacuation des eaux usées domestiques se fait de façon anarchique. L'herbier à *Posidonia oceanica* se développe sur un substrat sablo-rocheux, sous forme de touffes. Les rhizomes majoritairement orthotropes présentent un déchaussement important, dont certains sont morts. Une forte turbidité a été enregistrée lors de la plongée et les feuilles sont également couvertes d'un feutrage mucilagineux. Notons également la présence importante de l'algue invasive *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* ainsi que des Girelles, Saupes *Sarpa salpa*, castagnoles noires *Chromis chromis* à proximité de l'herbier et des oursins et d'étoiles de mer à l'intérieur des herbiers.

**La station Aïn Benian (AB)** (36° 48.553' N / 02° 55.195' E) est située dans la partie Est de Cap Acrata. La région est marquée par une forte urbanisation qui se concentre sur la marge littorale, en arrière de laquelle s'étendent des terres agricoles. L'herbier se présente sous forme de touffes et les rhizomes présentent un fort déchaussement, dont certains sont morts. Notons la présence des poissons *Chromis chromis*, d'oursins ainsi que de l'algue *Padina pavonica*.

### 3.1.2. Baie d'Alger

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte algérienne et est délimitée par Rais Hamidou à l'Ouest et le Cap Matifou à l'Est. Cette baie est soumise depuis des décennies à

des pollutions de différentes origines du fait de sa vocation portuaire, urbaine, industrielle et touristique. Une seule station est prise en compte :

**La station Tamentfoust (La Pérouse) (Pr)** ( $36^{\circ} 48.293' N / 03^{\circ} 13.907' E$ ) est située au niveau de la plage de Tamentfoust, à proximité du port de pêche et de plaisance du même nom. Elle est directement soumise aux rejets des eaux usées des riverains et à l'affluence des baigneurs durant la période estivale. L'herbier est très dégradé, et seules quelques touffes de *Posidonia oceanica* subsistent entre 2 et 3 m de profondeur. Notons une très forte turbidité de l'eau, la présence de taches de matte morte et de l'algue *Caulerpa racemosa var. cylindracea* ainsi que des annélides (tubes calcaires) et d'anémones sont également observés sur le site.

### 3.1.3. Baie de Zemmouri

La baie de Zemmouri est située à 25 km à l'Est d'Alger, elle est limitée par Cap Djenet à l'Est et Tamentfoust à l'Ouest. Cette zone est soumise au transfert de polluants par le jeu des courants à dominance Est et Nord-Est à partir de la baie d'Alger (PAC, 2005). Elle est également soumise aux pollutions liées à l'explosion démographique, l'urbanisation anarchique, en particulier au niveau de son littoral, ainsi qu'aux activités industrielles (zone industrielle importante de Rouiba-Réghaia) et touristiques. Deux stations sont prises en compte :

**La station El Marsa (Jean Bart) (JB)** ( $36^{\circ} 48,789' N / 03^{\circ} 15,433' E$ ) est exposée aux rejets d'eaux usées directement dans la mer sans aucun traitement. L'herbier se développe sur roche, en touffes, formant un semi-herbier. La présence de *Caulerpa racemosa var. cylindracea*, de poissons et holothuries est relevée.

**La station Ile Agueli (AG)** ( $36^{\circ} 47.527' N / 03^{\circ} 21.252' E$ ) est située à 900 m de la côte face à l'embouchure du lac Réghaia, classée réserve naturelle protégée (PAC, 2005). Le site est menacé par la pollution urbaine (rejets d'eaux usées non traitées), industrielle (polluants chimiques hautement toxiques), agricole et l'extraction illégale du sable de plage (PAC, 2005). L'herbier s'implante sur roche recouverte par du sable grossier, entrecoupé de chenaux de sable grossier marqué par des ripple-marks, témoignant du fort hydrodynamisme qui caractérise la région.

Une riche flore et faune est observée : girelles, *Badèches*, mérours, sardines, Castagnoles noires, algues vertes et rouges associées à l'herbier, ainsi que des oursins et gorgones.

### **3.2. Sorties en mer**

Les sorties en mer sont effectuées entre le 03/08/2013 et le 11/09/2013. Les conditions étaient généralement favorables pour l'ensemble des stations. L'intervention sur les stations d'étude a impliqué 3 personnes dont 1 plongeur professionnel. 10 plongées ont été réalisées durant cette étude pour un total de 7 heures de travaux sous-marins.

### **3.3. Caractérisation des herbiers à *Posidonia oceanica***

Dans le but de caractériser les herbiers de *Posidonia oceanica*, huit paramètres capables de caractériser l'état général de *Posidonia oceanica*, et par conséquent d'appréhender la qualité des masses d'eau, sont choisis (PERGENT-MARTINI et al., 2005). Les paramètres retenus sont : (1) la profondeur de la limite inférieure, (2) le type de limite, (3) la densité, (4) le recouvrement, (5) la surface foliaire, (6) le Brown Tissue Area Index (BUIA et al., 1992), (7) le rapport biomasse des épiphytes des feuilles sur la biomasse des feuilles et (8) le nombre de cellules à tanins.

Les 2 premiers paramètres sont mesurés en limite inférieure et les 6 autres à la profondeur intermédiaire  $15 \pm 2$  m, selon les protocoles standardisés (PERGENT-MARTINI et al., 2005).

#### **3.3.1. Profondeur de la limite inférieure**

La position bathymétrique de la limite inférieure de l'herbier est un bon indicateur de la turbidité moyenne des eaux environnantes (MEINESZ et LAURENT, 1978). Elle est mesurée à l'aide d'un profondimètre électronique (précision  $\pm 10$  cm) au niveau de chaque station.

#### **3.3.2. Identification du type de limite**

Le type de limite peut apporter des informations importantes quant à l'état de santé d'un herbier. Cinq types de limites ont été identifiés (PERGENT et al., 2004) (Figure 5).

**Limite progressive** est caractérisée par la présence de rhizomes plagiotropes en avant de la limite. Ceci indique une colonisation de l'herbier en direction de la profondeur.

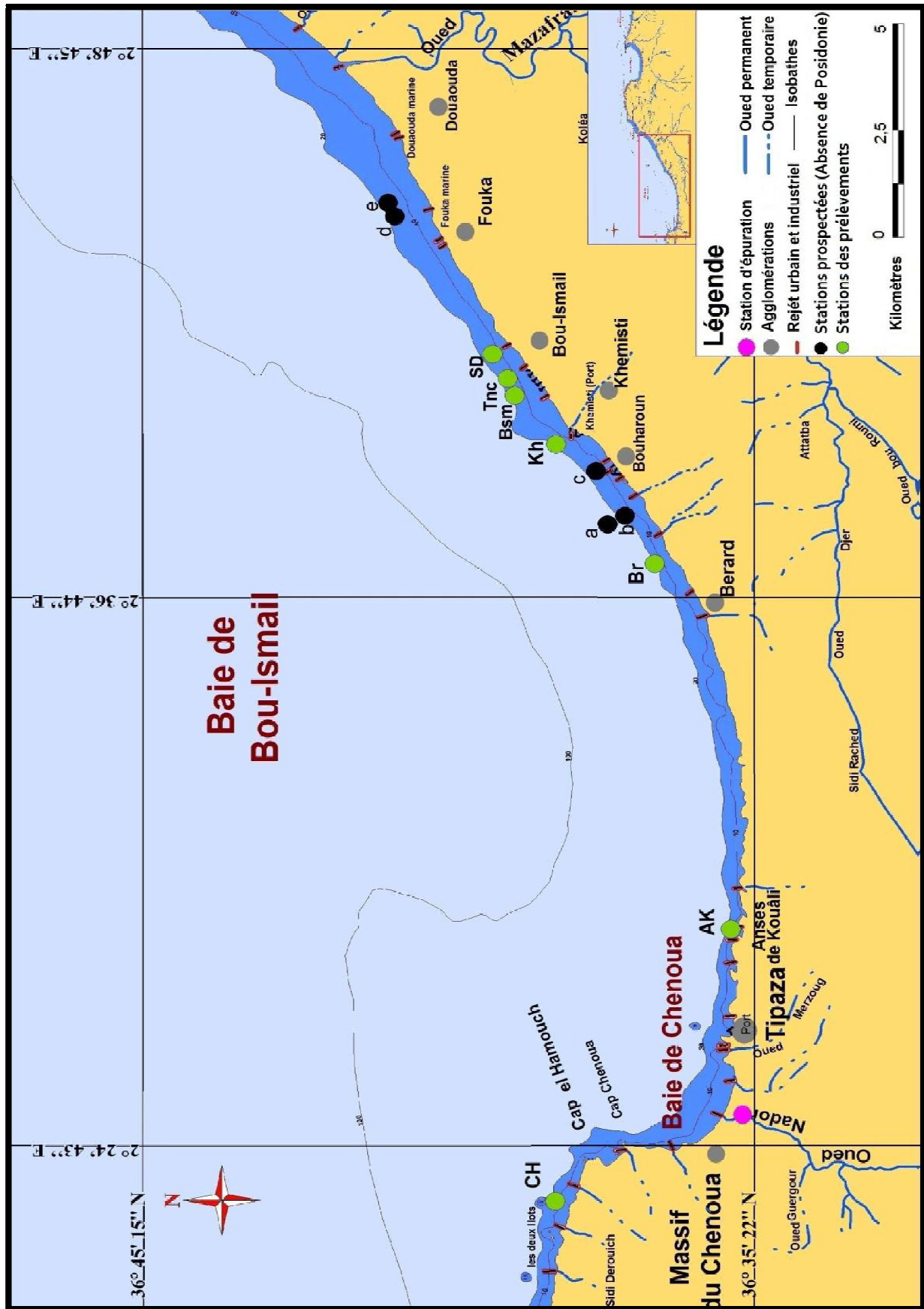


Figure 4.1. Localisation des stations de prélèvement dans la partie ouest de la baie de Bou Ismaïl (in SENGOUGA et MISRAOUI, 2011).

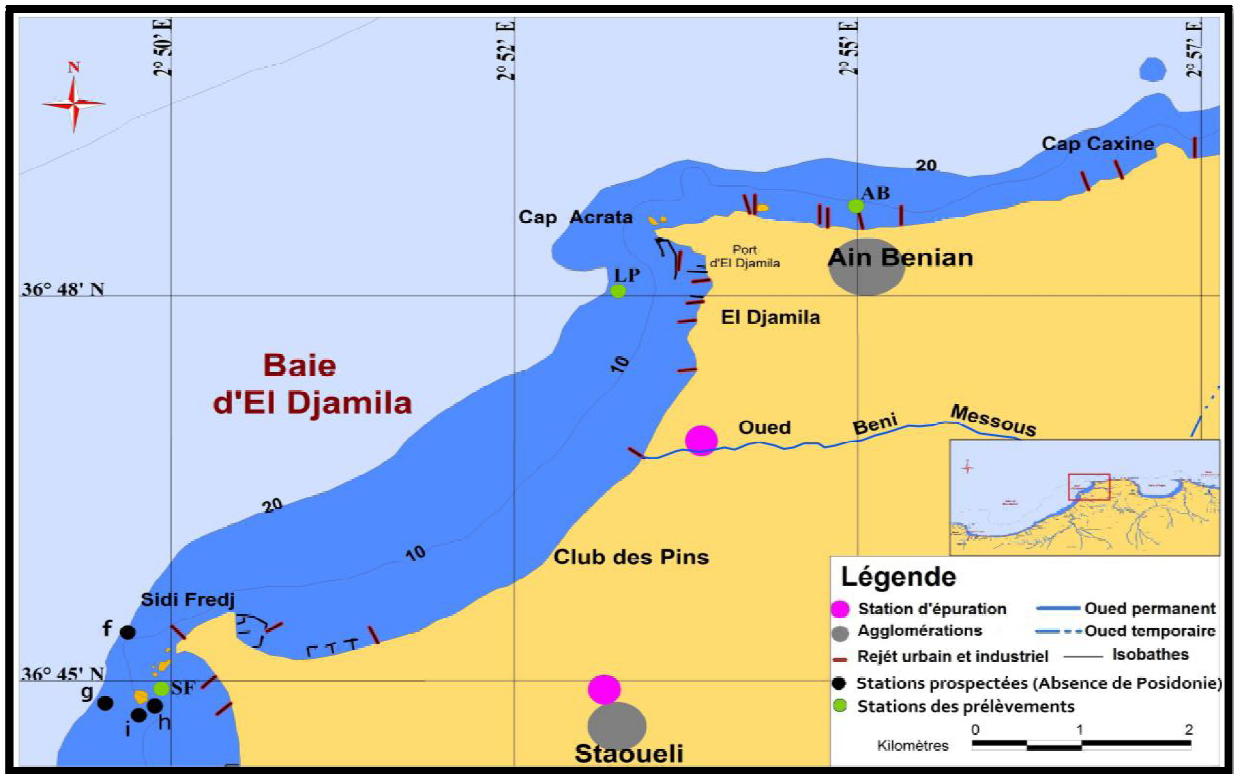


Figure 4.2. Localisation des stations de prélèvement dans la partie est de la baie de Bou Ismail (in SENGOUGA et MISRAOUI, 2011).

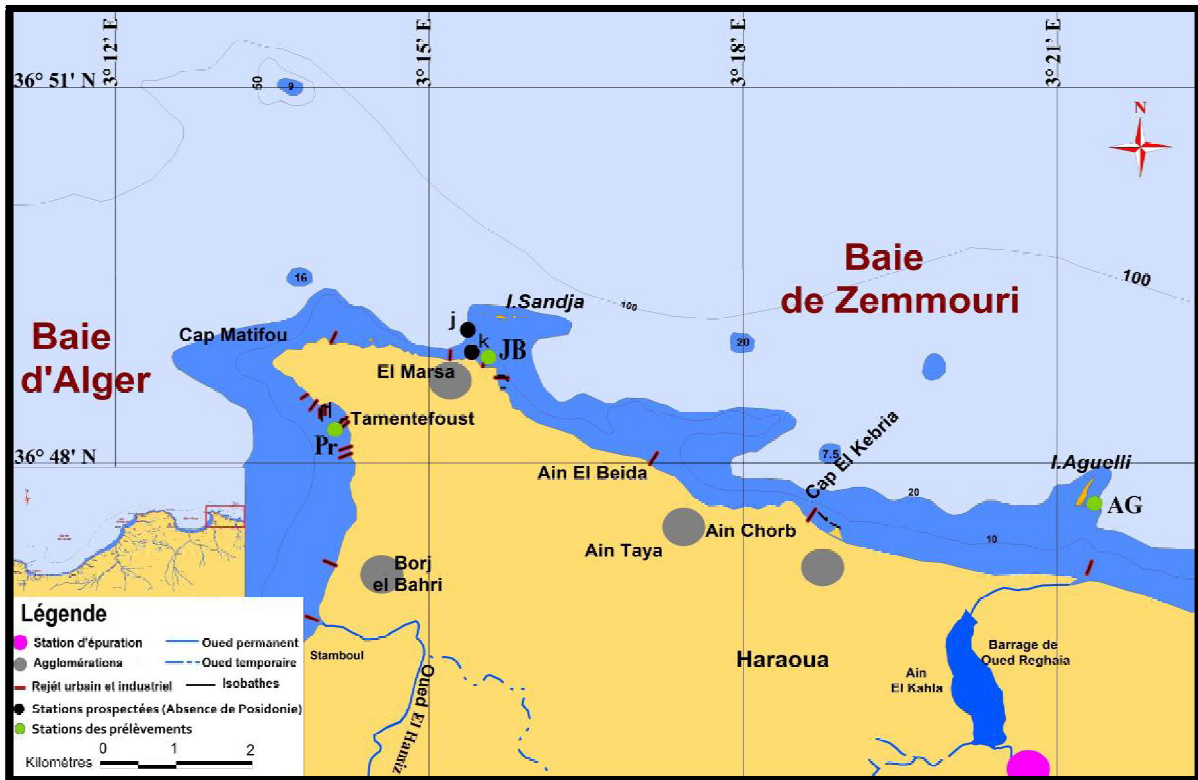
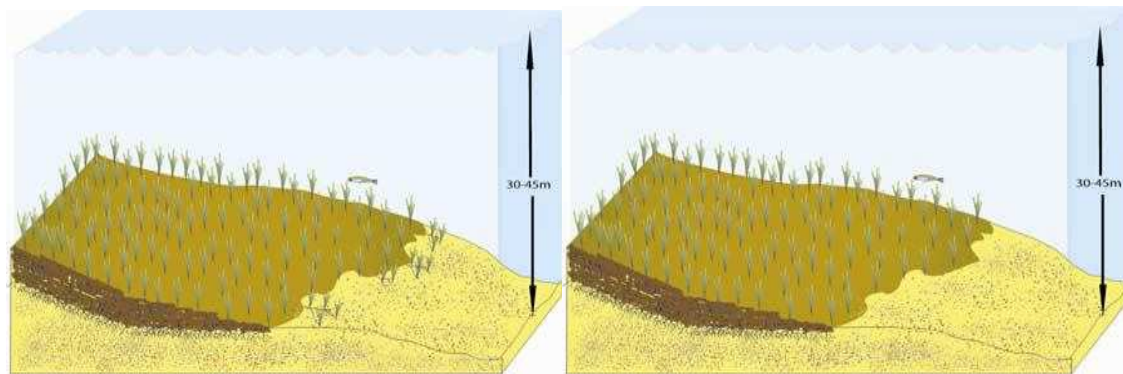


Figure 4.3. Localisation des stations de prélèvement dans les baies d'Alger et de Zemmouri (in SENGOUGA et MISRAOUI, 2011).

**Limite franche à fort ou à faible recouvrement** sont caractérisées 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.

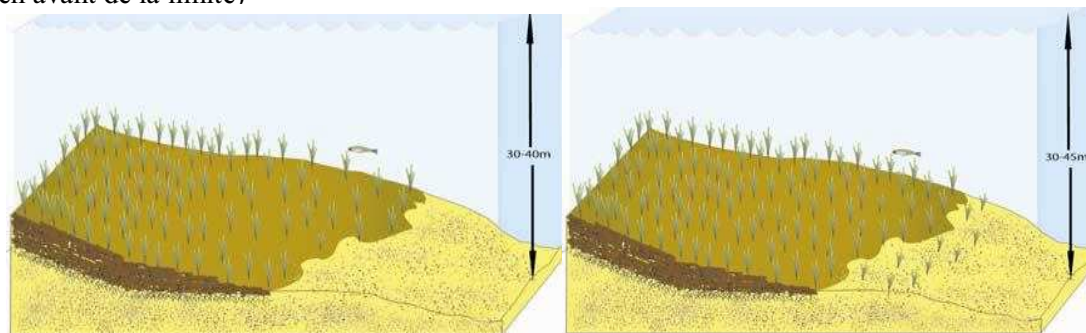
**Limite clairsemée** est constituée de semi-herbiers, dont la densité est inférieure à 100 faisceaux par m<sup>2</sup> et le recouvrement est inférieur à 15%. Elle traduit en général un herbier en phase de démantèlement.

**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.



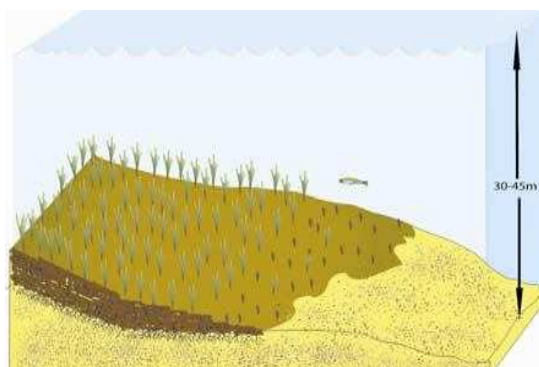
Progressive (Présence de rhizomes plagiotropes en avant de la limite)

Franche à fort recouvrement (recouvrement supérieur à 25%)



Franche à faible recouvrement (recouvrement inférieur à 25%)

Clairsemée (Densité inf. à 100 faiscs./m<sup>-2</sup>, recouvrement inf. à 15%)



Régressive (Présence de mattes mortes en avant de la limite)

**Figure 5.** Schéma des différents types de limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* (d'après PERGENT et al., 2004).

### 3.3.3. Mesure de la densité

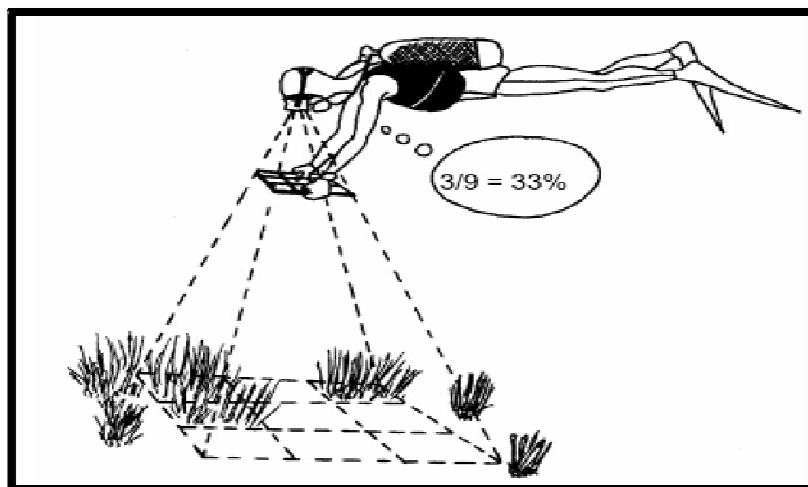
La densité de l'herbier correspond au nombre de faisceaux par unité de surface (m<sup>2</sup>). Elle est déterminée par des comptages *in situ* (Figure 6) au moyen d'un carré de 40 cm de côté (CHARBONNEL et al., 2002). Seules les surfaces occupées par l'herbier sont prises en compte (GIRAUD, 1977) et 10 à 15 mesures sont réalisées au niveau de chaque station.



**Figure 6.** Comptage *in situ* de la densité avec un carré de 40 cm de côté.

### 3.3.4. Estimation du recouvrement

Le recouvrement correspond au pourcentage de couverture du substrat par les feuilles de *Posidonia oceanica*, par rapport aux zones non couvertes (sable, matie morte, roche). L'estimation, en plongée, du recouvrement de l'herbier de Posidonie est réalisée à l'aide d'une plaque en PVC transparente de 30 cm de côté, divisée en neuf carreaux de 10 cm de côté, selon la méthode décrite par GRAVEZ et al. (1995). Dans cette méthode, l'observateur évolue à 3 mètres au-dessus de l'herbier avec la plaquette transparente tenue à bout de bras. 20 mesures sont réalisées à intervalles réguliers, tous les cinq coups de palmes ; il estime le recouvrement en évaluant par transparence le nombre de carreaux occupés par l'herbier (Figure 7).



**Figure 7.** Estimation du recouvrement de l'herbier en plongée (d'après GRAVEZ et al., 1995).

### 3.3.5. Surface foliaire

Un total de 20 faisceaux de *Posidonia oceanica* est prélevé au niveau de chaque station en plongée, avec scaphandre autonome (Figure 8).

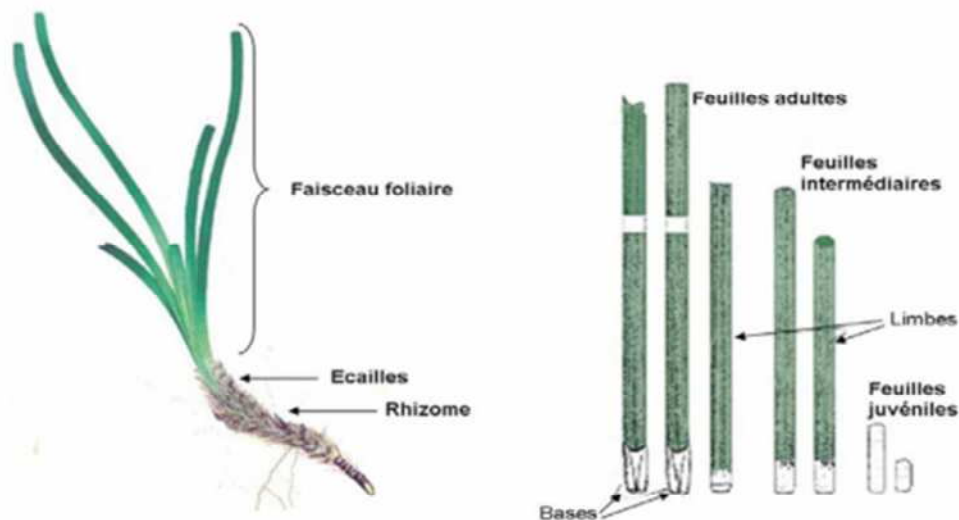


**Figure 8.** Récolte des faisceaux de *Posidonia oceanica* en plongée.

Seuls les faisceaux orthotropes sont récoltés, ils sont distants de 50cm à 1m les uns des autres afin d'éviter de récolter des rhizomes appartenant au même individu, c'est-à-dire rattachés à un même rhizome plagiotrope encore vivant (PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1988).

Les faisceaux sont disséqués selon le protocole de GIRAUD (1979) en suivant l'ordre d'insertion distique. Trois types de feuilles se distinguent (Figure 9):

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



**Figure 9.** Morphologie de *Posidonia oceanica* (d'après LOPEZ Y ROYO, 2008).

Les paramètres biométriques de chacune d'elles (longueur totale et largeur) sont ensuite mesurés au mm près. Sur la base de ces données biométriques, la surface foliaire, exprimée en  $\text{cm}^2$ , est déterminée.

### 3.3.6. Brown Tissue Area Index

La présence de nécroses, tissus bruns-jaunâtres, sur les feuilles de *Posidonia oceanica* résulte de différents types de stress : eutrophisation, baisse de la lumière disponible, anoxie prolongée (envasement), composés toxiques et pathogènes, hyper salinité (ROMERO et al., 2007). Le Brown Tissue Area Index (DURAL et al., 2012) est le rapport entre la surface des feuilles adultes et intermédiaires nécrosées et la surface foliaire.

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

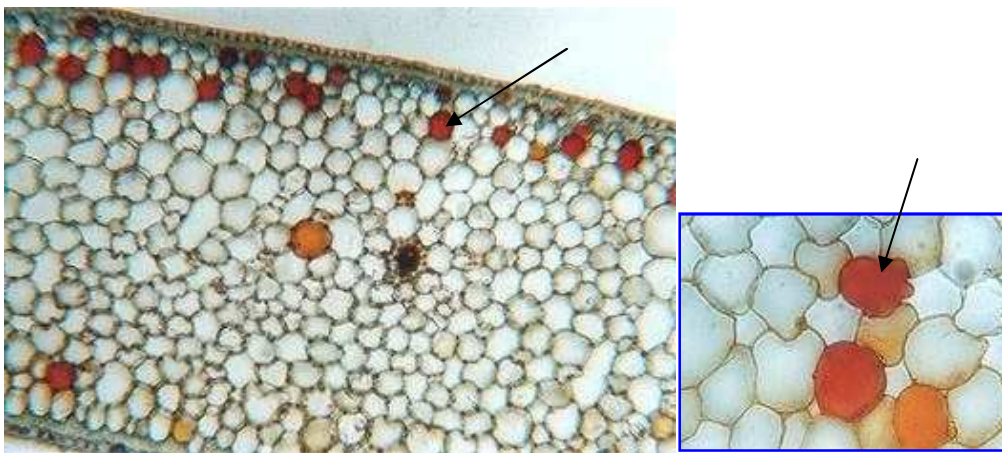
Les feuilles de *Posidonia oceanica* constituent un substrat pour de nombreux épiphytes : Fucophycées, Rhodobiontes, Bryozoaires, Hydraires, etc. (BOUDOURESQUE et al., 2006).

Les faisceaux ayant servi à la biométrie foliaire sont utilisés pour déterminer la biomasse des épiphytes. Les feuilles sont raclées, sur leurs deux faces au moyen d'une lame de rasoir, afin d'en séparer les épiphytes. Le produit du raclage et les feuilles sont ensuite séchés à l'étuve pendant 72 heures à une température de  $70^{\circ}\text{C}$ , puis pesés avec une précision du milligramme.

Le rapport E/L est ensuite calculé, il correspond au rapport de la biomasse des épiphytes sur la biomasse des feuilles.

### 3.3.8. Les cellules à tanins

*Posidonia oceanica*, à l'instar de certaines autres magnoliophytes marines, renferme des cellules à tanins spécialisées dans la production des composés phénoliques (MC MILLAN, 1984) (Figure 10). L'élaboration des cellules à tanins semble être influencée dans certains cas par des facteurs externes tels la pollution (PERGENT, 1988; AGOSTINI et al., 1998; COZZA et al., 2004 ; BOUMAZA et al., 2012) et lors de la compétition de *Posidonia oceanica* avec les algues invasives *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa* (CUNY et al., 1994 ; DE VILLELE et VERLAQUE, 1995 ; DUMAY et al., 2004).



**Figure 10.** Coupe transversale du limbe d'une feuille de *Posidonia oceanica* montrant la différence de couleur entre les cellules à tanins (oranges/brunes indiquées par des flèches) et les cellules de parenchyme (incolors). A gauche Gx40- à droite GX100 (d'après DUMAY, 2002).

Cinq faisceaux sont prélevés pour le comptage des cellules à tanins. Ils sont conservés dans de l'éthanol, car le contact prolongé avec cet alcool permet de faire ressortir les cellules à tanin au niveau des tissus et facilite leur observation (DUMAY, 2002) à la loupe. Une fois les faisceaux disséqués, seules les feuilles intermédiaires possédant encore leur apex (feuilles entières) sont retenues pour le dénombrement des cellules à tanins, car le métabolisme est plus actif chez les jeunes feuilles (DE VILLELE et VERLAQUE, 1995). Pour chaque feuille, 3 coupes transversales sont réalisées à 1cm de l'apex ; elles sont par la suite trempées dans de l'eau de Javel pure commerciale pendant 15 secondes. Le dénombrement des cellules à tanins est effectué sous une loupe, préalablement étalonnée, au grossissement 40. Le nombre de cellules à tanins est ensuite rapporté à la surface qui se calcule en multipliant la largeur de la feuille par son épaisseur.

### 3.4. Calcul des indices synthétiques et détermination du statut écologique

Une estimation de la qualité écologique des masses d'eau dans lesquelles se développent les herbiers est réalisée à partir de deux indices synthétiques : PREI et BiPo.

#### 3.4.1. Calcul du PREI

La combinaison des paramètres suivants : profondeur de la limite inférieure, type de limite, densité, surface foliaire et rapport biomasse des épiphytes des feuilles sur la biomasse des feuilles (E/L), détermine l'indice biotique PREI (**P**osidonia **o**ceanica **R**apid **E**asy **I**ndex (GOBERT et al., 2009). Ces paramètres sont tout d'abord normalisés en utilisant les formules suivantes :

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

$N_{\text{surface foliaire}} = (\text{surface foliaire station} - \text{surface foliaire de la classe mauvaise}) / (\text{surface foliaire de référence} - \text{surface foliaire de la classe mauvaise}) ;$

$N(E/L) = 1 - (E/L) ;$

$N_{\text{limite inférieure } c} = \text{limite inférieure corrigée par l'état de la limite} = (\text{limite inférieure station} - \text{limite inférieure de la classe mauvaise}) / (\text{limite inférieure de référence} - \text{limite inférieure de la classe mauvaise}).$

Des conditions de référence sont calculées sur la base de données acquises aux cours des sorties de.

Des valeurs limites ont été définies. Elles correspondent :

- D'une part, aux valeurs de référence correspondant au développement d'herbier exempt de perturbation (classe bleue) ;
- D'autre part, aux valeurs critiques correspondant à un herbier dégradé (classe rouge).

Pour les paramètres surface foliaire et densité, les valeurs de référence correspondent aux valeurs les plus élevées mesurées au niveau des 10 stations étudiées. Pour la densité et la surface foliaire, les valeurs de la classe mauvaise correspondent à la valeur 0. Pour le E/L, la valeur de référence est 0, correspondant aux faisceaux de feuilles non épiphytées (GOBERT

et al., 2009). La valeur de la profondeur de la limite inférieure pour chaque station est corrigée en tenant compte de la dynamique de cette limite (régression, stabilité, progression) :

- ▶ si la limite est franche (stable), alors la profondeur de la limite inférieure corrigée correspond à la profondeur de la limite inférieure mesurée ;
- ▶ si la limite est progressive, alors la profondeur de la limite inférieure corrigée correspond à la profondeur de la limite inférieure mesurée + 3 m ;
- ▶ si la limite est régressive, alors la profondeur de la limite inférieure corrigée correspond à la profondeur de la limite inférieure mesurée -3 m.

La moyenne de ces différents paramètres permet de calculer une valeur d'EQR' (Ecological Quality Ratio) pour chacune des stations, à partir de la formule suivante :

$$EQR' = (N_{\text{densité}} + N_{\text{surface foliaire}} + 0.5N_{(E/L)} + N_{\text{limite inférieure}}) / 3.5 \quad (1)$$

Les paramètres densité, surface foliaire et limite inférieure ayant un coefficient de 1 et la biomasse des épiphytes de 0.5, la somme des N a été divisée par  $(1+1+1+0.5) = 3.5$

Par conséquent, lorsque *Posidonia oceanica* existe, l'EQR est calculé comme suit :

$$EQR = (EQR' + 0.11) / (1 + 0.100) \quad (2)$$

### 3.4.2. Calcul du BiPo

La combinaison des paramètres profondeur de la limite inférieure, type de limite, densité et la surface foliaire détermine l'indice biotique BiPo (Biotic index using *Posidonia oceanica*) (LOPEZ Y ROYO et al, 2009a). Ces paramètres sont tout d'abord normalisés en utilisant les formules présentées dans le tableau 3.

Par la suite, l'EQR de chaque station est obtenu en effectuant la moyenne des EQR' de chaque paramètre :

$$EQR = (EQR'_{\text{profondeur limite}} + EQR'_{\text{type limite}} + EQR'_{\text{Densité}} + EQR'_{\text{longueur des feuilles}}) / 4 \quad (3)$$

### 3.4.3. Détermination du statut écologique

Une fois les valeurs d'EQR calculées à partir des indices PREI et BiPo, le statut écologique des masses d'eau des stations étudiées est défini.

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. L'interprétation des valeurs de l'EQR calculé à partir des deux indices est réalisée d'après la grille de diagnostic suivante (Tableau 2).

**Tableau 2.** Echelle d'interprétation de l'Ecological Quality Ratio (EQR) des indices PREI et BiPo 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

Par ailleurs, le statut «Mauvais» correspond, selon GOBERT et al. (2009) et LOPEZ Y ROYO et al. (2009a), à une mort récente de l'herbier (< 5 ans).

### 3.4.4. Exercice d'intercalibration

Une fois que la classe (EQR et statut écologique) des 13 stations est déterminée à partir des indices PREI et BiPo, l'intercalibration de ces deux méthodes est effectuée par : (1) la comparaison qualitative et quantitative des résultats obtenus et (2) la mise en évidence de la capacité des deux méthodes à refléter les pressions anthropiques.

#### 3.4.4.1 Comparaison qualitative et quantitative des deux méthodes

La comparaison qualitative du statut écologique affecté à chacune des stations, par les deux indices PREI et BiPo, est effectuée par la méthode de l'écart absolu moyen (EAM), indicateur utilisé par LOPEZ Y ROYO et al. (2011) dans le cadre de l'intercalibration d'indices basés sur *Posidonia oceanica*.

**Tableau 3.** Evaluation et harmonisation des paramètres pour le calcul de l'indice BiPo (d'après LOPEZ Y ROYO, 2008).

Descripteurs	CR	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Profondeur de la limite inférieure (m)	Valeurs EQR' 20 1	>31 $((X - 31) / 7) * 0.225) + 0.775$	31-25 $((X - 25) / 6) * 0.225) + 0.55$	25-19 $((X - 19) / 6) * 0.225) + 0.325$	<19 $((X / 19) * 0.225) + 0.1$	n/a 0.05
Type de la limite inférieure	Valeurs EQR' n/a 1	Progressive/érosive 0.89	Brusque 0.66	Eparse 0.44	Régressive 0.21	n/a 0.05
Densité (faisc./m <sup>2</sup> )	Valeurs EQR' 676.9 1	>339 $((X - 339) / 260) * 0.225) + 0.775$	339-239 $((X - 239) / 100) * 0.225) + 0.55$	239-172 $((X - 172) / 67) * 0.225) + 0.325$	<172 $((X / 172) * 0.225) + 0.1$	n/a 0.05
Longueur des feuilles (mm)	Valeurs EQR' 551.9 1	>812 $((X - 812) / 143) * 0.225) + 0.775$	812-651 $((X - 651) / 161) * 0.225) + 0.55$	651-481 $((X - 481) / 170) * 0.225) + 0.325$	<481 $((X / 170) * 0.225) + 0.1$	n/a 0.05

CR : Conditions de référence ; X : valeur mesurée du paramètre ; n/a : non applicable.

Cet indicateur permet d'évaluer la différence de classe assignée à chaque station par les deux indices PREI et BiPo (i.e. la valeur 0 est assignée aux stations évaluées dans la même classe par les deux indices, 1 pour les stations avec une seule classe de différence, 2 pour les sites avec deux classes de différence etc.). L'EAM est calculé en faisant la moyenne des scores obtenus pour les 13 stations étudiées. Le critère proposé pour une bonne comparabilité est de 0.5, correspondant à la moitié des stations présentant une classe de différence.

La comparaison quantitative est réalisée avec une régression linéaire des EQR obtenus avec les deux indices.

#### **3.4.4.2. Evaluation visuelle des pressions anthropiques**

Les pressions sont évaluées à différentes échelles ou unités géographiques, selon la méthode décrite par LOPEZ Y ROYO et al. (2009b), basée sur l'utilisation d'images satellitaires. Les pressions anthropiques sont évaluées à l'intérieur d'une surface de 25km ×25km, en positionnant la station étudiée au centre de ce carré (coordonnées géographiques sous le système géodésique mondial WGS 84). Les pressions qui affectent la zone côtière, prises en compte, sont au nombre de cinq : occupation des sols, industries, ports, rivières, 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 et donc susceptibles d'induire des modifications sur l'environnement côtier (LOPEZ Y ROYO et al., 2009b). En outre, elles sont 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.

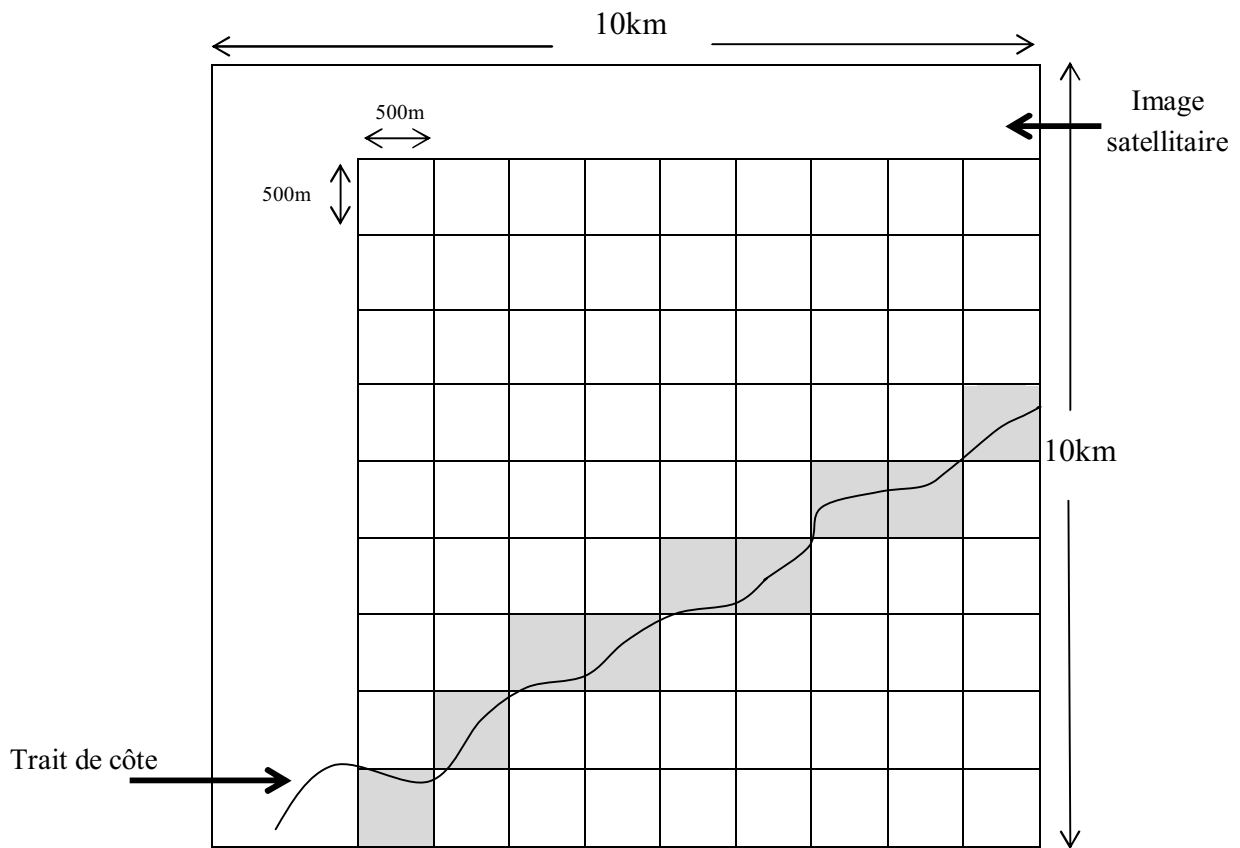
Concernant les industries, les ports et les rivières, leur présence et leur distance par rapport à la station étudiée sont mesurées et notées. Pour les ports, le type (industriel, commercial, loisir, pêche) est également noté. Le critère utilisé pour l'évaluation du taux de pression est la distance entre la pression identifiée et la station étudiée ; la distance de 10 Km est prise en compte (Tableau 4).

**Tableau 4.** Classification des 5 types de pression considérés (occupation du sol, rivière, industrie, ports et structures artificielles).

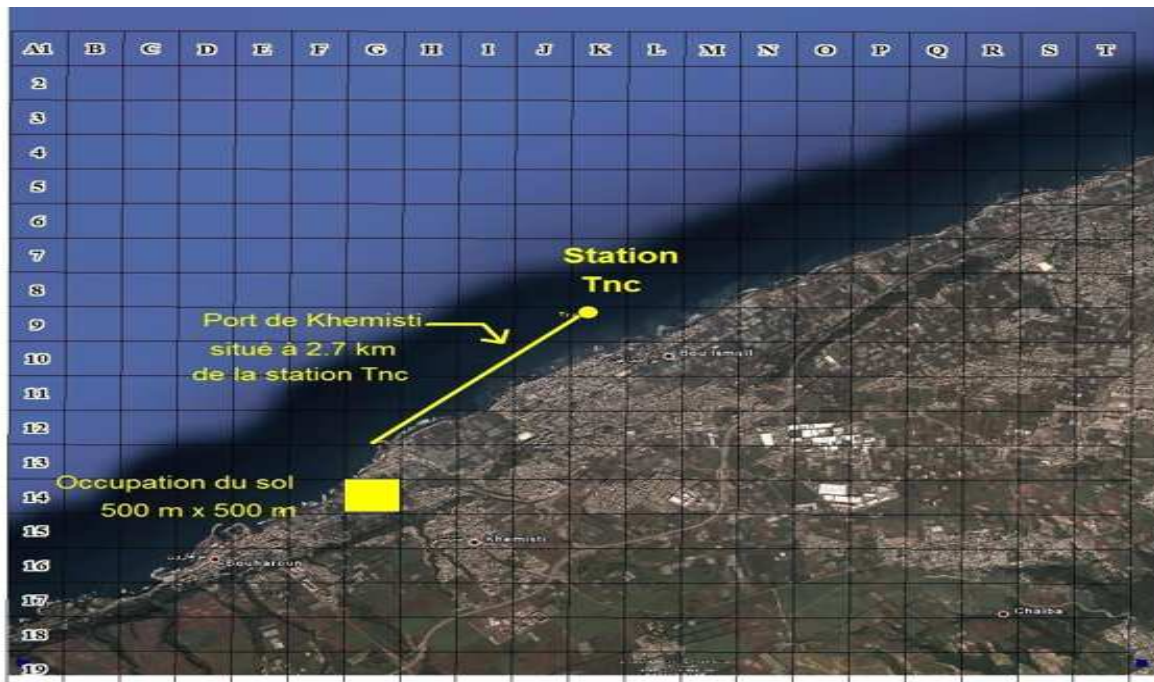
Type de pression	Elevée	Modérée	Faible	Aucune
Occupation du sol (% du linéaire côtier)	Urbain >90%	Naturelle : <50% ; Urbaine + Agricole : >50%	Urbaine + agricole : <50% ; ou seulement agricole < 90%	Naturelle > 90%
Rivières (distance du site)	n/a	< 10km (dans la même baie)	>10km	Aucune
Industries (distance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

Dans le cas où des ports sont présents dans l'aire considérée, la classification est la suivante : ports industriels (<10km) sont classés comme pression élevée, ports industriels (>10km) et/ou ports commerciaux (<10km) sont classés comme pression modérée, port commerciaux (>10km) et /ou de loisirs (<10km) sont classés comme pression faible et lorsque les ports sont inexistantes ou très petits pression faible, ils sont classés comme pression nulle (Tableau 4). 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 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 l'image Google-Earth (Figure 11.1, 11.2).



**Figure 11.1.** Méthode de détermination du pourcentage d'occupation du linéaire côtier à l'aide d'images satellitaires.



**Figure 11.2.** Exemple d'application de la méthode d'évaluation de la pression sur la station de Bou Ismail 2 (Tnc).

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 d'occupation (urbain, agricole et naturel). Le pourcentage des différents types d'occupation obtenu est utilisé pour la classification de ce type de pression : élevée, modérée, faible ou nulle (Tableau 4).

Les cinq éléments présentés dans le tableau 4 sont utilisés pour évaluer la pression totale exercée sur chacune des stations (Tableau 4). Le critère utilisé est que lorsqu'un élément de pression est qualifié d'élevé, cela est suffisant pour classer la station comme subissant une forte pression, même si les autres sont classées dans la catégorie source de pollution nulle. Les pressions humaines sont jugées modérées et faibles dans la mesure où deux pressions du même type sont enregistrées. Par conséquent, les stations étudiées sont évaluées comme sujettes à des pressions significatives ou non significatives, selon quatre classes (élevée, modérée, faible, nulle). Par la suite, la relation entre la pression anthropique, quantifiée entre 0 lorsque la pression est nulle et 3 lorsque la pression est élevée, et les EQR obtenus avec les deux indices, est évaluée en utilisant une régression linéaire.

**Tableau 5.** Intégration des 5 éléments de pressions classés (une pression classée est relative à la classification de chaque type de pression dans le tableau 4).

<b>Evaluation de la pression</b>	<b>Pression</b>	<b>Pression classée</b>
Signifiante	Elevée	Minimum une élevée
	Modérée	Minimum 2 modérées
Insignifiante	Faible	Minimum 2 faibles
	Nulle	Toutes nulles

### 3.5. Traitements statistiques

Dans le but d'évaluer l'effet station sur le recouvrement, le Brown Tissue Area Index et le nombre de cellules à tanins, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis est utilisé. Les traitements statistiques sont réalisés avec le logiciel R (R Development Core Team, 2011).

Les corrélations entre les PREI EQR et BiPo EQR, et ces derniers avec la cotation de la pression anthropique sont déterminées à partir du coefficient de corrélation des rangs de SPEARMAN, test non paramétrique.

# *Résultats et Discussion*



## 4. Résultats et discussion

### 4.1. Application des indices PREI et BiPo

#### 4.1.1. Evaluation du statut écologique des stations étudiées à partir des indices PREI et BiPo

Le calcul de l'indice PREI est basé sur les paramètres profondeur et le type de limite, densité, surface foliaire et charge épiphytaire (E/L) et celui de l'indice BiPo est basé sur les 3 premiers paramètres du PREI en plus de la longueur des feuilles (Tableau 6).

**Tableau 6.** Paramètres (moyenne  $\pm$  écart type) utilisés pour le calcul des indices biotiques PREI et BiPo.

Station	Profondeur de la limite inférieure (m)	Type de la limite inférieure	Densité (faisc/m <sup>2</sup> )	Longueur des feuilles (mm)	Surface foliaire (mm <sup>2</sup> )	E/L (mg)
Cap El Hamouche (CH)	17	Franche	167.5 $\pm$ 53.2	760.2 $\pm$ 110.1	342.6 $\pm$ 108.4	0.46 $\pm$ 0.09
Kouâli (AK)	20	Franche	170.2 $\pm$ 60.5	1035.8 $\pm$ 96.5	447.3 $\pm$ 51.7	0.23 $\pm$ 0.05
Berrard (Br)	19	Franche	173.7 $\pm$ 65.0	981.8 $\pm$ 126.1	392.2 $\pm$ 71.1	0.19 $\pm$ 0.05
Khemisti (Kh)	18	Régressive	151.2 $\pm$ 47.4	587.3 $\pm$ 134.0	400.1 $\pm$ 68.2	0.22 $\pm$ 0.03
Bou Ismail 1 (Bsm)	20	Régressive	200.0 $\pm$ 34.4	688.3 $\pm$ 113.5	454.1 $\pm$ 72.0	0.12 $\pm$ 0.05
Bou Ismail 2 (Tnc)	16.4	Régressive	193.7 $\pm$ 56.7	616.3 $\pm$ 149.2	361.8 $\pm$ 83.6	0.22 $\pm$ 0.06
Bou Ismail 3 (SD)	17	Franche	203.7 $\pm$ 31.3	562.1 $\pm$ 148.9	291.8 $\pm$ 79.8	0.26 $\pm$ 0.06
Sidi Fredj (SF)	8.3	Régressive	376.2 $\pm$ 50.1	297.9 $\pm$ 76.4	175.0 $\pm$ 41.0	0.29 $\pm$ 0.16
La Madrague (LP)	16	Franche	128.7 $\pm$ 33.6	326.7 $\pm$ 89.5	198.7 $\pm$ 61.6	0.5 $\pm$ 0.1
Aïn Benian (AB)	16	Régressive	173.1 $\pm$ 39.3	487.7 $\pm$ 137.1	369.1 $\pm$ 79.7	0.54 $\pm$ 0.17
La Pérouse (Pr)	3.9	Franche	171.2 $\pm$ 28.1	221.1 $\pm$ 53.3	148.4 $\pm$ 36.2	0.83 $\pm$ 0.14
Jean Bart (JB)	9.3	Franche	258.7 $\pm$ 73.4	524.7 $\pm$ 119.7	390.2 $\pm$ 100.3	0.27 $\pm$ 0.06
Île Agueli (AG)	15.1	Eparse/Franche	157.5 $\pm$ 41.0	491.1 $\pm$ 97.6	422.0 $\pm$ 104.5	0.27 $\pm$ 0.06

L'application de l'indice PREI aux treize stations étudiées a permis de classer 1 station avec un statut écologique très bon, 9 stations avec un statut écologique bon, 2 stations avec un statut écologique moyen et 1 avec un statut écologique médiocre (Tableau 7). La valeur de l'EQR la plus faible correspond à la station Pr (statut médiocre), tandis que la valeur la plus élevée correspond à la station AK (statut très bon).

L'application de l'indice BiPo aux treize stations a permis de classer 3 stations avec un statut écologique bon, 7 stations avec un statut écologique moyen, 3 stations avec un statut écologique médiocre (Tableau 7). La valeur de l'EQR la plus faible correspond à la station Pr (statut médiocre), tandis que la valeur la plus élevée correspond à la station AK (statut bon).

**Tableau 7.** Evaluation du statut écologique des stations étudiées, à partir des indices PREI et BiPo.

Station	EQR PREI	Statut écologique	EQR BiPo	Statut écologique
Cap El Hamouche (CH)	0.63	Bon	0.57	Bon
Kouâli (AK)	0.78	Très bon	0.58	Bon
Berrard (Br)	0.73	Bon	0.57	Bon
Khemisti (Kh)	0.65	Bon	0.32	Médiocre
Bou Ismail 1 (Bsm)	0.76	Bon	0.39	Moyen
Bou Ismail 2 (Tnc)	0.63	Bon	0.34	Moyen
Bou Ismail 3 (SD)	0.65	Bon	0.45	Moyen
Sidi Fredj (SF)	0.50	Moyen	0.42	Moyen
La Madrague (LP)	0.50	Moyen	0.43	Moyen
Aïn Benian (AB)	0.58	Bon	0.29	Médiocre
La Pérouse (Pr)	0.20	Médiocre	0.26	Médiocre
Jean Bart (JB)	0.61	Bon	0.46	Moyen
île Agueli (AG)	0.66	Bon	0.34	Moyen

#### 4.1.2. Comparaison des résultats obtenus avec les indices PREI et BiPo

La classification des stations en termes de valeur d'EQR obtenue avec les indices PREI et BiPo est différente. En effet, l'ordre de classement des stations à partir de l'indice PREI est le suivant : Pr < SF = LP < AB < JB < CH = Tnc < Kh = SD < AG < Br < Bsm < AK. Tandis qu'avec l'indice BiPo, l'ordre de classement des stations est le suivant :

Pr < AB < Kh < Tnc < AG < Bsm < SF < LP < SD < JB < CH = Br < AK (Figure 12).

La comparaison des EQR indique que les indices PREI et BiPo donnent des valeurs différentes. En effet, la différence des EQR va de 0.06 pour les stations CH et Pr à 0.37 pour la station Bsm, et une moyenne de  $0.19 \pm 0.12$  (Tableau 8).

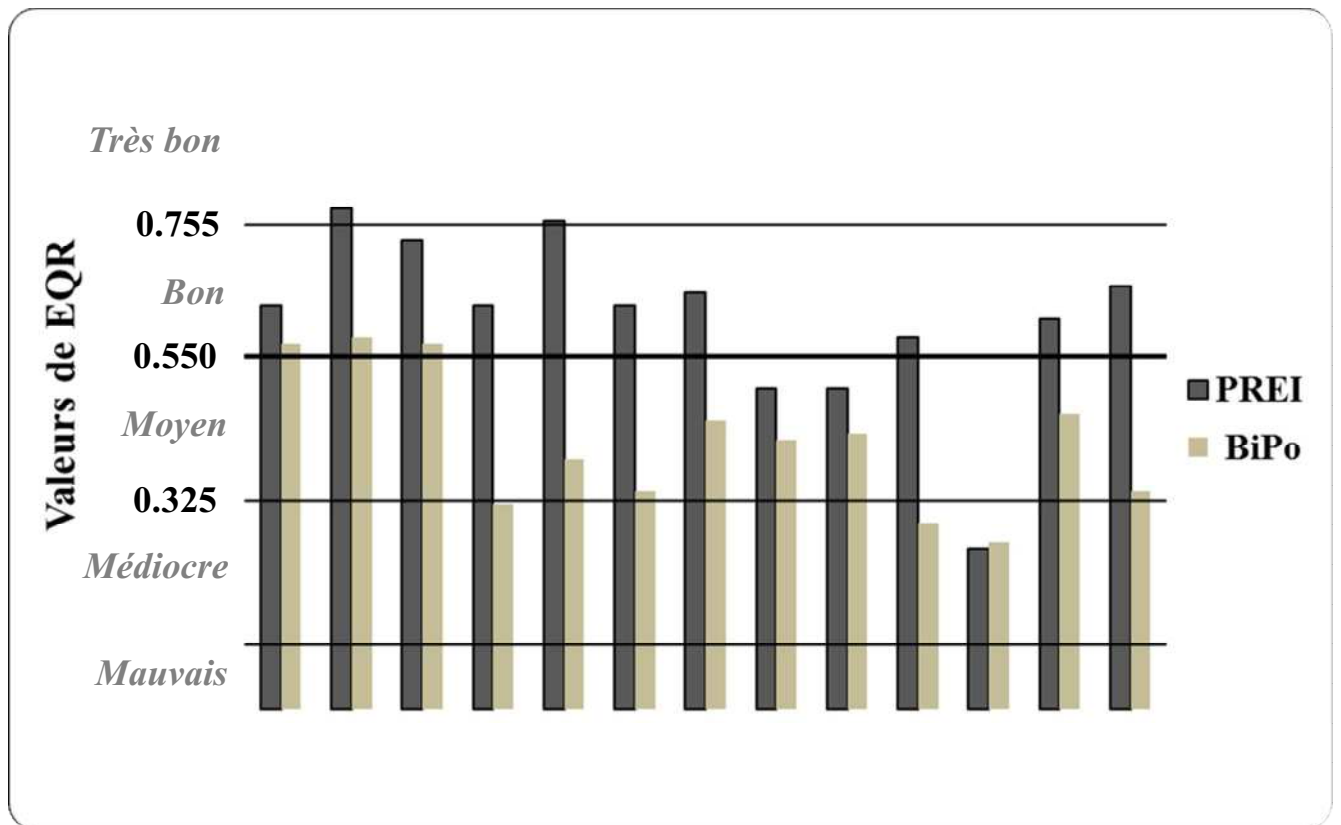
**Tableau 8.** Ecart entre les EQR PREI et EQR BiPo des stations étudiées.

Station	EQR PREI	EQR BiPo	Ecart
Cap El Hamouche (CH)	0.63	0.57	0.06
Kouâli (AK)	0.78	0.58	0.2
Berrard (Br)	0.73	0.57	0.16
Khemisti (Kh)	0.65	0.32	0.33
Bou Ismail 1 (Bsm)	0.76	0.39	0.37
Bou Ismail 2 (Tnc)	0.63	0.34	0.29
Bou Ismail 3 (SD)	0.65	0.45	0.20
Sidi Fredj (SF)	0.50	0.42	0.08
La Madrague (LP)	0.50	0.43	0.07
Aïn Benian (AB)	0.58	0.29	0.29
La Pérouse (Pr)	0.20	0.26	0.06
Jean Bart (JB)	0.61	0.46	0.15
île Agueli (AG)	0.66	0.34	0.32

En termes de classe, seules 5 stations sur les 13 étudiées présentent le même statut écologique avec les deux indices : CH et Br ont un statut écologique bon, SF et LP ont un statut écologique moyen et Pr un statut écologique médiocre (Figure 12).

#### **4.1.3. Corrélation entre le statut écologique et les pressions anthropiques**

L'analyse des images satellitaires a permis une évaluation visuelle des pressions qui affectent les stations étudiées. Les résultats montrent que mis à part les stations de CH et AK qui ne subissent qu'une pression «modérée», toutes les autres stations sont confrontées à une pression «élevée» (Tableau 9).



**Figure 12.** Valeurs des EQR et classification des stations en fonction des deux indices PREI et BiPo.

Les deux stations CH et AK subissent une pression «modérée». L'occupation du sol est de type agricole essentiellement, et l'oued Nador est situé à moins de 10 km de ces deux stations. La zone industrielle de Hadjout est quant à elle située à plus de 10 km et n'exerce qu'une pression moyenne sur ces deux stations. Quant au port de pêche de Tipasa, il exerce une faible pression.

La station Br est soumise à une pression «élevée», malgré l'absence de structures artificielles et d'oueds à proximité. En outre, l'occupation du sol et le port de pêche de Bouharoun, situé à 3 km, ont un faible impact. Cette station reste affectée par l'activité industrielle de la ville de Bou Ismail, située à 8.6 km.

Les stations Kh, Bsm, SD et Tnc sont soumises à une pression «élevée», car affectées par la présence de la zone industrielle de la ville Bou Ismail, ville la plus industrialisée de la wilaya de Tipasa (PAC, 2005). Elles subissent également des pressions liées à la proximité de l'oued Mazafran et à celles liées à la présence de structures artificielles (enrochements et brise-lames).

**Tableau 9.** Evaluation de l'impact des pressions anthropiques exercées sur les stations étudiées.

Station	Occupation du sol (%)			Rivière (km)	Industrie (km)	Ports (km)			SA	Evaluation de la pression
	U	A	N			I	C	P		
Cap El Hamouche (CH)	37.5	45	17.5	5.7	13	Non	Non	7.6	Non	Modérée
Kouâli (AK)	15	42.5	42.5	6.7	10.2	Non	Non	4.0	Non	Modérée
Berrard (Br)	35	15	50	0	8.6	Non	Non	3.0	Non	Elevée
Khemisti (Kh)	35	65	0	13.4	4.0	Non	Non	0.6	Oui	Elevée
Bou Ismail 1 (Bsm)	35	65	0	11.4	2.8	Non	Non	2.1	Oui	Elevée
Bou Ismail 2 (Tnc)	35	65	0	10.0	2.0	Non	Non	2.8	Oui	Elevée
Bou Ismail 3 (SD)	35	65	0	9.8	2.3	Non	Non	3.5	Oui	Elevée
Sidi Fredj (SF)	57.5	20	22.5	1.6	4.7	Non	Non	0.7	Oui	Elevée
La Madrague (LP)	95	2.5	2.5	2.0	11.1	Non	Non	0.6	Oui	Elevée
Aïn Benian (AB)	95	2.5	2.5	2.5	8.0	Non	Non	2.7	Oui	Elevée
La Pérouse (Pr)	30	40	30	10.3	12.4	Non	Non	0.1	Non	Elevée
Jean Bart (JB)	30	40	30	8.6	11.8	Non	Non	2.7	Non	Elevée
Ile Agueli (AG)	30	40	30	1.1	7.8	Non	Non	11	Non	Elevée

U : Urbain, A : Agricole, N : Naturel, I : Industriel, C : Commercial, P : Plaisance/pêche.

La station de SF est soumise à une pression «élevée» en raison de sa proximité de la zone industrielle de Zéralda, située à 4 km. Elle est également affectée «modérément» par l'occupation du sol Ainsi que par les rejets de l'Oued Mazafran et la présence de structures artificielles (brise-lames).

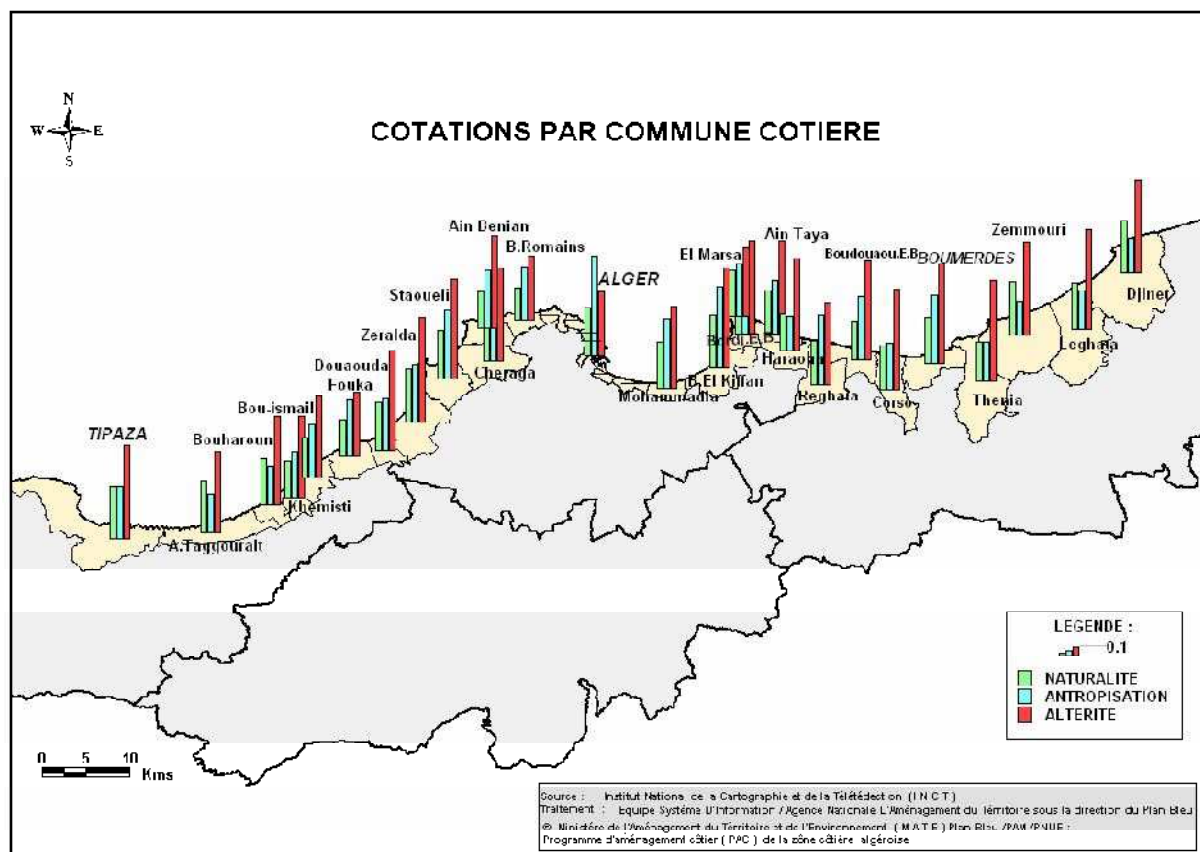
Les stations LP et AB subissent la pression «élevée» dû à l'impact généré par la cimenterie de Rais Hamidou Ainsi et de l'Oued Beni Messous. Le port de pêche de la Madrague exerce au niveau de cette station une faible pression.

Les stations JB et AG sont également confrontées à une pression «élevée», générée par la zone industrielle de Rouiba-Réghaia, la proximité du lac de Réghaia, réceptacle de polluants d'origine agricole et urbaine, et les structures artificielles (brise-lames) de AinTaya.

La station Pr est soumise à une pression « élevée » en raison de sa proximité de l'oued El Hamiz à l'Ouest, par contre le port de pêche et de plaisance de La Pérouse, situé à l'Est, n'exerce qu'une faible pression.

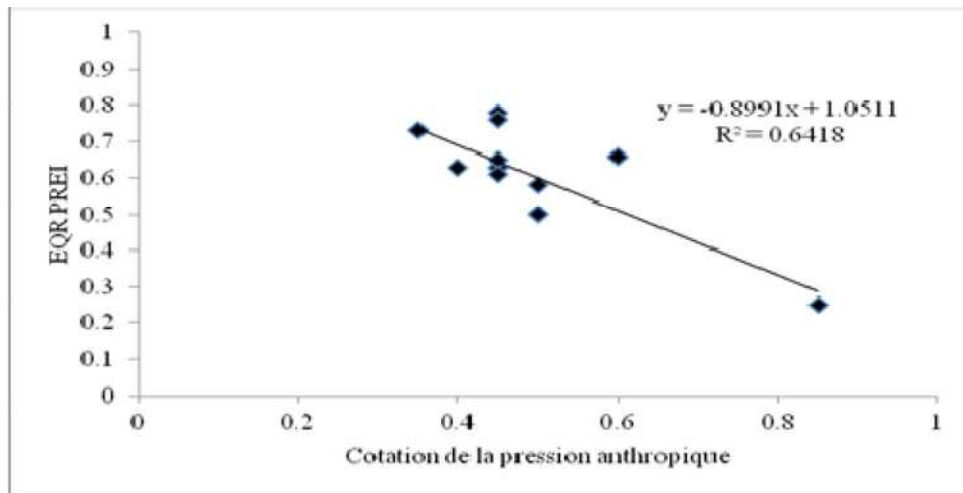
Par ailleurs, compte tenu des difficultés à collecter les données liées aux activités industrielles (types de rejets, traitements ou non des rejets,...) présentes à proximité des stations étudiées et de la disponibilité de données rétrospectives, nous avons opté pour une autre démarche.

En effet, la disponibilité de données relatives aux pressions anthropiques qui s'exercent sur la zone côtière algéroise (Figure 13 ; PAC, 2005) nous offre l'opportunité d'utiliser cette cotation pour établir la corrélation entre les EQR obtenus avec les indices PREI et BiPo et l'anthropisation.

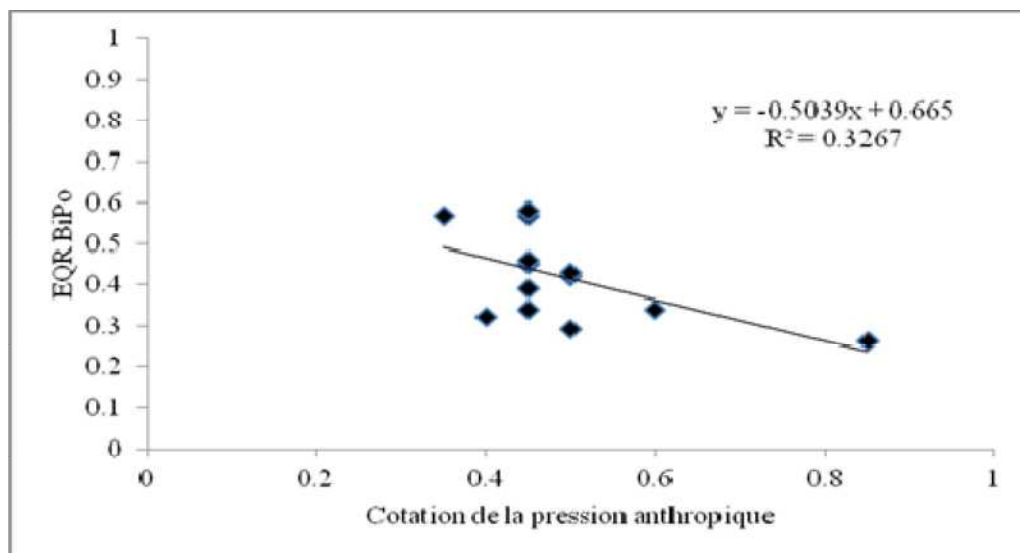


**Figure 13.** Cotation de l'anthropisation sur la zone côtière algéroise (PAC, 2005).

Les résultats obtenus par la corrélation entre les valeurs des EQR PREI et BiPo et la cotation de anthropisation obtenue par le PAC 2005 démontre que la corrélation mise en évidence entre la pression anthropique et les EQR évalués, au niveau des stations étudiées, par l'indice PREI sembleraient bonne ( $R^2 = 0.64$ ) (Figure 14). Tandis que cette corrélation semble faible avec l'indice BiPo ( $R^2 = 0.32$ ) (Figure 15).



**Figure 14.** Droite de régression entre les EQR PREI et la cotation des pressions anthropiques.



**Figure 15.** Droite de régression entre les EQR BiPo et la cotation des pressions anthropiques.

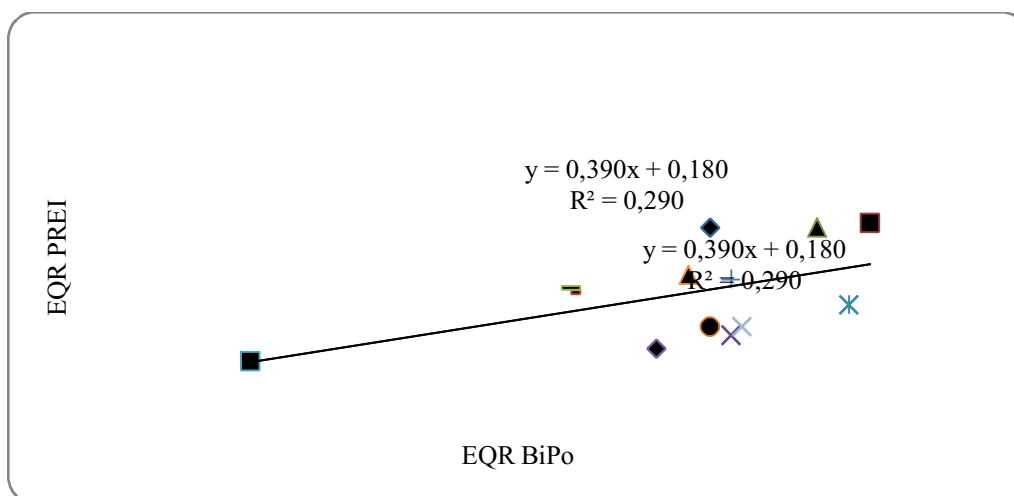
#### 4.1.4. Exercices d'intercalibration

La comparaison qualitative entre les statuts écologiques assignés à chacune des stations par les indices PREI et BiPo montre que l'écart absolu moyen (EAM) est de 0.7 (Tableau 10).

**Tableau 10.** Détermination de l'écart absolu moyen (EAM).

Station	Statut écologique PREI	Statut écologique BiPo	EAM
Cap El Hamouche (CH)	Bon	Bon	0
Kouâli (AK)	Très bon	Bon	1
Berrard (Br)	Bon	Bon	0
Khemisti (Kh)	Bon	Médiocre	2
Bou Ismail 1 (Bsm)	Bon	Moyen	1
Bou Ismail 2 Tonic (Tnc)	Bon	Moyen	1
Bou Ismail 3 (SD)	Bon	Moyen	1
Sidi Fredj (SF)	Moyen	Moyen	0
La Madrague (LP)	Moyen	Moyen	0
Aïn Benian (AB)	Bon	Médiocre	2
La Pérouse (Pr)	Médiocre	Médiocre	0
Jean Bart (JB)	Bon	Moyen	1
île Agueli (AG)	Bon	Moyen	1

Par conséquent, la comparabilité entre ces deux indices n'est pas bonne, car elle est supérieure à 0.5 (LOPEZ Y ROYO et al., 2011). En outre, la comparaison quantitative entre les valeurs d'EQR obtenus avec les deux indices est faible ( $R^2 = 0.29$ ) (Figure 16).



**Figure 16.** Droite de régression des EQR obtenus avec les indices PREI et BiPo.

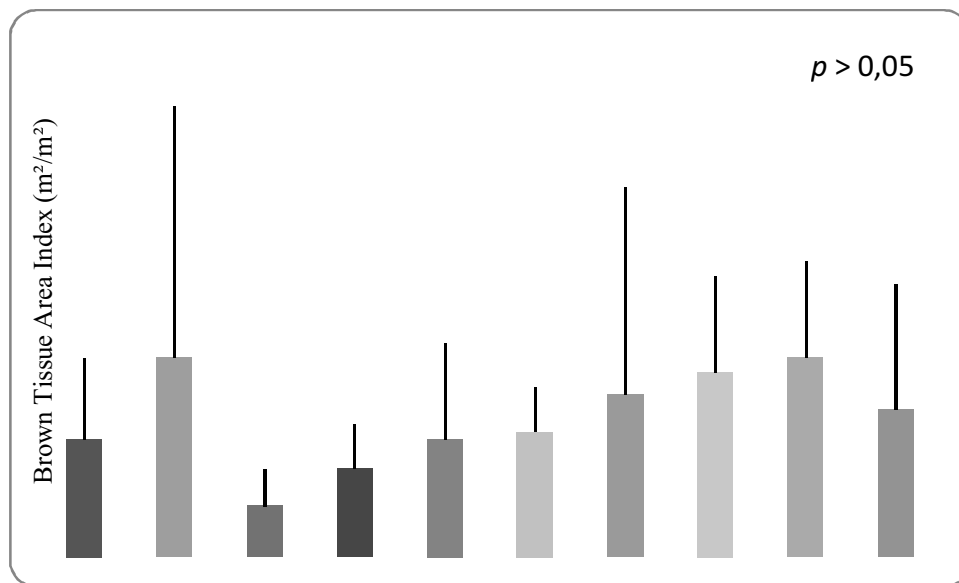
#### 4.1.5. Synthèse des résultats et discussion

La classification des stations étudiées à l'aide des indices PREI et BiPo montre que l'ordination des stations est différente. En revanche, une bonne corrélation semble être mise en évidence entre les pressions anthropiques et les EQR évalués au niveau des stations étudiées par l'indice PREI ( $R^2 = 0.64$ ), ce qui n'est pas le cas de l'indice BiPo ( $R^2 = 0.32$ ). Ces résultats sont le reflet de ceux obtenus par la comparaison de ces deux indices (intercalibration). En termes de comparaison qualitative, la valeur de l'EAM trouvée est de 0.7, ce qui suggère une absence de comparabilité entre ces deux indices, car cette valeur est  $> 0.5$  (LOPEZ Y ROYO et al., 2011). En termes de comparaison quantitative, la corrélation apparaît également faible entre les valeurs d'EQR obtenus avec ces deux indices ( $R^2 = 0.29$ ). Ces disparités pourraient s'expliquer par le nombre insuffisant de stations étudiées, mais aussi par le fait que ces deux indices sont basés sur des descripteurs différents. En effet, l'indice PREI est basé sur 3 descripteurs liés à la population (profondeur et type de limite, densité) et sur 2 descripteurs liés à l'individu (surface foliaire et E/L). Tandis que l'indice BiPo ne comporte qu'un descripteur à l'échelle de l'individu (longueur des feuilles) en plus des 3 descripteurs liés à la population. D'autre part, la définition des conditions de référence est différente pour les deux indices. Pour le BiPo, les conditions de référence sont obtenues à l'échelle du bassin Nord-Ouest de la Méditerranée, alors que dans le PREI, les conditions de référence choisies sont établies en fonction des données obtenues dans le cadre de cette étude qui reflètent au mieux les conditions spécifiques à la région géographique étudiée. En effet, les valeurs d'EQR obtenues par le PREI pour la station AK classée en très bon état écologique par l'indice PREI est classée en bon état par l'indice BiPo, ceci démontre bien qu'il y a une différence entre les conditions de référence utilisées par ces deux indices. Par ailleurs, l'herbier à *Posidonia oceanica* de la station AK est identifié comme un 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). En outre, ce site est caractérisé par la présence d'un certain nombre de paysages marins remarquables et menacés en Méditerranée : le récif-barrière à *Posidonia oceanica* et les trottoirs à Vermets (PNUE-UICN-GIS Posidonie, 1990).

## 4.2. Paramètres de vitalité de *Posidonia oceanica*

### 4.2.1. Brown Tissue Area Index

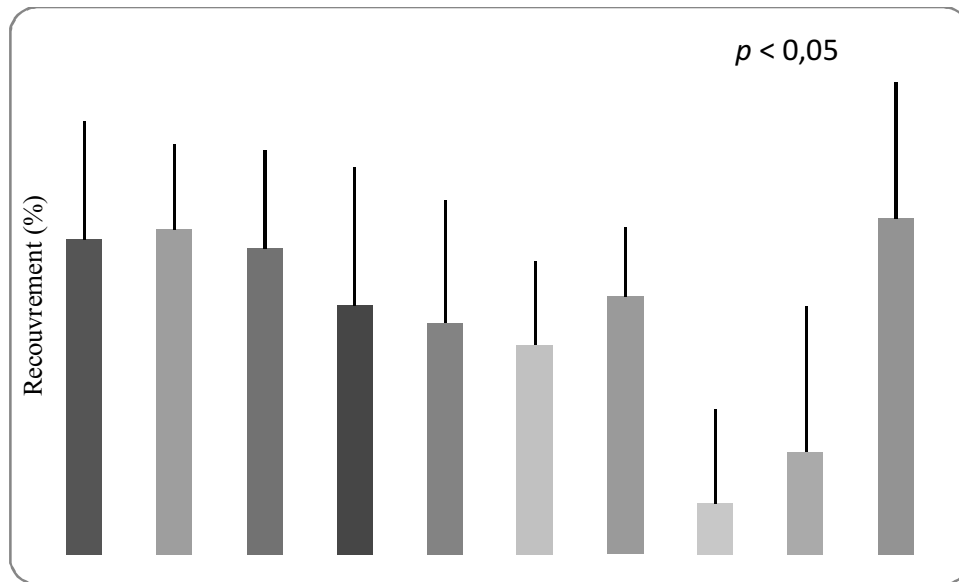
Le Brown Tissue Area Index varie entre  $0.12 \pm 0.06$  et  $0.27 \pm 0.34$  m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, et présente des différences significatives entre les stations étudiées ( $p > 0.05$ ) (Figure 17). Les différentes conditions environnementales qui affectent les stations étudiées ne semblent pas avoir d'incidence majeure sur ce paramètre. En outre, la mesure de cet indice durant la saison estivale, qui correspond à la période où le développement des épiphytes est important, diminue la disponibilité de la lumière pour les feuilles ; ceci pourrait en partie expliquer l'apparition des nécroses (BUJA et al., 1992 ; GOBERT, 2002). Néanmoins, la faible valeur relevée au niveau de la station SD mériterait d'être relevée, car elle ne correspond pas à la tendance généralement rapportée dans la littérature. En effet, les herbiers à *Posidonia oceanica* présents à proximité de dessalement présentent des surfaces foliaires nécrosées importantes (RUIZ et al., 2009). Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que cette station située dans une baie ouverte, est donc soumise à un renouvellement des eaux important en raison des courants dominants qui affectent cette baie toute l'année.



**Figure 17.** La variation du Brown Tissue Area Index en fonction des stations étudiées (moyenne ± écart type).

#### 4.2.2. Recouvrement

Les recouvrements des herbiers à *Posidonia oceanica* enregistrés au niveau des stations étudiées ne présentent pas de différences significatives ( $p < 0.05$ ) (Figure 18).

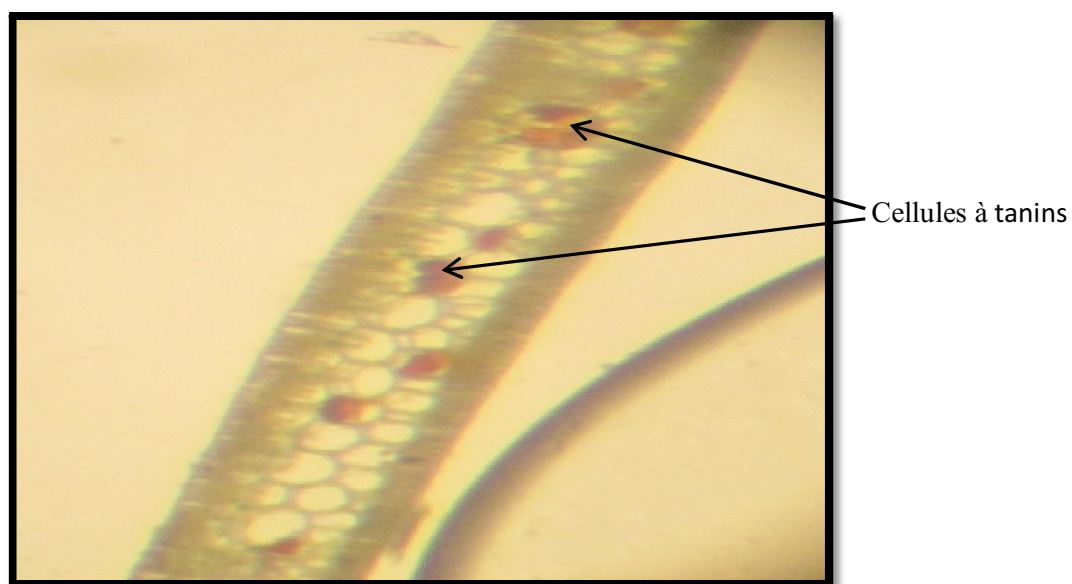


**Figure 18.** La variation du recouvrement en fonction des stations étudiées (moyenne  $\pm$  écart type).

Selon la classification de CHARBONNEL et al. (2000), les recouvrements enregistrés au niveau des stations [Kh, Bms, SD, Tnc, SF, AB, AG] sont supérieurs à 50% et traduisent donc un fort recouvrement. Tandis que les stations LP et JB enregistrent un recouvrement dit moyen dans la mesure où il est compris dans l'intervalle [20 - 50%]. Seul le recouvrement de la station Pr est considéré comme un recouvrement faible, car  $<$  à 20%.

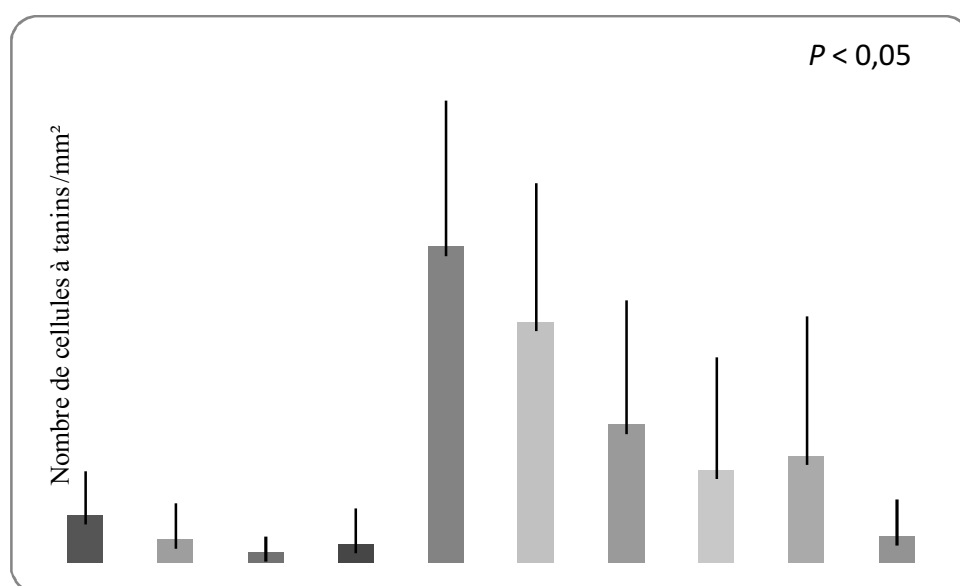
#### 4.2.3. Cellules à tanins

Les cellules à tanins dénombrées sous loupe binoculaire (Figure 19) ne présentent pas de différences significatives ( $p < 0.05$ ) entre les stations étudiées, elles oscillent entre 2 et 36 cellules par  $\text{mm}^2$  (Figure 20).



**Figure 19.** Coupe transversale d'une feuille intermédiaire de *Posidonia oceanica* montrant les cellules à tanins observées à la loupe (GX40).

Les valeurs les plus importantes sont enregistrées au niveau des stations SF et LP qui correspondent aux stations où la présence de *Caulerparacemosa* var. *cylindracea* est la plus importante. En effet, une augmentation du nombre de cellules à tanins est rapportée lors de la compétition de *Posidonia oceanica* avec cette algue invasive (CUNY et al., 1994 ; DE VILLELE et VERLAQUE, 1995 ; DUMAY et al., 2004).



**Figure 20.** La variation du nombre de cellules à tanins en fonction des stations étudiées (moyenne ± écart type).

Quant aux valeurs enregistrées au niveau des stations AB, Pr et JB, qui sont du même ordre de grandeur mais de moindre importance que les deux précédentes, elles sont probablement à mettre en relation avec les niveau de pollution liés aux nombreux rejets d'eaux usées liées auxquels sont soumises ces stations (PERGENT, 1988; BOUMAZA et al., 2012).

# Conclusion



## 5. Conclusion

Les résultats obtenus dans ce travail soulignent l'importance de l'échelle spatiale lors de la comparaison et de la validation des indices biotiques. En effet, les deux indices examinés, PREI et BiPo, reflètent bien l'état écologique attendu au niveau local, à savoir la région PACA (Provence-Alpes-Côte d'Azur) et le littoral Corse pour le premier indice et le bassin méditerranéen occidental pour le second (GOBERT et al., 2009 ; LOPEZ Y ROYO et al., 2009a). En revanche, si 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. Ceci valide l'utilisation de l'indice PREI pour l'évaluation de l'état écologique des eaux côtières algéroises. En effet, cet indice a été le seul à classer la station de Kouâli avec le statut «Très bon», et ce, sachant qu'effectivement, cette station présente toutes les caractéristiques d'un site indemne de toute anthropisation, d'où son utilisation comme site de référence (BOUMAZA et SEMROUD, 2000).

Concernant l'indice BiPo, l'absence de comparabilité qualitative et quantitative avec le PREI résulte des disparités dans le statut écologique assigné à chacune des stations étudiées par ces deux indices. Ces différences pourraient résulter du fait que les descripteurs utilisés pour le calcul de ces indices sont différents et/ou de la définition des conditions de référence pour chacun de ces deux indices. En effet, l'utilisation des conditions de référence établies à partir d'une banque de données de la Méditerranée occidentale (LOPEZ Y ROYO, 2008) pour évaluer l'état des eaux algéroises a conduit à des évaluations trop «pessimistes» de l'état écologique des masses d'eau. Il est donc nécessaire de bien définir des conditions de référence réalistes, bien adaptées aux conditions éco-géographiques des herbiers à *Posidonia oceanica*. L'emploi de conditions de référence propres aux herbiers de la côte algéroise atténuerait probablement ces différences. En conclusion, une évaluation correcte de la qualité des eaux côtières passe nécessairement par une définition correcte des conditions de référence (Rapport InterregIIIb / Posidonia, 2007).

Il est également fortement préconisé d'intégrer d'autres paramètres tels que la courantologie ainsi que des estimations quantitatives des rejets (débit) à la méthode d'évaluation de la pression anthropique.

Des tests de validité seraient aussi intéressants afin de permettre de conclure fermement sur la corrélation entre les deux indices d'une part et sur la corrélation entre les indices et la pression anthropique d'autre part.

Par ailleurs, une perte de précision dans la classification des stations étudiées pourrait également résulter du fait d'avoir un descripteur en moins pour le calcul de l'indice BiPo, en l'occurrence le rapport E/L. 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 (Rapport InterregIIIb / Posidonia, 2007). C'est dans cette optique que d'autres descripteurs de *Posidonia oceanica* ont été mesurés, à savoir le taux de recouvrement de l'herbier, le Brown Tissue Area Index. Par ailleurs, ces descripteurs classiques de *Posidonia oceanica* sont dans l'impossibilité de détecter les évolutions d'un herbier à très petite échelle. Il est donc préconisé de favoriser les descripteurs à critères physiologiques et /ou chimiques qui réagiront plus rapidement (Rapport InterregIIIb / Posidonia, 2007). C'est pour cette raison que le nombre de cellules à tanins a été également mesuré. Ils permettront la mise en œuvre d'un indice biotique, Synthetic Index *Posidonia oceanica* (SiPo), pour évaluer le statut écologique des eaux côtières algéroises.

# *Références Bibliographiques*



## 6. Références bibliographiques :

- AGOSTINI S., DESJOBERT J.M., PERGENT G., 1998.** Distribution of phenolic compounds in the seagrass *Posidonia oceanica*. *Phytochemistry*, 48(4) : 611-617.
- AUGIER H., RAMONDA G., GIGLIO Y., TAGLIONI F., 1987.** Pollution métallique et herbier à *Posidonia oceanica*. Echantillonnage et reproductibilité des mesures. *Group. Rech. Biol. Ecol. Nuis. Gest Ocean.* et GIS Posidonies Edit., Faculté des sciences de Marseille-Luminy, Fr., 1-27.
- BLANC J.J., JEUDY DE GRISSAC A., 1978.** Recherches de géologie sédimentaire sur les herbiers à Posidonies du littoral de la Provence. Contrat CNEXO 76/4043, 77/4074. Centre nation. Ex-ploit. *Océans publ.* : 1-185.
- 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. Progr. Rép. Stn. Océanogr. Stareso, *Université de Liège*, Belgique., 18 : 1-251 + 6p non num.
- BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., 1982.** Découverte de l'herbier de Posidonie. *Cahiers du Parc national de Port-Cros.*, 4 : 1-79.
- BOUDOURESQUE C.F., AVON M., PERGENT-MARTINI C., 1993.** Qualité du milieu marin - indicateurs biologiques et physico-chimiques. In « Rencontres scientifiques de la Côte Bleue », APEDCB & GIS Posidonie, GIS posidonie Publ., 3, Marseille : p. 35-42, p 73-87, p.245-248.
- BOUDOURESQUE C.F., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONNEL E., DIVIACCO G., MEINESZ A., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S., TUNESI L., 2006.** Les herbiers à *Posidonia oceanica*. In : Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*., Edit., *RAMOGE pub.*, France : 10-24.
- BOUMAZA S., SEMROUD R., 2000** Evaluation of past and present primary production in *Posidonia oceanica* beds from the cove of Kouâli (Tipasa, Algeria) using the lepidochronological method. *Biol. Mar. Medit.*, 7: 26-30.
- BOUMAZA S., KHIARI N., MOKEDDEM Z., HAMOUL N., SEMROUD R., 2012.** Effects of disturbances caused by coastal discharges on phenolics compounds in the seagrass *Posidonia oceanica*. In *proceeding Mediterranean Seagrass Workshop.*, Mai-June 2012, Essaouira, Morocco, 34p.
- BOURCIER, M., 1989.** Régression des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile, à l'Est de Marseille, sous l'action conjuguée des activités humaines et des modifications climatiques. In : International workshop on *Posidonia oceanica* beds. Boudouresque, C.F., Meinesz, A., Fresi, E.,

Gravez, V. edit, GIS Posidonie pub., France, 2, 287-293. **BUIA M.C., ZUPO V., MAZZELLA L., 1992.** Primary production and growth dynamics of *Posidonia oceanica*. *Marine Ecology.P.S.Z.N.I.*, 13 : 2-16.

**CHARBONNEL E., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., PERGENT-MARTINI C., SAN-MARTIN G., BERTRAN-DY M.C., FORET P., RAGAZZI M., LECCIA G., 2000.** Le Réseau de Surveillance Posidonies de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Région PACA/GIS Posidonie/CQEL 13/CQEL 83/Conseil Général 06/CQEL 06. *GIS Posidonie publ.*, Mars : 1-60 + 1-116.

**CHARBONNEL E., BONHOMME P., BERNARD G., CADIOU G., BOUDOURESQUE C.F., 2002.** Projet d'aménagement du port de la Madrague de Giens. Cartographie et état de vitalité des herbiers et du récif-barrière de Posidonie. Conseil Général du Var & GIS Posidonie, *GIS Posidonie publ.*, Fr : 1-62.

**CUNY P., SERVE L., JUPIN H., BOUDOURESQUE C.F., 1994.** Les composés phénoliques hydrosolubles de *Posidonia oceanica* (phanérogame marine) dans une zone colonisée par la chlorophyte introduite *Caulerpa taxifolia* (Alpes Maritime, France, Méditerranée). *First International Workshop on Caulerpa taxifolia*.

**COZZA R., CHIAPPETTA A., PETRARULO M., SALIMONTI A., RENDE R., BITONTI M.B & INNOCENTI A.M., 2004.** Cytological features of *Posidonia oceanica* as putative markers of environmental conditions. *Chemical Ecology.*, 20 : 215-223.

**DELGADO O., RUIZ J., PEREZ M., ROMERO J., BALLESTEROS E., 1999.** Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean bay: seagrass decline after organic loading cessation *Oceanol. Acta.*, Fr., 22 (1): 109-117.

**DE VILLELE X & VERLAQUE M., 1995.** Changes and degradation in a *Posidonia oceanica* bed invaded by the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia* in the north western Mediterranean. *Bot. Mar.*, 38 (1) : 79-87.

**DUMAY, O., 2002.** Dynamique compétitive entre la magnoliophyte marine *Posidonia oceanica* et les Bryopsidophycées invasives *Caulerpa taxifolia* et *Caulerparacemosa*. Thèse de Doct. Univ. Corse: 1-180

**DUMAY, O., COSTA JM., DESJOBERT M.J., PERGENT G., 2004.** Variations in the concentration of phenolic compounds in the seagrass *Posidonia oceanica* under conditions of competition. *Phytochem.*, 65 : 3211-3220.

**DURAL B., VEYSEL A, NILSUN D, İŞİN Y, HÜSEYİN E., 2012.** The status of sensitive ecosystems along the Aegean coast of Turkey: *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows. *J.Black Sea/Mediterranean Environment.*, 18( 3) : 360-379.

**FERNANDEZ-TORQUEMADA Y., M DIAZ VALDES F., COLILLA B., LUNA J.L., SANCHEZ-LIZASO A., RAMOS-ESPLA A., 2008.** Discriptors from *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows in coastal waters of Valencia, Spain, in the context of the EU Water Framework Directive. *ICES J. Marine Science.*, 65 : 1492-1497.

- GIRAUD G., 1977.** Recensement des floraisons de *Posidonia oceanica* (L.) Delile en Méditerranée. Rapp. *Comm. int. Mer Médit.*, Monaco., 24 (4) : 126-130.
- GIRAUD G., 1979.** Sur une méthode de mesure et de comptage des structures foliaires de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille (France)*, T. XXXIX : 33-39.
- GOBERT S., 2002.** Variations spatiales et temporelles de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse Doctorat Université de Liège : 1-207.
- GOBERT S., SARTORETTO S., RICO-RAIMONDINO V., ANDRAL B., CHERY A., LEJEUNE P., BOISSERY P., 2009.** Assessment of the ecological status of Mediterranean French coastal waters as required by the Water Framework Directive using the *Posidonia oceanica* Rapid Easy Index: PREI. *Marine Pollution Bulletin* 58: 1727-1733.
- GRAVEZ V., GELIN A., CHARBONNEL E., FRANCOUR P., ABELLARD O., REMONNAY L., 1995.** Surveillance de l'herbier de Posidonie de la baie du Prado (Marseille) - Suivi 1995. *Ville de Marseille & GIS Posidonie*, Marseille, France : 1-56.
- LERICHE A., PASQUALINIV., BOUDOURESQUE C.F., BERNARD G., BONHOMME P., CLABAUT P., DENIS J., 2006.** Spatial, temporal and structural variations of a *Posidonia oceanica* seagrass meadow facing human activities. *Aquatic Botany*, 84: 287-293.
- LOPEZ Y ROYO, C., 2008.** Utilisation de *Posidonia oceanica* (L.) Delile comme outil de gestion de la qualité écologique du milieu littoral. Thèse Doctorat. Université de Corse : 112.
- LOPEZ Y 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.*, 633(1) : 169-179.
- LOPEZ Y ROYO C., SILVESTRI C., PERGENT G., SALIVAS-DACAUX M., CASAZZA G., 2009b.** Assessing human-induced pressures on coastal areas with publicly available data. *Journal of Environmental Management*, 90(3): 1494-1501
- LOPEZ Y ROYO C., CASAZZA G., PERGENT-MARTINI C., PERGENT G., 2010.** A biotic index using the seagrass *Posidonia oceanica* (BiPo), to evaluate ecological status of coastal waters. *Ecological Indicators*, 10(2): 380-389.
- LOPEZ Y ROYO C., PERGENT G., ALCOVERRO T., BUIA M.C., CASAZZA G., MARTINEZ-CREGO B., PEREZ M., SILVESTRE F., ROMERO J., 2011.** The seagrass *Posidonia oceanica* as indicator of coastal water quality: Experimental intercalibration of classification systems. *Ecological indicators*, 11(2) : 557-563
- MEINESZ A., LAURENT R., 1978.** Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-Maritimes. Campagne Poséïdon 1976. *Botanica Marina*, 21(8) : 513-526.

**MC MILLAN C., 1984.**The condensed tannins (proanthocyanidins) in seagrasses, *Aquatic Botany.*, 20: 351-357.

**PAC., 2005.** Lutte contre la pollution liée aux déchets solides – diagnostic – Programme d'Aménagement Côtier (PAC) « Zone Côtière Algéroise ». *PAP-PAC. ALG/DS/04-04.*

**PASQUALINI V., PERGENT-MARTINI C., CLABAUT P., PERGENT G., 1998.** Mapping of *Posidonia oceanica* using Aerial Photographs and Side Scan Sonar: Application off the Island of Corsica (France) *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47 : 359-367.

**PERGENT G., 1988.** Variabilité de l'abondance des cellules à tanin dans les écailles de *Posidonia oceanica*. Rapp. P. V. Réun. Commiss. Internation. Explor. Sci. Médit., Monaco, 31 (2) B-19: 7.

**PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 1988.** Phénologie de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile dans le bassin méditerranéen. *Ann. Inst. océanogr.*, 61 (2) : 79-190.

**PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., BOUDOURESQUE C.F., 1995.** Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée : état des connaissances. *Mésogée, Fr.*, 54 : 3-27.

**PERGENT G., RICO-RAIMONDINO V., PERGENT-MARTINI C., 1997.** Fate of primary production in *Posidonia oceanica* meadows of the Mediterranean. *Aquatic Botany.*, 59 : 3-4.

**PERGENT G., MENDEZ S., PERGENT-MARTINI C., PASQUALINI V., 1999.** Preliminary data on the impact of fish farming facilities on *Posidonia oceanica* meadows in the Mediterranean. *Oceanologica*, 22: 195-107

**PERGENT G., ABIVEN T., HAUDEN S., MIMAULT B., PASQUALINI V., PATRONE J., PERGENT-MARTINI C., 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* : 108.

**PERGENT G., CLAUBERT P., MIMAULT B., PASQUALINI V., PERGENT-MARTINI C., 2005.** Mise en oeuvre d'un Réseau de surveillance Posidonies le long du littoral de la Corse : Deuxième phase Porto-Vecchio / Ajaccio. Contrat office de l'environnement de la Corse et GIS Posidonie centre de Corse. *GIS Posidonie Publ.*, Corte.

**PERGENT-MARTINI C., 2000.** Utilisation des herbiers de phanérogames marines dans la gestion du littoral méditerranéen. Diplôme d'Habilitation à Diriger des Recherches, *Université de Corse* : 1-298.

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

**PERGENT-MARTINI C., LEONI V., PASQUALINI V., ARDIZZONE G.D., BALESTRI E., BEDINI R., BELLUSCIO A., BELSHER T., BORG J., BOUDOURESQUE C.F., BOUMAZA S., BOUQUEGNEAU**

**J.M., BUIA M.C., CALVO S., CEBRIAN J., CHARBONNEL E., CINELLI F., COSSU A., DI MAIDA G., DURAL B., FRANCOUR P., GOBERT S., LEPOINT G., MEINESZ A., MOLENAAR H., MANSOUR H.M., PANAYOTIDIS P., PEIRANO A., PERGENT G., PIAZZI L., PIRROTTA M., RELINI G., ROMERO J., SANCHEZ-LIZASO J.L., SEMROUD R., SHEMBRI P., SHILI A., TOMASELLO A., VELIMIROV B., 2005.** Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: Use and application. *Ecological Indicators*, 5 : 213-230.

**PNUE-UICN-GIS POSIDONIE., 1990.** Des végétaux, peuplements et paysages marins menacés de méditerranée. Gerard V., Livre rouge. Rapports 43 sur les aires spécialement protégées (PNUE). Athènes. 247p.

**R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011.** R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0. URL: <http://www.R-project.org/>.

**RICHIR J., 2013.** Coastal pollution of the Mediterranean and extension of its biomonitoring to trace elements of emerging concern. Disser PhD in Sciences. Depart of Envi Sciences an Management. Laboratory of Oceanology. *University of Liège.*, FR : 50.

**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 water under the Water Framework Directive (WFD). *Marine Pollution Bulletin* 55: 196-204.

**RUIZ, J.M., MARIN-GUIRAO L., SANDOVAL-GIL J.M., 2009.** Responses of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* to *in situ* simulated salinity increase. *Botanica Marina*, 52 : 459–470.

**SENGOUGA A ., MISRAOUI A., 2011.** Caractérisation des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile de la baie de Bou Ismaïl. Mémoire d'ingénieur., *ENSSMAL.*, Alger : 1-71.

# *Liste des figures*



## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Les caractéristiques des rhizomes et des faisceaux de <i>Posidonia oceanica</i> (d'après BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982 modifié par LOPEZ Y ROYO, 2008).....	3
<b>Figure 2.</b> Rôle écologique de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> (d'après J.G. HARMELIN 1993 et M.A. MATEO inédit in PERGENT et al., 2005) .....	5
<b>Figure 3.</b> Schéma récapitulatif des principaux descripteurs de <i>Posidonia oceanica</i> avec les paramètres mesurés avec les informations relatives (PERGENT-MARTINI et al., 2005 et modifié par RICHIR, 2013) .....	8
<b>Figure 4.1.</b> Localisation des stations de prélèvement dans la partie ouest de la baie de Bou Ismaïl (SENGOUGA et MISRAOUI, 2011).....	14
<b>Figure 4.2.</b> Localisation des stations de prélèvement dans la partie est de la baie de Bou Ismaïl (SENGOUGA et MISRAOUI. 2011) .....	15
<b>Figure 4.3</b> Localisation des stations de prélèvement dans les baies d'Alger et de Zemmouri (SENGOUGA et MISRAOUI, 2011) .....	15
<b>Figure 5.</b> Schéma des différents types de limite inférieure de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> (d'après PERGENT et al., 2004) .....	17
<b>Figure 6.</b> Comptage <i>in situ</i> de la densité avec un carré de 20 cm de côté.....	18
<b>Figure 7.</b> Estimation du recouvrement de l'herbier en Plongée (D'après GRAVEZ et al., 1995) .....	18
<b>Figure 8.</b> Récolte des faisceaux de <i>Posidonia oceanica</i> en plongée .....	19
<b>Figure 9.</b> Morphologie de <i>Posidonia oceanica</i> (d'après LOPEZ Y ROYO, 2008).....	20
<b>Figure 10</b> Coupe transversale du limbe d'une feuille de <i>Posidonia oceanica</i> montrant la différence de couleur entre les cellules à tanins (oranges/brunes indiquées par des flèches) et les cellules de parenchyme (incolores). A gauche Gx40- à droite GX100 (d'après DUMAY, 2002) .....	21
<b>Figure 11.1.</b> Méthode de détermination du pourcentage d'occupation du linéaire côtier à l'aide d'images satellitaires .....	28
<b>Figure 11.2.</b> Exemple d'application de la méthode d'évaluation de la pression sur la station de Bou Ismaïl 2 (Tnc) .....	28

<b>Figure 12.</b> Valeurs des EQR et classification des stations en fonction des deux indices PREI et BiPo .....	33
<b>Figure 13.</b> Cotation de l'anthropisation sur la zone côtière algéroise (PAC, 2005).....	35
<b>Figure 14.</b> Droite de régression entre les EQR du PREI et la cotation des pressions anthropiques.....	35
<b>Figure 15.</b> Droite de régression entre les EQR du BiPo et la cotation des pressions anthropiques.....	36
<b>Figure 16.</b> Droite de régression des EQR obtenus avec les indices PREI et BiPo.....	37
<b>Figure 17.</b> La variation du Brown Tissue Area Index en fonction des stations étudiées (moyenne $\pm$ écart type).....	39
<b>Figure 18.</b> La variation du recouvrement en fonction des stations étudiées (moyenne $\pm$ écart type).....	40
<b>Figure 19.</b> Coupe transversale d'une feuille intermédiaire de <i>Posidonia oceanica</i> montrant les cellules à tanins observées à la loupe (GX40).....	41
<b>Figure 20.</b> La variation du nombre de cellules à tanins en fonction des stations étudiées (moyenne $\pm$ écart type).....	41

# Liste des tableaux



## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Indices et descripteurs de <i>Posidonia oceanica</i> utilisés pour définir le statut écologique des eaux côtières de Méditerranée, dans le cadre de la Directive Cadre des Eaux (DCE) .....	7
<b>Tableau 2.</b> Echelle d'interprétation de l'Ecological Quality Ration (EQR) pour les indices PREI et BiPo pour l'évaluation de la qualité des masses d'eau côtières (d'après GOBERT et al.,2009) .....	24
<b>Tableau 3.</b> Evaluation et harmonisation des paramètres pour le calcul de l'indice BiPo (d'après LOPEZ Y ROYO, 2008).....	25
<b>Tableau 4.</b> Classification des 5 types de pression considérés (occupation du sol, rivière, industrie, ports et structures artificielles .....	27
<b>Tableau 5.</b> Intégration des 5 éléments de pressions classés .....	29
<b>Tableau 6.</b> Paramètres (moyenne $\pm$ écart type) utilisés pour le calcul des indices biotiques PREI et BiPo.....	30
<b>Tableau 7.</b> Evaluation du statut écologique des stations étudiées, à partir des indices PREI et BiPo.....	31
<b>Tableau 8.</b> Comparaison des EQR obtenus pour les stations étudiées avec les indices PREI et BiPo.....	32
<b>Tableau 9.</b> Evaluation de l'impact des pressions anthropiques exercées sur les stations étudiées .....	34
<b>Tableau 10.</b> Détermination de l'écart absolu moyen (EAC) .....	37

# Annexes



## ANNEXE I

### Caractéristiques des stations étudiées et planning des interventions

Stations	Profondeur (m)	Coordonnées	Observations	Date de plongée
Khemisti (Kh)	8.3	36° 38.579' N - 02° 40.098' E	Poissons Ripfels Marks Herbier sur roche séparé par du sable Limite brusque/régression ponctuelle	11/09/2013
Bou Ismail (1) (Bsm)	16	36° 39.250' N - 02° 41.161' E	<i>Caulerpa taxifolia</i> . Padine Anémone. poissons Limite régressive	11/09/2013
Bou Ismail (2) (Tnc)	22	36° 39.609' N 02° 42.070' E	Posidonie sur roche Algues calcaires associées. Padine Présence d'inter-matte Limite franche	13/08/2013
Bou Ismail (3) (SD)	17	36° 39.363' N - 02° 41.529' E	Posidonie sur roche Rhizomes morts Algues associées Limite régressive	13/08/2013
Sidi Fredj (SF)	18	36° 45.530' N-02° 50.159' E	<i>Caulerparacemosa</i> . <i>Padina pavonica</i> . Posidonie sur roche Limite régressive	03/08/2013
La Madrague (LP)	12	36° 48.035' N-02° 53. 428' E	Poissons (Girelle. saupe). Echinodermes <i>Caulerparacemosa</i> associée Posidonie sur roche Limite franche/régressive	07/08/2013
Aïn Benian (AB)	8	36° 48.553' N-02° 55.195' E	Padine. Echinodermes Limite franche/régressive	07/08/2013

La Pérouse (Pr)	15.1	36° 48.293' N - 03° 13.907' E	Matte morte Régression importante Semi-herbier	30/08/2013
Jean Bart (JB)	17	36° 48.789' N - 03° 15.433' E	Posidonia sur roche Présence de touffes <i>Caulerpa racemosa</i> Semi-herbier	31/08/2013
Île Agnelli (AG)	23	36° 47.527' N - 03° 21.252' E	Posidonia sur roche Algues rouges. Padine Gorgones. Echinodermes Poissons	07/09/2013

## ANNEXE II

### Biométrie foliaire

Légende des tableaux
Stat. : Stations
Prof. : Profondeurs (m)
Moy. : Moyenne
Ec.typ. : Ecart-type
F. : Feuilles
DA : densité anormale
DN : densité normale
DSS : densité subnormale supérieure.
Surf. : Surface des feuilles (cm <sup>2</sup> )
Biom. : Biomasse des feuilles (mg)
Epi. : Biomasse moyenne des épiphytes des feuilles (mg)
FN. Feuilles nécrosées
Khemisti : (Kh)
Bou Ismail (1) : (Bsm)
Bou Ismail (2) : (Tnc)
Bou Ismail (3) : (SD)
SidiFredj : (SF)
Aïn Benian : (AB)
La Madrague : (LP)
La Pérouse : (Pr)
Jean Bart : (JB)
Île Agnelli : (AG)

Paramètres		Densité		Type d'herbier	Surf.F		Biom.F		EPI.F	
Stat.	Prof.	Moy.	Ec.typ		Moy.	Ec.typ	Moy.	Ec.typ	Moy.	Ec.typ
CH	17	167.5	53.2	DSI	342.61	108.4	27828.5	540.08	624.32	191.31
AK	20	170.25	60.5	DSI	447.37	51.7	1780.74	216.52	423.00	117.15
Br	19	173.75	65.0	DSI	392.24	71.15	1663.22	370.96	330.58	134.51
Kh	18	151.25	156.0	DSS	400.16	72.2	2005.93	442.08	253.90	116.37
Bsm	20	200	78.6	DN	454.19	68.2	1569.01	346.89	356.87	87.33
Tnc	16.4	194	139.0	DSS	361.86	83.6	1559.33	398.54	365.70	173.61
SD	17	203.75	102.1	DN	291.89	79.8	1211.92	353.97	333.14	135.15
SF	8.3	376.25	141.5	DSS	175	41.0	761.62	193.62	222.62	118.73
LP	16	128.75	199.7	DSS	198.74	61.6	781.73	274.50	451.47	240.62
AB	16	173.125	142.1	DN	369.14	79.7	1624.55	336.50	592.32	161.65
Pr	3.9	171.25	85.3	DA	148.4	36.2	705.22	164.91	343.41	123.31
JB	9.3	258.75	96.0	DN	390.26	100.3	1607.93	460.13	448.07	184.16
AG	15.1	157.5	102.1	DN	422.08	104.5	1586.23	401.43	582	181.03

Max ; Min

## ANNEXE III

### Recouvrement, tissus nécrosés et cellules à tanin

Paramètres	Recouvrement(%)		Surf.FN		Cellules à tanin	
	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ
stat	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ
KH	75.30	31.5	772.94	1091.48	5.5	5.2
Bsm	73.10	33.6	733.83	1264.72	2.7	4.3
TC	57.710	28.4	392.64	652.20	1.2	1.9
SD	70.89	32.1	729.62	1037.66	2.2	4.2
SF	53.70	27.3	693.04	1006.58	36.6	17.0
LP	48.58	19.8	919.70	1111.79	27.9	16.1
AB	59.72	22.9	240.86	531.861	16.0	14.43
Pr	11.90	19.4	709.51	860.15	10.8	13.1
JB	23.80	16.0	822.36	1151.10	12.4	16.2
AG	78.00	21.8	465.26	846.19	3.1	4.3

Max.Min

## ANNEXE IV

### Indice Biotiques PREI et BiPo

#### Légende des tableaux

Prof.lim<sub>c</sub> : profondeur de la limite inférieure

Lim<sub>c</sub> : limite inférieure corrigée

E/L : Ratio épiphytes/feuilles

N densité : (densité station - densité de la classe mauvaise)/(densité de référence - densité de la classe mauvaise)

N SF : N surface foliaire : (surface foliaire station - surface foliaire de la classe mauvaise)/(surface foliaire de référence - surface foliaire de la classe mauvaise)

$N(E/L) = 1 - (E/L)$

N limite inférieure c : limite inférieure corrigée par l'état de la limite : (limite inférieure station – limite inférieure de la classe mauvaise)/(limite inférieure de référence – limite inférieure de la classe mauvaise)

EQR' : Ecological Quality Ratio :  $N \text{ densité} + N \text{ surface foliaire} + 1/2N(E/L) + N \text{ limite inférieure c}$  / 3.5

EQR :  $(EQR' + 0.11) / (1 + 0.10)$

Conditions de référence PREI :

valeurs limites	Profondeur limite	Densité	Surface foliaire	Charge épiphytaire
valeurs de référence	23	376.25	454.19	0
valeurs de la classe rouge	8	0	0	1

Indice PREI

Paramètres		Prof.lim<	lim< c	N densité	N SF	N(E/L)	N lim< c	EQR'	EQR	Statut écologique
stat	prof									
CH	17	17	17	0.44	0.75	0.53	0.6	0.58	0.63	Bon
AK	20	20	20	0.45	0.98	0.76	0.8	0.74	0.78	Très bon
Br	19	19	19	0.46	0.86	0.80	0.73	0.70	0.73	Bon
Kh	18	18	15	0.40	0.88	0.77	0.46	0.61	0.65	Bon
Bsm	20	20	17	0.53	1	0.87	0.6	0.73	0.76	Bon
Tnc	16.4	16.4	13.4	0.51	0.79	0.77	0.36	0.58	0.63	Bon
SD	17	17	17	0.54	0.64	0.73	0.6	0.61	0.65	Bon
SF	8.3	8.3	5.3	1	0.38	0.70	-0.18	0.44	0.50	Moyen
LP	16	16	16	0.34	0.43	0.45	0.53	0.44	0.50	Moyen
AB	16	16	13	0.46	0.81	0.49	0.33	0.52	0.58	Bon
Pr	3.9	3.9	0.9	0.45	0.32	0.16	-0.47	0.11	0.20	Médiocre
JB	9.3	9.3	9.3	0.68	0.85	0.72	0.08	0.57	0.61	Bon
AG	15.1	15.1	15.1	0.41	0.92	0.72	0.47	0.62	0.66	Bon

Max ; Min

Conditions de références BiPo :

	Profondeur limite	Densité	Longueur des feuilles
valeurs de référence	20	676.9	551.9

## Indice BiPo

Stations	EQR' type de limite inférieure	EQR' profondeur de la limite inférieure	EQR' densité	EQR' longueur	EQR	Statut écologique
Cap El hamouche	0,66	0,30	0,31	1	0.57	Bon
Kouâli	0,66	0,36	0,32	1	0.58	Bon
Berrard	0,66	0,32	0,33	1	0.57	Bon
Khemisti	0,21	0,31	0,29	0,46	0.32	Médiocre
Bou Ismail 1	0,21	0,36	0,40	0,60	0.39	Moyen
Bou Ismail 2	0,21	0,29	0,38	0,50	0.34	Moyen
Bou Ismail 3	0,66	0,30	0,41	0,43	0.45	Moyen
Sidi Fredj	0,21	0,19	0,80	0,49	0.42	Moyen
Ain Benian	0,66	0,28	0,26	0,53	0.43	Moyen
La Madrague	0,21	0,28	0,32	0,33	0.29	Médiocre
La Pérouse	0,21	0,14	0,32	0,39	0.26	Médiocre
Jean Bart	0,66	0,21	0,59	0,38	0.46	Moyen
Aguelli	0,44	0,27	0,30	0,33	0.34	Moyen