



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR EN SCIENCES DE LA MER**

Spécialité : ENVIRONNEMENT

Thème

**La mise en place d'un réseau de surveillance de
l'herbier à *Posidonia oceanica* de Bou Ismail**

Présenté par :

- HARZALLAH Amel
- ZERAT Celia

Soutenu le 06/09/2015 devant le jury composé de :

Mr. HAMDANE Y.	Maître de conférences A	(ENSSMAL)	Président
Mme. ILLOUL H.	Maître de conférences B	(ENSSMAL)	Examinatrice
Mr. SEMROUD R.	Professeur	(ENSSMAL)	Examineur
Mme. BOUMAZA S.	Maître de conférences B	(ENSSMAL)	Promotrice
Mr. BOUKORTT R.	Maître assistant B	(ENSSMAL)	Co-Promoteur

Remerciements

En terminant notre mémoire de fin d'étude, il nous est agréable d'adresser nos vifs remerciements à tous ceux qui nous ont aidés à élaborer ce mémoire.

Nous remercions en particulier, Mme BOUMAZA et Mr BOUKORTT pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail en nous encadrant, grâce à eux le travail sur terrain a été efficace et agréable.

Nous remercions également Mr HEMDANE d'avoir accepté de présider le jury et d'avoir contribué à la réalisation du travail, ainsi que les membres du jury, Mme ILLOUL et Mr SEMROUD d'avoir répondu présent pour le juger.

Nos sincères remerciements s'adressent aussi à Mr HANICHE, Mr KHAZIMI et le club de plongée Cap Caxine pour toute l'aide qu'ils nous ont apporté.

A la fin nous tenons à remercier tous nos collègues d'étude.

Liste des figures

Figure 1. Distribution géographique de *Posidonia oceanica* (trait rouge) et des réseaux de surveillance Posidonie en Méditerranée. A : Rhône ; B : Pô ; C : Nil (d'après Pergent et Bertrand, 2013), modifiée.

Figure 2. Bloc diagramme montrant la structure d'une matte. D'après Boudouresque et Meinesz (1982).

Figure 3. Rôle écologique de l'herbier à *Posidonia oceanica*. D'après J.G. Harmelin et M.A. Mateo inédit, in Pergent *et al.* (2005).

Figure 4. Devenir de la production primaire (en pourcentage de carbone) de *Posidonia oceanica*. D'après Pergent *et al.* (1997).

Figure 5. Présentation de la baie de Bou Ismaïl et du site d'étude. D'après Bachari-Houma (2009), modifiée par Boumaza (2015).

Figure 6. Localisation du balisage de la limite supérieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* de Bou Ismaïl.

Figure 7. Photo montrant le matériel utilisé pour la mise en place du balisage.

Figure 8. Figure illustrant la mise en place du balisage. D'après Pergent *et al.* (2005).

Figure 9. Schéma illustrant le protocole de mesure des relèvements en degrés par rapport au Nord des positions des balises et des piquets-photos (Charbonnel *et al.*, 1995).

Figure 10. Photos montrant une prise de vue horizontale (a) et une prise de vue verticale (b) de la balise 8.

Figure 11. Photo montrant la méthode de mesure du recouvrement en amont de chaque balise.

Figure 12. Comptage *in situ* de la densité avec un carré de 20 cm de côté.

Figure 13. Récolte des faisceaux de *Posidonia oceanica* (a) et de sédiment (b).

Figure 14. Types de feuilles de *Posidonia oceanica* en fonction de leur âge. D'après Pergent *et al.* (2008).

Figure 15. Localisation du site de balisage.

Figure 16. Plan de balisage de la limite supérieure.

Figure 17. Photo présentant une touffe d'herbier à *Posidonia oceanica*.

Figure 18. Photo montrant la matte morte recouverte par des macroalgues.

Figure 19. Photo montrant la présence de *ripple-marks* en avant des balises.

Figure 20. Cartographie du balisage de la limite supérieure de l'herbier de Bou Ismaïl.

Figure 21. Herbier à *Posidonia oceanica* au niveau des balises 1 à 10 de la limite supérieure de l'herbier de Bou Ismaïl.

Figure 22. Caractérisation du sédiment (refus de tamis et indices granulométriques) en aval de la limite supérieure.

Liste des tableaux

Tableau 1. Echelle de classification du recouvrement de l'herbier à *Posidonia oceanica*. D'après Charbonnel *et al.* (2000).

Tableau 2. Classification de l'herbier en fonction de la profondeur (intervalle entre 3 et 6 m). DA = densité anormale, DSI = densité subnormale inférieure, DN = densité normale, DSS = densité subnormale supérieure. D'après Pergent *et al.* (1995).

Tableau 3. Calcul des paramètres granulométriques (Folk et Ward, 1957). Ils sont exprimés en unité (ϕ). L'échelle ϕ est une unité de mesure définie par la relation suivante : $\phi = \log_2(D)$ (D : dimension des grains en mm).

Tableau 4. Les différentes limites de la taille moyenne (TM) (Folk, 1954).

Tableau 5. Les limites et la nomenclature de l'indice de symétrie (Ski) (Folk et Ward, 1957).

Tableau 6. Les différents stades de l'indice de tri (S_0) (Folk, 1954).

Tableau 7. Profondeurs mesurées pour chaque balise.

Tableau 8. Relèvements de balise à balise, de piquet-photo à balise et les distances de balise à balise.

Tableau 9. Estimation moyenne du recouvrement de l'herbier le long du balisage.

Tableau 10. Densités moyennes de l'herbier le long du balisage.

Sommaire

Introduction générale.....	8
Objectifs du travail	11
Chapitre 1 Généralités sur les herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>	12
1.1. Présentation et distribution de <i>Posidonia oceanica</i>	12
1.2. Rôle et importance des herbiers	12
1.2.1. Rôle au niveau structural	13
1.2.2. Rôle sur le plan fonctionnel	14
1.2.2.1 Production primaire.....	14
1.2.2.2 Pôle de biodiversité.....	16
1.2.2.3 Rôle de bioindicateur.....	16
1.3. Menaces sur l’herbier	17
Chapitre 2 matériels et méthodes	19
2.1. Présentation du site d’étude.....	19
2.2. Matériel pour la mise en place du balisage	21
2.3. Calendrier de mise en place du balisage	22
2.4. Relevés et prélèvements <i>in situ</i>	23
2.4.1. Position des balises	23
2.4.2. Profondeur des balises	24
2.4.3. Réalisation de photographies.....	24
2.4.4. Estimation du recouvrement	25
2.4.5. Mesure de la densité	26
2.4.6. Les prélèvements	27
2.5. Traitement des échantillons au laboratoire.....	28
2.5.1. Biométrie foliaire.....	28
2.5.2. Epiphytes des feuilles	30
2.5.3. Analyse granulométrique.....	30
2.6. Analyses statistiques des données	32
2.7. Méthode de cartographie	32
Chapitre 3 résultats et discussion	34

3.1. Caractérisation du balisage.....	34
3.1.1. Localisation du balisage	34
3.1.2. Profondeur des balises	34
3.1.3. Position et orientation des balises.....	35
3.1.4. Description de la limite au niveau du balisage	36
3.1.5. Prise et description des photographies.....	39
3.2. Paramètres de la vitalité de l'herbier.....	42
3.2.1. Recouvrement de l'herbier	42
3.2.2. Densité de l'herbier	42
3.2.3. Paramètres biométriques.....	43
3.2.3.1. Nombre de feuilles par faisceau.....	43
3.2.3.2. Longueur des feuilles.....	43
3.2.3.3. Largeur des feuilles.....	44
3.2.3.4. Coefficient A de Giraud.....	44
3.2.3.5. Surface foliaire.....	45
3.2.3.6. Indice épiphytique.....	45
3.3. Analyse granulométrique	46
Conclusion générale	48

Annexes

Introduction générale

Le littoral reste le site privilégié pour de nombreuses activités économiques qui menacent de détruire l'équilibre et la biodiversité qu'il renferme (Beaumont *et al.*, 2007 ; Doney *et al.*, 2012). La mise en place de réseaux de surveillance en zone littorale apparaît donc comme un outil indispensable dans une optique de gestion intégrée des zones côtières (Boudouresque *et al.*, 2006). Ces réseaux associent des descripteurs biologiques (bioindicateurs) aux mesures strictement physico-chimiques et tendent même à privilégier ceux-ci (Pergent *et al.*, 2005).

De nombreux systèmes de surveillances font aujourd'hui appel aux magnoliophytes marines et ce, dans différentes régions de la biosphère. Le Seagrass Net est un programme de surveillance écologique mondial qui étudie l'état des magnoliophytes marines et les menaces qui pèsent sur les écosystèmes qu'elles constituent. Le programme a débuté en 2001 dans le Pacifique occidental et comprend désormais 126 sites dans 33 pays, dont deux en Méditerranée (Pergent et Bertrand, 2013). Le Seagrass Watch, lui, concerne de nombreux autres pays dont les Etats-Unis, l'Australie, le Brésil, la Tanzanie, le Vietnam et les Philippines (Short *et al.*, 2001).

La Méditerranée bénéficie d'un rôle de pionnier en la matière puisque le premier réseau de surveillance basé sur les herbiers de magnoliophytes marines a été initié le long du littoral Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) en France, en 1984: il s'agit du **Réseau de Surveillance Posidonies (RSP)** et consiste en l'installation de repères fixes – balisage, transects et carrés permanents – dans le but de mettre en évidence l'évolution des herbiers à *Posidonia oceanica* – recul, stabilité, régression. L'objectif de ce réseau est double : une surveillance accrue des herbiers à *Posidonia oceanica* et leur utilisation comme indicateurs de la qualité des eaux littorales (Boudouresque *et al.*, 2000 ; 2007 ; Pergent et Bertrand, 2013).

Le Réseau de Surveillance Posidonies (RSP) est étendu dès la fin des années 1980 à l'Espagne, l'Italie et la Grèce à travers le programme COST 647, puis, dès 1995, dans l'ensemble du bassin méditerranéen, grâce aux initiatives du Centre d'Activités Régionales pour les Aires Spécialement Protégées (CAR-ASP), plus particulièrement depuis l'adoption du Plan d'Action pour la Conservation de la Végétation Marine en Mer Méditerranée du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (Plan d'Action pour la Méditerranée) et la mise en place d'un programme spécifique MED POSIDONIA (Algérie, Tunisie, Libye et Turquie) (Pergent et Bertrand, 2013). Le RSP est aujourd'hui utilisé, avec une certaine variabilité d'un pays à l'autre, dans douze pays méditerranéens et plus de 360 sites ; il bénéficie d'une approche actualisée et standardisée (Pergent *et al.*, 2012 ; Pergent et Bertrand, 2013) (Figure 1).



Figure 1. Distribution géographique de *Posidonia oceanica* (trait rouge) et des réseaux de surveillance Posidonie en Méditerranée. A : Rhône ; B : Pô ; C : Nil (d'après Pergent et Bertrand, 2013), modifiée.

Sur le plan national, le développement des Réseaux de Surveillance Posidonie a été initié en 1998 dans le cadre des activités du Laboratoire de Biologie et d'Ecologie du Phytobenthos de L'ISMAL (ENSSMAL, actuellement). C'est ainsi qu'un premier système de surveillance de l'herbier à *Posidonia oceanica* de la petite baie d'El Djamil, située dans la partie orientale de la baie de Bou Ismaïl, a été mis en place (Semroud *et al.*, 1998). Ce projet a été en partie financé par le Fonds National pour l'Environnement et administré par la

Direction Générale de l'Environnement (DGE). Il comporte la mise en place, d'une part, d'un balisage d'une portion de la limite inférieure, et, d'autre part, d'un carré permanent au sein de l'herbier à *Posidonia oceanica*. L'analyse de l'évolution de ce site par rapport à la période de la mise en place de ces systèmes de surveillance a été réalisée en août 2000 (Boumaza et Semroud, 2000). Un second réseau de surveillance a été mis en place en 2007 et a consisté en la mise en place d'un balisage au niveau de la limite inférieure de l'herbier situé au large du front de mer de l'agglomération de Bou Ismaïl. Le premier retour sur site a été effectué en 2010. Enfin, un troisième balisage en limite inférieure a été mis en place à Kouali en 2008, avec un retour sur site en 2010 (Boumaza, 2015 ; Semroud *et al.*, 2015).

En outre, dans le cadre des activités de L'APPL (Agence pour la Promotion et Protection du Littoral algérois), un premier balisage de la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* a été mis en place au niveau de l'îlot Agueli (Reghaia) en 2007 et ce, dans le cadre d'une collaboration avec le Centre Inter - départemental de la Recherche en Sciences de l'Environnement de l'Université de Ravenna (Bologne/Italie) et d'un financement par la Communauté Européenne (Grimes, 2012). Un premier suivi de cette limite a été réalisé en 2010 et un deuxième en 2013. De plus, toujours dans le cadre des activités de l'APPL, un second balisage a été mis en place au niveau de la limite inférieure d'un herbier localisé à Ain Benian, en 2014.

Par ailleurs, dans le cadre d'un soutien financier de la Fondation Total pour la biodiversité et la mer, un projet de développement d'inventaire, de cartographie et de suivi des herbiers de Posidonies dans 4 pays méditerranéens : Algérie, Libye, Tunisie et Turquie (projet Med Posidonie), deux balisages ont été mis en place au niveau de l'herbier de Posidonie de Cap de Garde (Annaba) : le premier en limite supérieure et le second en limite inférieure (Grimes, 2012).

Enfin, dans le cadre du projet pilote Med PAN SUD-PNTaza (2011), un balisage en limite inférieure de l'herbier a été mis en place le long du littoral du Parc National de Taza, en 2010. Il s'agissait principalement d'un exercice pratique pour la formation des agents du parc et des personnes impliquées dans ce projet.

1. Objectifs de ce travail

Les rejets d'effluents mixtes – urbains et industriels – constituent une des pressions majeures qui s'exercent sur la baie de Bou Ismaïl, néanmoins, la pollution industrielle reste limitée en raison du faible tissu industriel (Grimes, 2011). Les herbiers à *Posidonia oceanica*, une des composantes majeures des écosystèmes du domaine littoral de cette baie, sont sensibles à ces agressions. En effet, au cours de ces dernières décennies, des phénomènes de régression des herbiers à *Posidonia oceanica* sont signalés dans plusieurs secteurs de cette baie, plus particulièrement au large du front de mer de l'agglomération de Bou Ismaïl (Tarmoul, 2010 ; Boumaza *et al.*, 2014).

Une station de traitement et d'épuration des eaux usées (STEP) est en cours de réalisation à Bou Ismaïl. Sa mise en service est, selon l'Office National de l'Assainissement, prévue pour 2016. Par conséquent, la mise en place d'un balisage au niveau de la limite supérieure de l'herbier à *Posidonia oceanica*, localisé au niveau du front de mer de la ville de Bou Ismaïl, permettra d'évaluer l'éventuelle restauration naturelle de cet herbier suite à l'amélioration de la qualité du milieu attendue, après la mise en service de cette STEP.

En outre, ce travail s'inscrit dans une problématique générale, destinée à mieux cerner le rôle des herbiers à *Posidonia oceanica* dans la gestion intégrée des zones côtières en Méditerranée.

Chapitre 1

Généralités sur les herbiers à *Posidonia oceanica*

1.1. Présentation et distribution de *Posidonia oceanica*

Posidonia oceanica (Linnaeus) Delile appartient à la famille des Posidoniaceae, qui contient un seul genre *Posidonia* et neuf espèces à affinité tempérée (Kuo et Den Hartog, 2006). Huit espèces sont présentes en Australie, la dernière, *Posidonia oceanica*, est endémique de Méditerranée (Boudouresque *et al.*, 2006). Cette espèce bénéficie d'une protection légale dans de nombreux pays méditerranéens, elle est également inscrite dans plusieurs conventions internationales (Boudouresque *et al.*, 2006). En Algérie, la protection légale de *Posidonia oceanica* s'intègre dans le cadre de la Loi du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement, et de son décret d'application du 4 janvier 2012 fixant la liste des espèces végétales non cultivées et protégées (Journal officiel n°03 du 18 janvier 2012).

Posidonia oceanica constitue de vastes herbiers qui colonisent la majeure partie des côtes européennes et nord-africaines, à l'exception du secteur de Gibraltar, des zones soumises à l'influence des grands fleuves (Pô, Rhône, Nil) et du littoral sud-est du bassin oriental (Boudouresque *et al.*, 2006 ; Gobert *et al.*, 2006 ; Pergent *et al.*, 2012). La surface occupée par les herbiers, en Méditerranée, est estimée entre 2.5 et 4.5 millions d'hectares, soit 23% des fonds compris entre 0 et 50 m de profondeur (Pasqualini *et al.*, 1998).

1.2. Rôle et importance des herbiers

Comme la majeure partie des peuplements édifiés par des espèces de magnoliophytes marines, les herbiers à *Posidonia oceanica* assument un rôle écologique majeur. Ils occupent de ce fait une place de premier plan dans le fonctionnement et le maintien de l'équilibre écologique de la Méditerranée, tant sur le plan structural que fonctionnel.

1.2.1. Rôle au niveau structural

Les herbiers à *Posidonia oceanica* sont des bâtisseurs de fonds. Cette aptitude est directement liée à sa morphologie et à son mode de croissance. D'une part, les feuilles constituent de véritables pièges à sédiment qui favorisent la décantation des particules en suspension dans la colonne d'eau, et, d'autre part, la croissance verticale des rhizomes aboutit à la formation d'un substratum compact appelé matte (Molinier et Picard, 1952) (Figure 2). Cette dernière est constituée par un lacinis de rhizomes, morts et/ou vivants, de racines et de sédiment hétérogène (d'origine autochtone et/ou allochtone) qui colmate les interstices. L'élévation de la matte est estimée à 1 m par siècle (Molinier et Picard, 1952 ; Boudouresque et Meinesz, 1982).

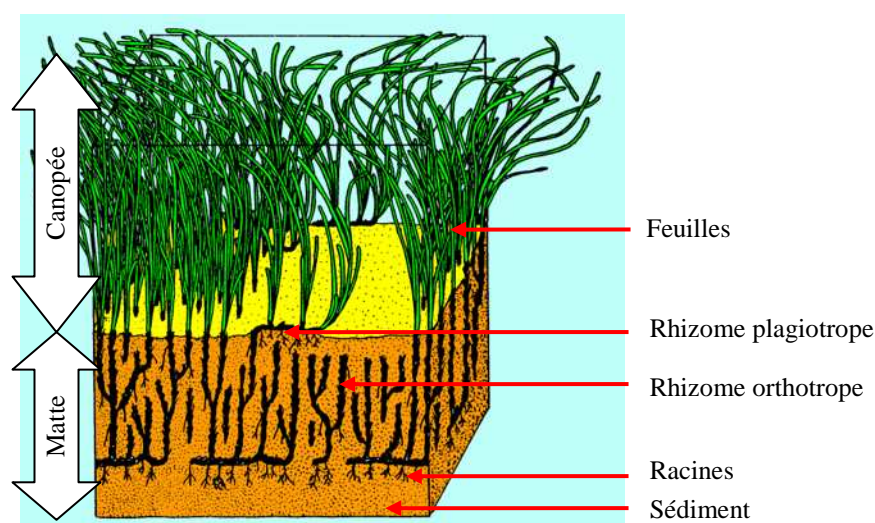


Figure 2. Bloc diagramme montrant la structure d'une matte. D'après Boudouresque et Meinesz (1982).

La matte souterraine stabilise les fonds meubles en agissant comme un piège à sédiments (Molinier et Picard, 1952). Elle peut aboutir, après un certain temps, dans les zones abritées, à l'affleurement de l'herbier à la surface de l'eau formant ainsi un récif-barrière (Augier et Boudouresque, 1970). La taille des feuilles de *Posidonia oceanica*, leur densité et les épiphytes qu'elles supportent réduisent efficacement l'action hydrodynamique des houles et des courants, ce qui a pour conséquence une diminution nette de l'érosion au niveau du fond mais également au niveau de la frange côtière (Jedy de Grissac et Boudouresque,

1985). Cette dernière profite également de l'effet antiérosif engendré par les banquettes, constituées de feuilles de *Posidonies* rejetées sur les plages (Boudouresque et Meinesz, 1982). D'ailleurs, le retrait régulier de ces laisses dans le cadre du nettoyage des plages, durant la saison estivale, s'accompagne d'un recul significatif du trait de côte (Pasqualini, 1997).

1.2.2. Rôle sur le plan fonctionnel

Le rôle prépondérant des herbiers à *Posidonia oceanica* apparaît principalement à travers leur forte productivité et leur richesse biologique (pôle de biodiversité) (Figure 3).

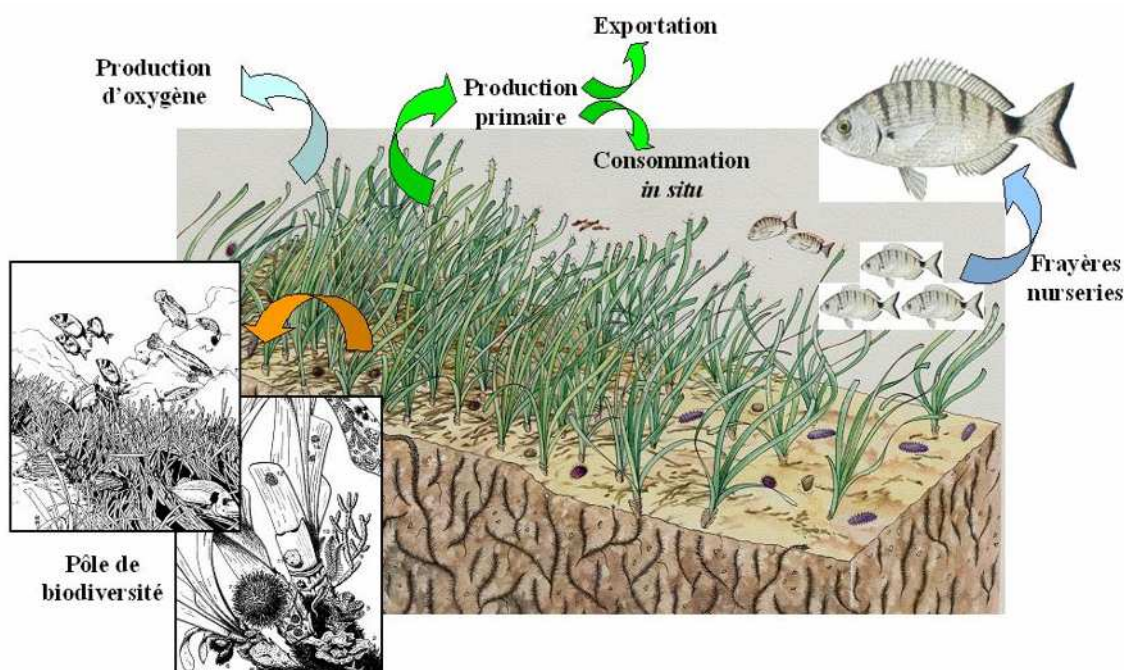


Figure 3. Rôle écologique de l'herbier à *Posidonia oceanica*. D'après J.G. Harmelin et M.A. Mateo inédit, in Pergent *et al.* (2005)

1.2.2.1. Production primaire

Comme l'ensemble des végétaux autotrophes, *Posidonia oceanica* est un producteur de matière organique, à la base de nombreux réseaux trophiques. La production de l'herbier correspond à la juxtaposition de la production primaire nette issue de la plante et celle de ses épiphytes (Boudouresque *et al.*, 2006). Les différentes contributions à la production primaire totale des herbiers est estimée entre 24 et 38 % pour la production foliaire et entre 20 et 60 %

pour la flore épiphyte (Le Point *et al.*, 1999). Toutefois, comme dans la plupart des écosystèmes composés de magnoliophytes marines, la part de la production primaire consommée directement par les herbivores est très faible (Figure 4). La majorité de cette production est (i) soit stockée (dans la matre), (ii) soit dégradée (par les détritivores) au niveau de la litière de l'herbier, (iii) soit exportée vers d'autres écosystèmes sous forme de feuilles mortes (Pergent *et al.*, 1994).

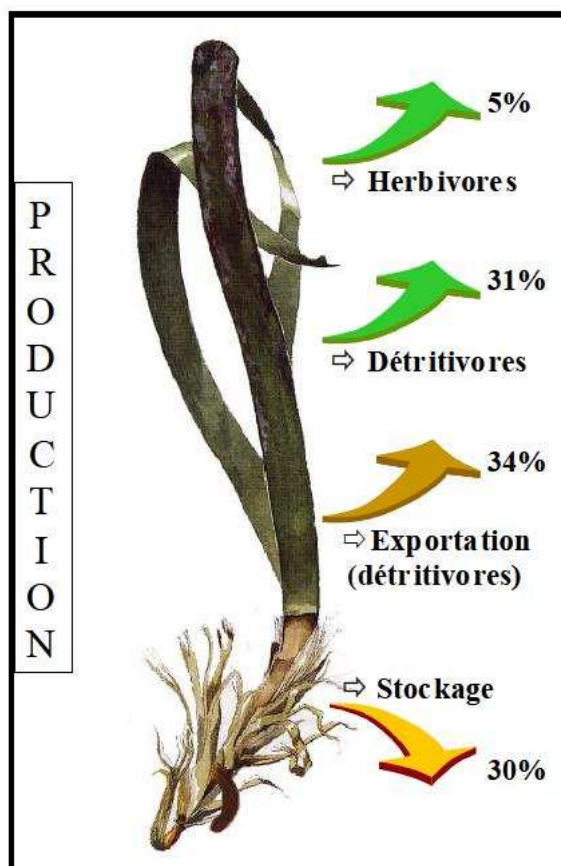


Figure 4. Devenir de la production primaire (en pourcentage de carbone) de *Posidonia oceanica*. D'après Pergent *et al.* (1997).

Une autre conséquence de la photosynthèse réalisée par les herbiers est la production d'oxygène. Même si, à la mort des feuilles, une partie de cet oxygène est consommée pour leur dégradation, la production d'oxygène peut-être considérable au niveau des faisceaux foliaires et des végétaux épiphytes associés, notamment à faible profondeur (Alcoverro *et al.*, 1998). Les quantités produites sont largement excédentaires et les herbiers à *Posidonia oceanica* constituent donc un facteur important de l'oxygénation de l'eau. Par exemple, à 10 m

de profondeur, en Corse, un mètre carré d'herbier dégage jusqu'à 14 litres d'oxygène par jour (Bay, 1978).

1.2.2.2. Pôle de biodiversité

De par leur importante production, les herbiers à *Posidonia oceanica* constituent la base de nombreux réseaux trophiques littoraux et fournissent une nourriture spécifique pour de nombreuses espèces animales (Mazzella *et al.*, 1992). De plus, la surface considérable offerte par les feuilles des herbiers constitue un support essentiel au développement d'une importante faune et flore benthiques fixées. Elle offre également un abri nécessaire à la survie des œufs et des larves d'un grand nombre d'organismes, traduisant un rôle d'écloserie et de nurserie. Elle assure, enfin, une protection vis à vis des prédateurs pour un grand nombre de petits organismes. Au total, plusieurs centaines d'espèces végétales et plusieurs milliers d'espèces animales peuplent ces herbiers, et font de ces prairies sous-marines un pôle de biodiversité unique (Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Francour, 1997).

Les herbiers sont un facteur essentiel de l'organisation des communautés animales et contrôlent la complexité de l'habitat, la diversité des espèces et l'abondance des invertébrés associés (Mazzella *et al.*, 1992). Toutes ces espèces vivent à la surface des feuilles (fixées ou vagiles), du sédiment, au voisinage des feuilles mais également au sein de la "matte" qui héberge une faune particulièrement riche et variée (Francour, 1997).

1.2.2.3. Rôle de bioindicateur

L'herbier à *Posidonia oceanica* constitue également un indicateur biologique performant de la qualité globale des eaux littorales. Tout particulièrement sensible à la pollution, à la turbidité, à la dessalure des eaux et à la plupart des agressions liées aux activités humaines (aménagement littoraux, restructurations côtières et rejets), il rend compte par sa présence, sa vitalité ou sa régression, de la qualité générale du milieu environnant (Bonhomme *et al.*, 2002).

L’empreinte de la qualité des eaux sur ces herbiers est permanente : elle ne dépend donc pas du sens du vent ou des courants au moment de l’observation. Ainsi, de nombreux paramètres sont à même d’être enregistrés par l’herbier :

- (i) Turbidité moyenne des eaux (matérialisée par la position de sa limite inférieure et par la densité des faisceaux).
- (ii) Courants et hydrodynamisme (matérialisés par les structures érosives qui affectent la matte).
- (iii) Taux de sédimentation (matérialisé par la vitesse de croissance des rhizomes et, en cas de déficit, par leur déchaussement).
- (iv) Polluants stables (concentration et mémorisation des teneurs au cours du temps).
- (v) Dessalure au débouché de fleuves côtiers ou de nappes phréatiques (matérialisée par la disparition de l’herbier).
- (vi) Stress (matérialisé en particulier par la teneur de la plante en acides phénoliques et enzymes de détoxification).
- (vii) Matière organique et nutriments (matérialisés par les épiphytes des feuilles et la composition chimique de la plante).

Toutefois, si plusieurs de ces descripteurs sont à ce jour bien appréhendés et fournissent des informations fiables et reproductibles, pour d’autres, en revanche, le décryptage se poursuit. Parmi les informations validées, et utilisées en routine depuis plusieurs années, il faut citer l’évaluation de la turbidité moyenne des eaux (Boudouresque *et al.*, 2006).

1.3. Menaces sur l’herbier

La principale menace qui guette les herbiers à *Posidonia oceanica* est bien l’être humain, par toutes les activités qu’il entreprend à l’intérieur ou à proximité de la mer. On peut citer parmi ces menaces :

- La modification des apports sédimentaires : qui a pour conséquence l’ensevelissement des points végétatifs ou le déchaussement des rhizomes et l’écroulement de l’herbier.
- Le passage des chaluts et ancrage des bateaux peut être destructif surtout dans le cas des herbiers déchaussés, ceci conduit à la formation d’intermattes.

- Les modifications du milieu par les différents aménagements du littoral. Dans le cas de l'aménagement des ports, pour lesquels les récifs barrières ont payé un lourd tribut (Bellan-Santini *et al.*, 1994).
- L'eutrophisation a pour conséquences l'apparition de blooms phytoplanctoniques et l'élévation du paramètre de turbidité et donc la diminution de la transparence de l'eau, qui engendre la remontée de la limite inférieure de l'herbier. L'eutrophisation contribue aussi à la surcharge en épiphytes sur les feuilles, la diminution de la photosynthèse et une chute accélérée des feuilles.
- La pollution : on observe en générale la régression de l'herbier aux alentours des grands centres industriels et portuaires.

Des causes naturelles peuvent également intervenir dans la régression des herbiers, comme le surpâturage par des herbivores tels que l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* ou le poisson *Sarpa salpa*. Certaines espèces introduites peuvent également entrer en compétition avec *Posidonia oceanica*, comme l'algue *Caulerpa taxifolia* (Ferrari, 2006).

Chapitre 2

Matériel et méthodes

2.1. Présentation du site d'étude

Le site considéré dans le cadre de ce travail est situé dans la baie de Bou Ismaïl, l'une des plus importantes de la côte algérienne. Elle couvre une superficie de 350 km², avec une ouverture de 40 km orientée sud-ouest - nord-est, soit 2° 54 E et 36° 48 N à 2° 24 E et 36° 38 N (Figure 5). Elle est délimitée à l'est par le massif d'Alger (Ras-Acrata) et par le Mont Chenoua à l'ouest. La baie de Bou Ismaïl est le réceptacle d'oueds à régime irrégulier, avec un apport de particules dissoutes et particulaires très important d'origine terrigène. Il s'agit, par ordre décroissant de leur débit annuel, des oueds Mazafran, Nador et Beni Messous (Boumaza, 2015).

L'agglomération de Bou Ismaïl, avec l'accroissement rapide de sa population, a abouti à une consommation grandissante des espaces et une prolifération des constructions anarchiques à la périphérie de son littoral (PNUE/PAM/CAR PAP, 2006). En outre, le littoral du front de mer de Bou Ismaïl a subi de nombreuses restructurations : perrés au-dessus de la plage et épis de protections perpendiculaires à la côte, qui ont entraîné des remblayages incessants et des apports de matériaux artificiels (Braïk, 1989). Ces aménagements littoraux ont eu, en partie, pour conséquence une érosion du littoral qui a entraîné la disparition de la plage, malgré les différents épis installés (Braïk, 1989 ; PNUE/PAM/CAR PAP, 2006).

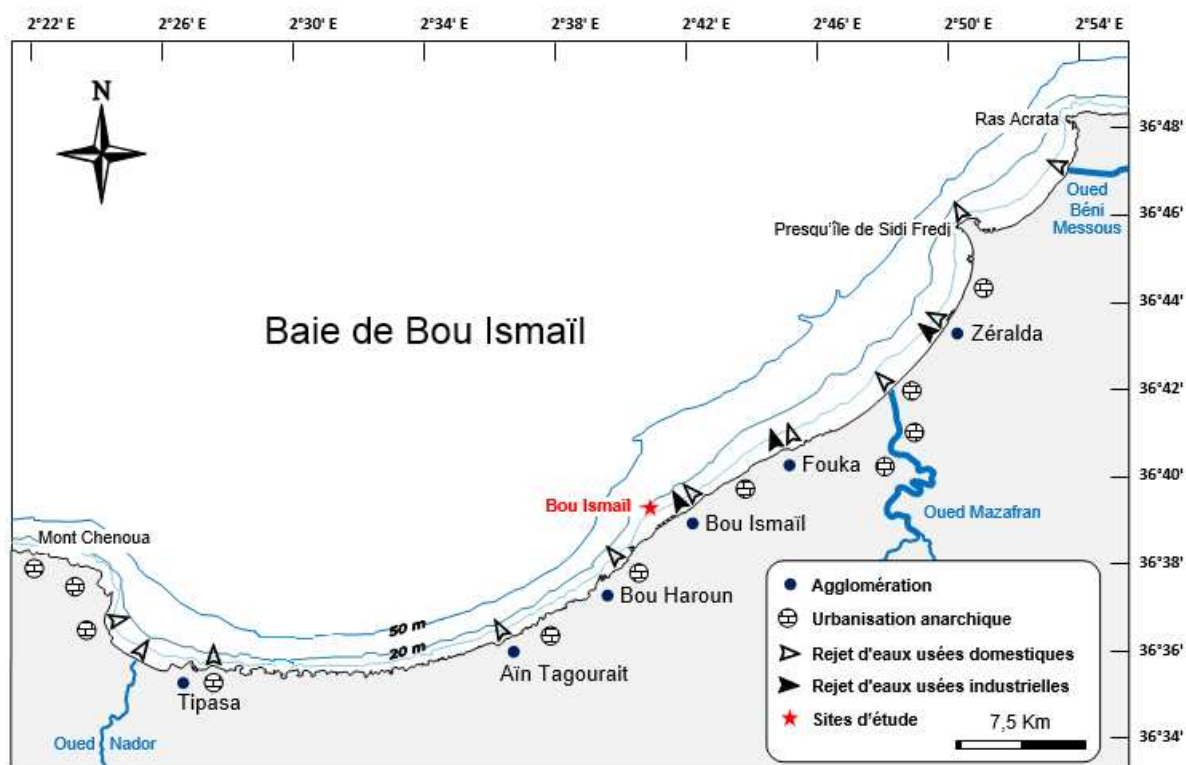


Figure 5. Présentation de la baie de Bou Ismaïl et du site d'étude. D'après Bachari-Houma (2009), modifiée par Boumaza (2015).

Les effluents urbains et industriels sont directement rejetés en mer, sans traitement préalable, à travers de multiples déversoirs sous-marins, soit un volume estimé à 4000 m^3 par jour (PNUE/PAM/MED POL/OMS, 2004). Ils charrient des quantités importantes de matières organiques, détergents et colorants industriels qui atténuent la transparence de l'eau et réduisent ainsi la pénétration de la lumière (Braïk, 1989 ; PNUE/PAM/CAR PAP, 2006 ; Boumaza, 2015).

L'herbier à *Posidonia oceanica* présente la principale communauté benthique de l'étage infralittoral de Bou Ismaïl. Il s'étend entre 5 et 22 m de profondeur en moyenne (Braïk, 1989). Dans la partie orientale, l'installation de l'herbier de *Posidonia oceanica* est contrariée par la présence du platier rocheux, sans sédiment, en bordure de littoral et son extension vers le large est stoppée par les remaniements sous-marins auxquels est soumise cette zone de forte pente. Le caractère très accidenté des fonds est lié à la présence d'affleurements rocheux nombreux et à la présence de chenaux et de cuvettes d'intermattes qui traversent l'herbier à *Posidonia oceanica*. Ces structures érosives témoignent de la présence d'un important hydrodynamisme (Braïk, 1989). La limite supérieure de l'herbier à

Posidonia oceanica où le balisage a été mis en place est située à environ 300 m de la côte (Figure 6).

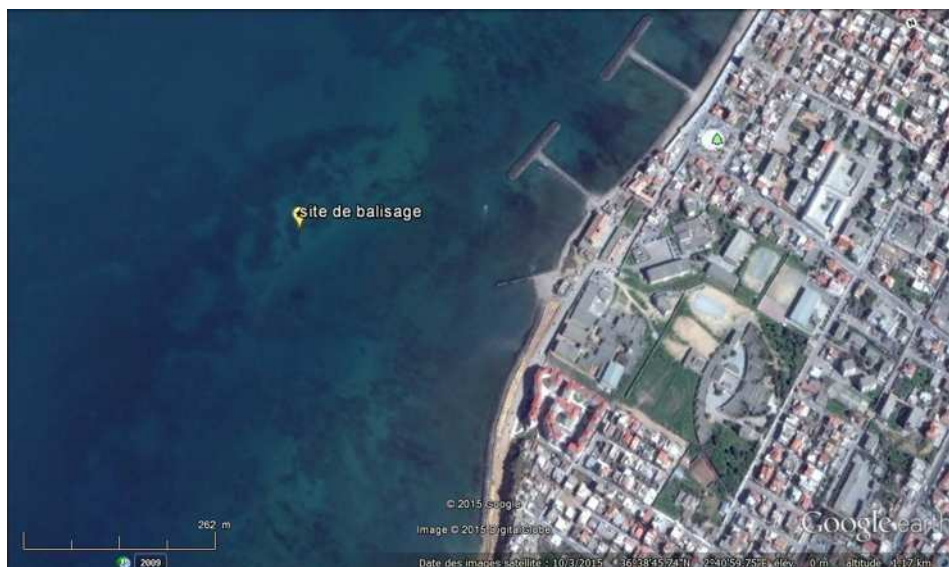


Figure 6. Localisation du balisage de la limite supérieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* de Bou Ismail.

2.2. Matériel pour la mise en place du balisage

La mise en place du balisage a nécessité :

- Une Embarcation
- Un Equipement de plongée
- Un GPS de type garmine trex 10
- 10 balises en béton de forme tronconique, percées de trois orifices pour leur ancrage sur le fond. Leur poids est d'environ 20 kg, avec un diamètre de 28 cm à la base et une hauteur de 19 cm (Figure 7).
- 30 piquets biseautés de 50 cm de long et 12 mm de diamètre pour l'ancrage des balises.
- 10 flotteurs numérotés fixés aux balises pour faciliter leur repérage.
- 10 plaques en PVC numérotées fixées à chaque balise avec une corde.
- 3 piquets-photos biseautés et marqués à 50 cm de hauteur pour les balises 1, 5 et 10.
- Une massette.
- Un seau qui sert de parachute pour faciliter le déplacement des balises dans l'eau.
- Un compas de relèvements.
- Un profondimètre digital.

- Un pentadécamètre.
- Deux appareils-photos numériques étanches.



Figure 7. Photo montrant le matériel utilisé pour la mise en place du balisage.

2.3. Calendrier de mise en place du balisage

La mise en place du balisage (Figure 8) a nécessité une équipe de 4 plongeurs en scaphandre autonome et toutes les opérations ont été effectuées à partir des embarcations Baba-Aroudj et Aurès et ce, les 1^{er}, 6 et 7 juillet 2015. Un total de 5 plongées a été effectué, par mer généralement calme à peu agitée.

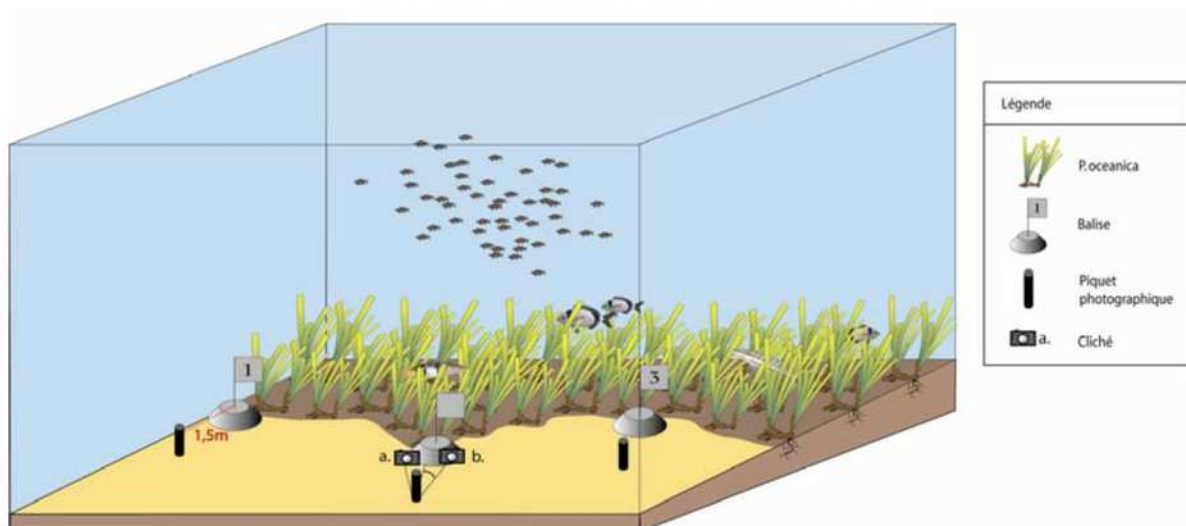


Figure 8. Figure illustrant la mise en place du balisage. D'après Pergent *et al.* (2005).

Le 01/07/2015

- Prospection et repérage de la limite supérieure depuis la surface.
- Mise à l'eau des balises.
- Première plongée : Ancrage de la balise 1 et des piquets qui serviront de repère pour l'ancrage futur des balises. Ils sont placés tous les 5 m le long d'une portion de la limite supérieure.
- Deuxième plongée : Ancrage des balises à chaque piquet dans l'ordre, estimation de la densité en amont des balises 1, 2 et 3 et prélèvement de faisceaux de *Posidonia oceanica*.
- Enfin, depuis la surface, il a été procédé à la localisation de la balise 5 à l'aide d'un GPS.

Le 06/07/2015

- Fixation des flotteurs et des plaques en PVC numérotées sur les balises, comptage de la densité pour les balises restantes, estimation du recouvrement et mesure de la profondeur à la base de chaque balise.

Le 07/07/2015

- Relèvements de balise à balise et de piquet-photo à balise. Mesure des distances balise à balise. Prélèvement de sédiment au niveau des piquets-photos 1, 5 et 10. Description de la limite balisée et prise des photos et film vidéo.

2.4. Relevés et prélèvements *in situ*

2.4.1. Position des balises

Les relèvements des axes « balise à balise » et « piquet-photo à balise » sont réalisés à l'aide d'un compas immergeable à 5° de précision. Les distances de balise à balise et de balise à piquet-photo sont également mesurées, à l'aide d'un pentadécamètre, afin de valider le positionnement de ceux-ci. L'ensemble de ces mesures permet de réaliser un plan de balisage (Figure 9). Ces mesures d'orientation et de distance permettent, lors des suivis ultérieurs du balisage, de repérer et de remettre en place la ou les balises qui auraient éventuellement été déplacées par les ancrages ou l'hydrodynamisme.

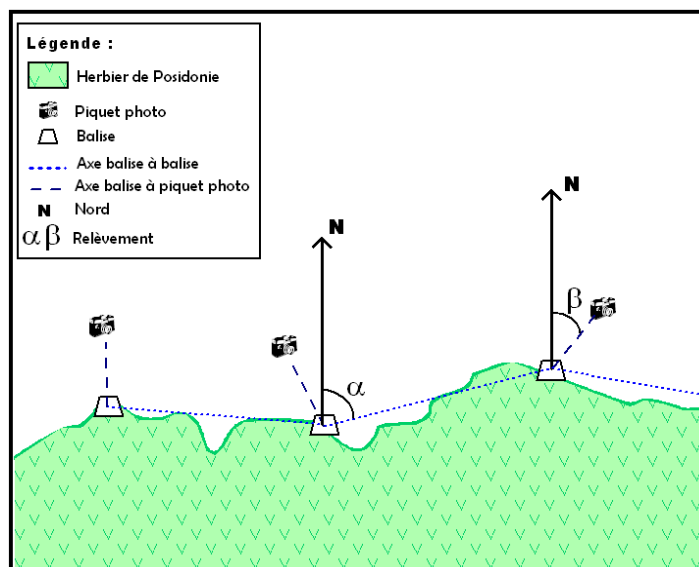


Figure 9. Schéma illustrant le protocole de mesure des relèvements en degrés par rapport au Nord des positions des balises et des piquets-photos (Charbonnel *et al.*, 1995).

2.4.2. Profondeur des balises

La profondeur de chaque balise est relevée à l'aide d'un profondimètre digital placé à la base de chaque balise.

2.4.3. Réalisation de photographies

Deux photos par balise sont réalisées : une photo décentrée à droite de la balise et une autre décentrée à gauche de la balise. Les photos serviront d'éléments de référence et permettront de vérifier si une modification de la limite est intervenue. Des prises de vues horizontales et verticales sont réalisées à l'aide d'une caméra vidéo numérique (Go Pro) de façon à disposer d'une représentation la plus précise possible de la structure de la limite balisée (Figure 10).



Figure 10. Photos montrant une prise de vue horizontale (a) et une prise de vue verticale (b) de la balise 8.

2.4.4. Estimation du recouvrement

Le recouvrement correspond au pourcentage de la surface du fond couvert par *Posidonia oceanica*. Le recouvrement varie naturellement en fonction de la profondeur, de l'hydrodynamisme et du taux de sédimentation. Il apporte des informations sur la transparence de l'eau (aménagements littoraux, rejets d'eaux polluées, etc...) et les dommages qui résultent des actions mécaniques qui le font diminuer (Ganteaume *et al.*, 2005). Il est à noter que le paramètre recouvrement doit être utilisé avec une grande prudence, car il peut être entaché d'imprécisions liées notamment à l'appréciation de l'observateur et la saison où s'effectue la mesure (variation de la longueur des feuilles) (Pergent et Pergent-Martini, 1994).

Le pourcentage de recouvrement est estimé en disposant en aval de chaque balise un cadre de 1 m de côté subdivisé en 4 carrés (Figure 11). Trois mesures sont effectuées pour chacune des balises. Les valeurs moyennes obtenues sont ensuite confrontées à l'échelle d'évaluation du recouvrement établie par Charbonnel *et al.* (2000) (Tableau 1).



Figure 11. Photo montrant la méthode de mesure du recouvrement en amont de chaque balise.

Tableau1. Echelle de classification du recouvrement de l'herbier à *Posidonia oceanica*. D'après Charbonnel *et al.* (2000).

Limite supérieure	Interprétation
Inférieur à 40 %	Faible recouvrement
De 40 % à 80 %	Recouvrement moyen
Supérieur à 80 %	Fort recouvrement

2.4.5. Mesure de la densité

La densité correspond au nombre de faisceaux de feuilles de *Posidonia oceanica* présents par mètre carré. Ce paramètre constitue un outil clé pour estimer l'abondance des Magnoliophytes marines et est utilisé de façon routinière dans le cadre des réseaux de surveillance (Boudouresque *et al.*, 2007). Il apporte des informations sur les conditions environnementales, en particulier la transparence de l'eau, mais également sur l'enrichissement en nutriments du milieu (Pergent-Martini *et al.*, 2005). La densité diminue naturellement en fonction de la profondeur. Elle varie également sur de courtes distances, au sein d'une station donnée (Ganteaume *et al.*, 2005).

La densité est estimée par des comptages *in situ* à l'intérieur d'un cadre de 20 cm de côté déposé au contact de la balise (Pergent *et al.*, 2005) (Figure 12). Pour chaque balise, 3 comptages sont réalisés. Ces mesures permettent de classer l'herbier selon la grille de lecture établie par (Pergent *et al.*, 1995) (Tableau 2).



Figure 12. Comptage *in situ* de la densité avec un carré de 20 cm de côté.

Tableau 2. Classification de l'herbier en fonction de la profondeur (DA = densité anormale, ODSI = densité subnormale inférieure, DN = densité normale, DSS = densité subnormale supérieure. D'après Pergent *et al.* (1995).

Prof	DA DSI	DN	DSS	Prof	DA DSI	DN	DSS
1	← 822 ↔	934↔1158	→	21	← 48↔	160↔384	→
2	← 646 ↔	758↔982	→	22	← 37↔	149↔373	→
3	←543 ↔	655↔879	→	23	← 25↔	137↔361	→
4	←470 ↔	782↔806	→	24	← 14↔	126↔350	→
5	←413 ↔	525↔749	→	25	← 4↔	116↔340	→
6	←367↔	479↔703	→	26	↔	106↔330	→

2.4.6. Les prélèvements

Vingt faisceaux orthotropes sont prélevés au niveau de l'ensemble de la portion balisée et de manière aléatoire (Figure 13a). Ils sont ensuite conservés dans de l'eau formolée à 10 % jusqu'à leur étude au laboratoire. Les rhizomes serviront à la fois aux mesures de biométrie foliaire et à l'estimation de la biomasse.

Les prélèvements de sédiments superficiels sont effectués à l'aide d'une boîte cylindrique sans fond, enveloppée à l'extrémité par un sac en plastique et ce, au niveau des piquet-photos 1, 5 et 10 (Figure 13b).

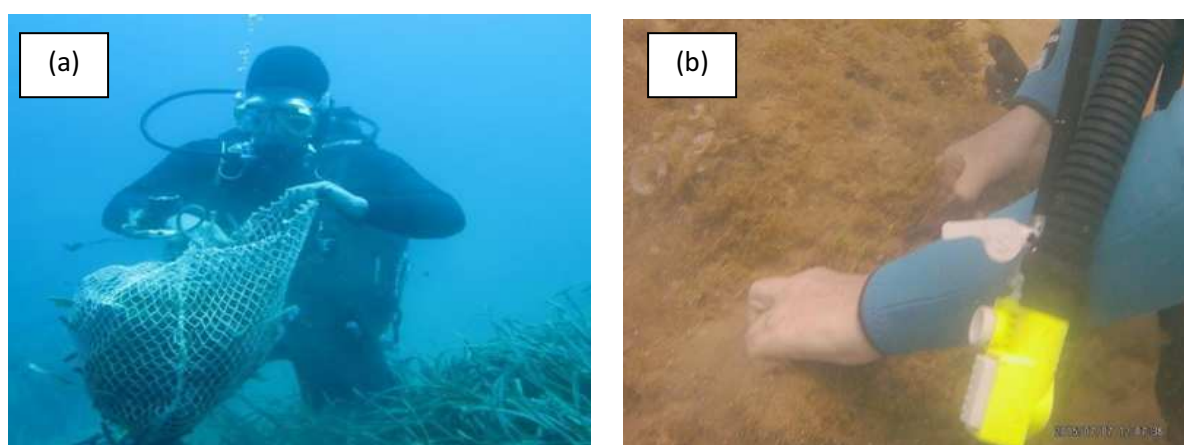


Figure 13. Récolte des faisceaux de *Posidonia oceanica* (a) et de sédiment (b).

2.5. Traitement des échantillons au laboratoire

2.5.1. Biométrie foliaire

Les paramètres de biométrie foliaire sont sujets aux phénomènes de périodicité, leur étude permet de décrire de manière synthétique l'état de vitalité d'un herbier (Pergent *et al.*, 1995). Certains paramètres sont facilement déterminés en laboratoire grâce à la mesure directe au moyen de règles (longueur et largeur des feuilles, longueur de la portion brune,...) ; d'autres sont extrapolés sur la base de ceux mesurés en laboratoire (coefficient A, nombre moyen de feuilles par faisceau,...).

Les faisceaux foliaires détachés du rhizome sont décortiqués en respectant l'ordre distique d'insertion des feuilles. En effet, les caractéristiques morphologiques et l'âge des feuilles d'un faisceau diffèrent selon la position de la feuille dans le faisceau. Les feuilles se forment au centre et sont d'autant plus âgées qu'elles sont situées vers l'extérieur ; de plus l'acquisition d'un pétiole par les feuilles ne se fait qu'avec leur vieillissement. Les feuilles sont donc séparées selon le protocole de Giraud (1979), puis dénombrées (Figure 14):

- feuilles adultes, pourvues d'un pétiole (supérieure ou égale à 2 mm), ayant une longueur supérieure à 50 mm ;
- feuilles intermédiaires, dépourvues de pétiole ou dont le pétiole est inférieur ou égal à 2 mm, ayant une longueur supérieure à 50 mm;
- feuilles juvéniles, dépourvues de pétiole et d'une longueur n'excédant pas 50 mm. Ces dernières ne sont pas prises en compte dans ce travail.

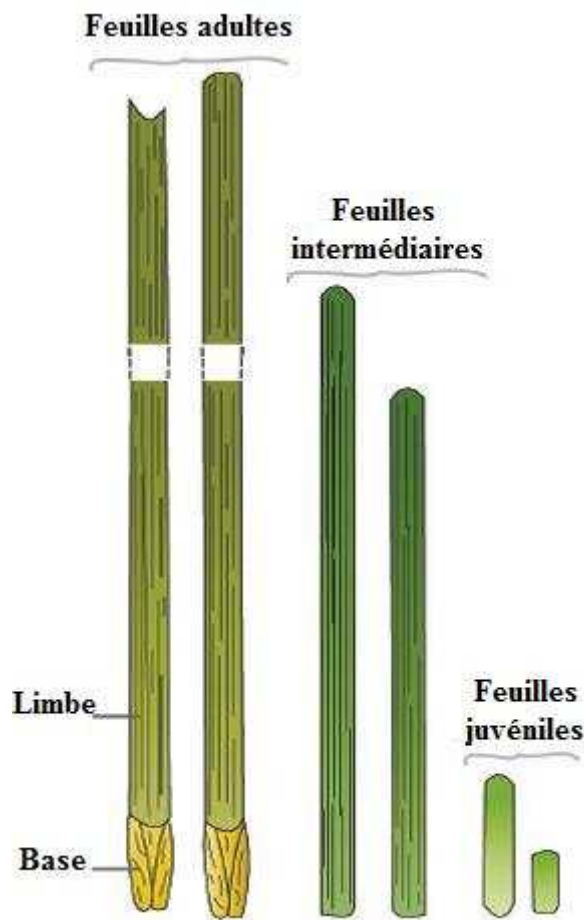


Figure 14. Types de feuilles de *Posidonia oceanica* en fonction de leur âge. D'après Pergent *et al.* (2008).

Les paramètres biométriques mesurés sont la longueur et la largeur de chaque feuille ainsi que la longueur de la base, les paramètres suivants sont ensuite déterminés :

- Nombre moyen de feuilles adultes et intermédiaires par faisceau ;
- Longueur et largeur moyennes des feuilles adultes et intermédiaires par faisceau ;
- Surface foliaire par faisceau pour chaque catégorie de feuille, exprimée en cm^2 ;
- Coefficient A qui traduit le pourcentage de feuilles qui ne possèdent plus d'apex. Il est en mesure de nous informer sur la pression exercée par les herbivores sur *Posidonia oceanica*. En effet, les marques de broutage laissées par certains d'entre eux (le téléostéen *Sarpa salpa* ou l'oursin *Paracentrotus lividus*) sont caractéristiques. L'altération de l'apex des feuilles par des épiphytes animaux ou végétaux est un autre facteur exprimé par ce coefficient. Par ailleurs, l'état des apex peut également refléter l'action de l'hydrodynamisme du site (Boumaza, 2015).

2.5.2. Biomasse des feuilles et de leurs épiphytes

Les feuilles de *Posidonia oceanica* constituent un substrat pour de nombreux épiphytes : Fucophycées, Rhodobiontes, Bryozoaires, Hydraires, etc. (Boudouresque *et al.*, 2006). Leur biomasse présente un cycle saisonnier, avec un maximum de mars à septembre (Thélin et Bedhomme, 1983). Les feuilles sont raclées, sur leurs deux faces, au moyen d'une lame de rasoir, pour 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° C, puis pesés sur une balance (KERN Als) de précision.

2.5.3. Analyse granulométrique

Tous les échantillons prélevés sont soumis au même protocole. Le sédiment est d'abord séché à l'étuve à 70° C pendant 48 h. Il est ensuite débarrassé des éventuelles restes macroscopiques de Posidonie (rhizomes, feuilles mortes, écailles,...) et une fraction de l'échantillon (200 g environ) est passée sous l'eau dans un tamis de 63 µm, afin d'éliminer la fraction pélitique.

La fraction restante est séchée à l'étuve, puis pesée et sa granulométrie est réalisée mécaniquement pendant 20 min sur des tamis de norme AFNOR et de diamètre 0,063 ; 0,125 ; 0,25 ; 0,5 ; 1 ; 2 et 4 mm. Chaque refus de tamis est pesé et exprimé en pourcentage du poids total. Les courbes des fréquences et fréquences cumulées sont construites avec en abscisse la dimension des diamètres des tamis avec une échelle logarithmique (Diamètre en Φ -Log2 (diamètre en mm)) et en ordonnée, les fréquences. La courbe cumulative permet de mesurer graphiquement la dimension des particules correspondant à un pourcentage donné et ainsi de calculer divers paramètres granulométriques (Tableau 3).

Tableau 3. Calcul des paramètres granulométriques (Folk et Ward, 1957). Ils sont exprimés en unité (ϕ). L'échelle ϕ est une unité de mesure définie par la relation suivante : $\phi = \log_2(D)$ (D : dimension des grains en mm).

Paramètre	Formule
Taille moyenne	$TM = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})/3$
Indice de tri	$S_0 = [(\Phi_{84} - \Phi_{16})/4] + [(\Phi_{95} - \Phi_5)/6,6]$
Indice de symétrie de la distribution	$SKi = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$

- La taille moyenne des sédiments (TM), permet de positionner globalement l'échantillon sur l'échelle des dimensions des sédiments. Les différentes limites utilisées par Folk et Ward (1957) sont données dans le tableau 4.

Tableau 4. Les différentes limites de la taille moyenne (TM) (Folk, 1957).

TM < -6	: galet
-6 < TM < -2	: granule
-2 < TM < -1	: sable très grossier
-1 < TM < 0	: sable grossier
0 < TM < 1	: sable moyen
1 < TM < 2	: sable fin
2 < TM < 3	: sable très fin
3 < TM < 3.98	: vase

- L'indice de symétrie de la distribution (SKi), indique un étalement de la courbe granulométrique plus ou moins important vers les sédiments fins ou les sédiments grossiers. Les limites et la nomenclature utilisées par Folk et Ward (1957) sont données dans le tableau 5.

Tableau 5. Les limites et la nomenclature de l'indice de symétrie (Ski) (Folk et Ward, 1957).

-1 < SKi < -0.3	: asymétrie très négative
-0.3 < SKi < -0.1	: asymétrie négative
-0.1 < SKi < 0.1	: asymétrie
0.1 < SKi < 0.3	: asymétrie positive
0.3 < SKi < 1	: asymétrie très positive

- L'indice de tri de Folk (S_0), donne une idée de l'étalement de la courbe autour de son grain moyen. Les différents stades du triage utilisés par Folk (1954) sont donnés dans le tableau 6.

Tableau 6. Les différents stades de l'indice de tri (S_0) (Folk, 1954).

$S_0 < 0.35$: très bien trié
$0.4 < S_0 < 0.5$: bien trié
$0.5 < S_0 < 0.7$: modérément bien trié
$0.7 < S_0 < 1$: modérément trié
$1 < S_0 < 2$: mal trié
$2 < S_0 < 4$: très mal trié
$4 < S_0$: extrêmement mal trié

2.6. Analyses statistiques des données

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées dans l'environnement R (R Development Core Team, 2011). Les tests statistiques utilisés et listés ci-après sont réalisés au seuil de signification de 5 %.

Lorsque les distributions des données sont normales et que les variances sont égales, les comparaisons de moyennes sont réalisées à l'aide du test de Student. Il a été mis en œuvre pour comparer nos résultats avec ceux obtenus par Boumaza *et al.* (2014) dans le même site, du point de vue des paramètres biométriques, de la densité et du recouvrement de l'herbier. Lorsque ce test paramétrique ne peut être mis en œuvre, un test non paramétrique est utilisé, en l'occurrence le test de Wilcoxon (Sokal et Rohlf, 1981).

2.7. Méthode de cartographie

Dans le but de passer de l'image brute relevée sur Google Earth à une micro-cartographie précise du site balisé, différentes étapes ont été réalisées à l'aide du logiciel MapInfo. Elles se résument comme suit :

- 1- Repérer le site d'étude sur Google Earth et prendre quatre points de repères pour le calage ultérieur sur MapInfo.
- 2- Utiliser les coordonnées géographiques connues de la balise N° 5, les relèvements effectués et les distances entre les balises, pour positionner les neuf autres balises ainsi que chaque piquet-photo.
- 3- Tracer la limite en reliant les points représentant les balises afin d'obtenir un plan de balisage.

- 4- Affiner le tracé de la limite de l'herbier à l'aide de la description visuelle effectuée *in-situ* et du film vidéo.
- 5- Compléter le schéma à l'aide des outils de travail du MapInfo (échelle, cadre, nord...) pour obtenir la carte finale.

Chapitre 3

Résultats et discussion

3.1. Caractérisation du balisage

3.1.1. Localisation du balisage

Dans le but de localiser le point de balisage avec précision, une image satellitaire de la zone d'étude est téléchargée à partir de Google Earth. Le trait de côte a été redessiné et la carte géo-référencée à l'aide du logiciel MapInfo. Le balisage de l'herbier, mis en place en juillet 2015, est installé à environ 300 m des points de rejets des effluents de l'agglomération de la ville Bou Ismail. Les coordonnées géographiques du balisage en système WGS 84 sont : 36°38'51.6" N et 2°40'51.1" E, et correspondent plus précisément à celles de la balise N°5 (Figure 15). Trois points de repères sont également figurés sur la carte : les épis du front de mer de la ville de Bou-Ismaïl, le port de Khemisti et le port de Bou Haroun (Figure 15).

3.1.2. Profondeur des balises

La profondeur moyenne du balisage a été estimée à partir des profondeurs mesurées à la base de chacune des balises (Tableau 7). Une régularité de la profondeur de la portion de la limite supérieure balisée est notée, avec des valeurs comprises entre 4.2 m et 4.8 m, soit une profondeur moyenne de 4.5 m.

Tableau 7. Profondeurs mesurées pour chaque balise.

Balise	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Profondeur (m)	4.5	4.7	4.5	4.3	4.8	4.5	4.7	4.2	4.3	4.5

Les profondeurs des balises seront systématiquement mesurées lors des suivis ultérieurs, de manière à quantifier les éventuels mouvements sédimentaires (apport ou départ) dans ce secteur.

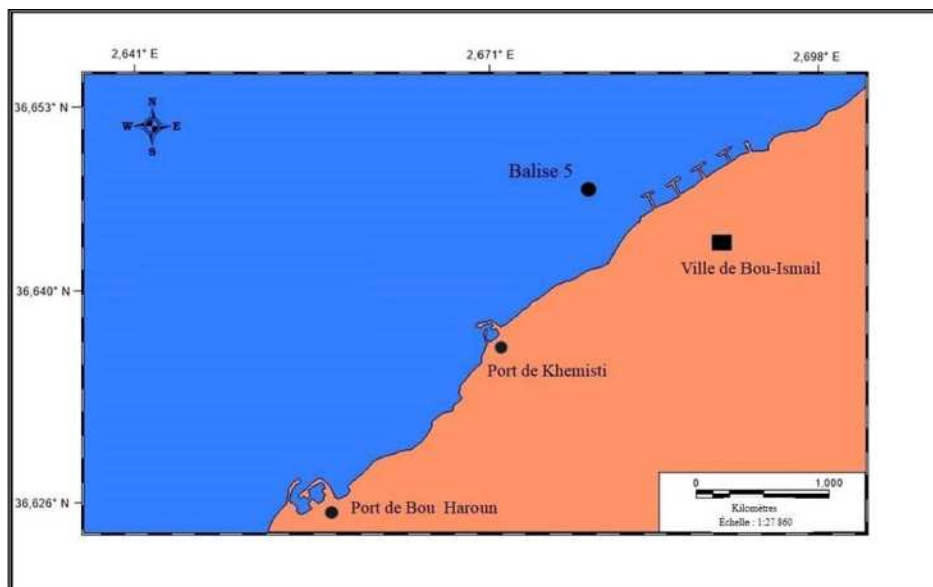


Figure 15. Localisation du site de balisage.

3.1.3. Position et orientation des balises

Les orientations des balises, de balise à balise d'une part et de balise à piquet-photo d'autre part, sont présentées dans le Tableau 8. Par ailleurs, notons que les relèvements magnétiques peuvent être confondus avec les relèvements géographiques, car la déclinaison magnétique en 2015 dans notre site d'étude n'est que de $0^{\circ}27'$ W. Grâce à ces relevés et avec les distances de balise à balise et de balise à piquet photo (1.5 m), nous avons pu établir un plan du balisage (Figure 16).

Tableau 8. Relèvements de balise à balise, de piquet-photo à balise et les distances de balise à balise.

Balise à balise	Distance (m)	Relèvement	Piquet-photo à balise	Relèvement
B2 à B1	5.1	280°	P1 à B1	210°
B3 à B2	5.2	290°	P2 à B2	225°
B4 à B3	5.8	300°	P3 à B3	85°
B5 à B4	5.5	250°	P4 à B4	155°
B6 à B5	5.1	230°	P5 à B5	145°
B7 à B6	4.8	225°	P6 à B6	140°
B8 à B7	5.5	220°	P7 à B7	120°
B9 à B8	4.9	190°	P8 à B8	165°
B10 à B9	5.6	155°	P9 à B9	80°
			P10 à B10	140°

Ces angles seront mesurés lors des prochains suivis, de manière à repositionner les balises qui se seraient déplacées.

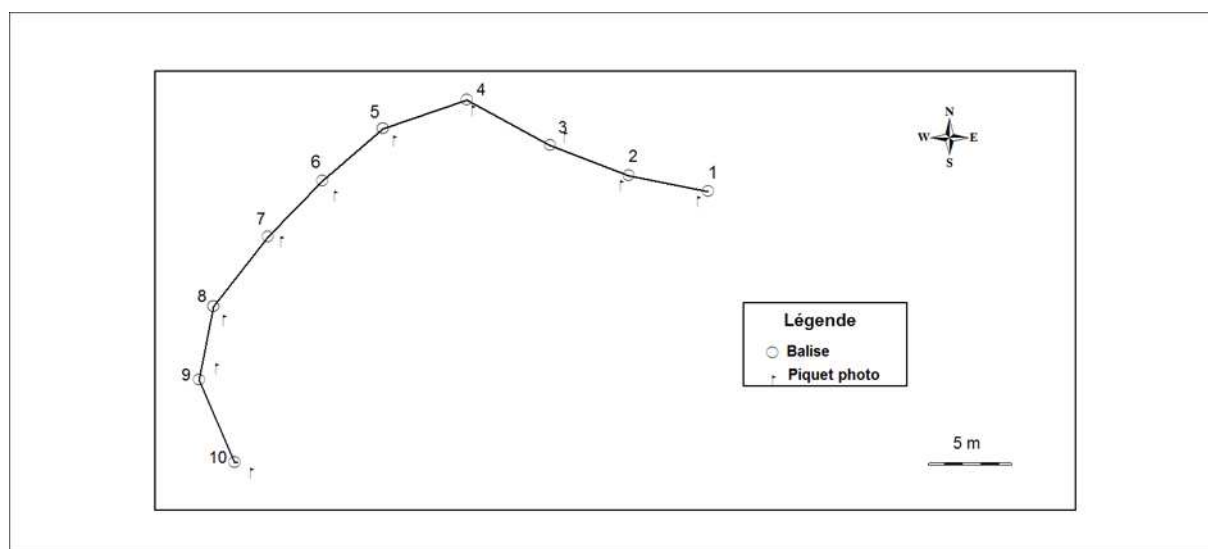


Figure 16. Plan de balisage de la limite supérieure.

3.1.4. Description de la limite au niveau du balisage

L'herbier de la zone balisée se développe sur substrat dur, avec des plages de sable non colonisées par l'herbier. D'ailleurs, la présence de roches sous-jacentes n'a pas permis d'enfoncer totalement les piquets d'encrage des balises. L'herbier se présente sous l'aspect d'une succession de petits îlots et de touffes de *Posidonia oceanica* répartis de manière clairsemée sur le fond (Figure 17). Les rhizomes orthotropes sont déchaussés et donc fragilisés par le manque de sédiments, particulièrement au niveau des balises N°1 et N°8. En avant de cette limite, une étendue de matte morte, recouverte par une couche de sédiment sablo-vaseux colonisé par des macroalgues (*Padina pavonica*, *Ulva sp ...*) est observée en avant des balises N°2, N°8 et N°10 (Figures 18 et 20).

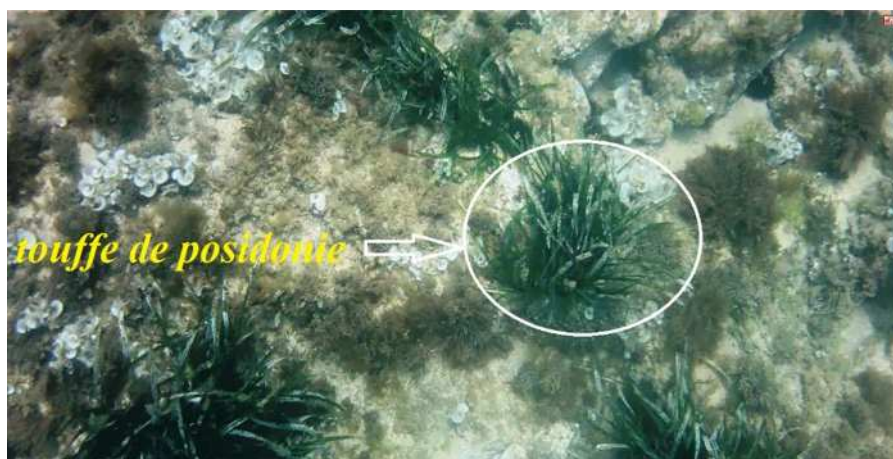


Figure 17. Photo présentant une touffe d'herbier à *Posidonia oceanica*.



Figure 18. Photo montrant de la matte morte recouverte par des macroalgues.

La présence de nombreuses *ripple-marks* (formes côtières caractéristiques d'un fond sableux, ce sont des rides induites par le mouvement de va et vient des vagues) sur le sédiment (Figure 19) et le relief particulier de l'herbier à proximité du secteur balisé (feuilles cassées, rhizomes déchaussés) laissent supposer la présence d'un important hydrodynamisme dans le secteur.



Figure 19. Photo montrant la présence de *ripple-marks* en avant des balises.

Cette distribution en patchiness pourrait constituer une réponse aux variations locales des ressources disponibles, telle que la concentration en nutriments – suite aux rejets d'effluents – et/ou à la nature hétérogène du substrat – sableux à sablo-rocheux – qui caractérisent cette station (Boumaza, 1995). Cette structure en patchiness des herbiers, soumis à des pressions anthropiques, a été largement rapportée dans la littérature (Panayotidis *et al.*, 1981 ; Balestri *et al.*, 2003 ; Vasapollo et Gambi, 2012). Par ailleurs, la nature hétérogène du substrat et la diminution de la vitalité de l'herbier favorise l'action mécanique liée à l'hydrodynamisme qui règne dans ce secteur ; ce qui entraîne le creusement de dépressions intermattes comme rapporté par Braïk (1989).

Le plan de balisage, les observations effectuées *in situ* et le film vidéo réalisé, ont permis de cartographier la limite supérieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* (Figure 20). Il est à noter que l'herbier est discontinu en allant de la balise N°1 à N°6 et est plus ou moins continu de la balise N°7 à la N° 10, avec un recouvrement important.

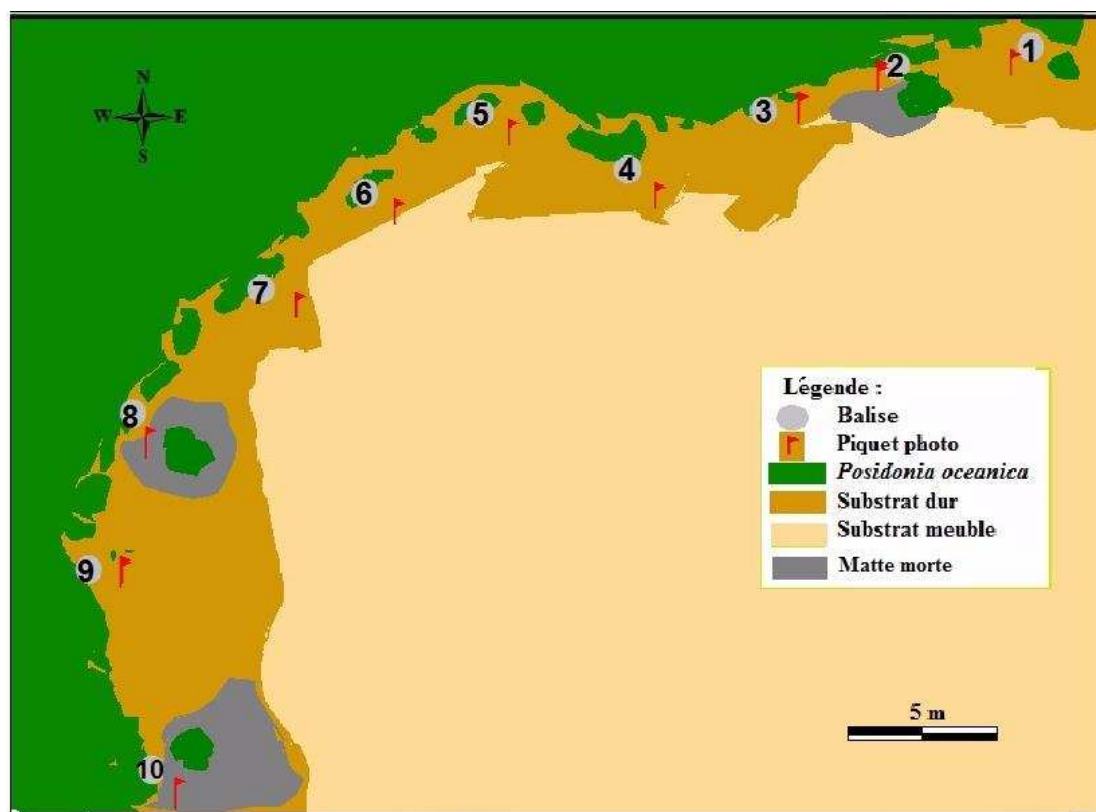


Figure 20. Cartographie du balisage de la limite supérieure de l'herbier de Bou Ismaïl.

3.1.5. Prise et description des photographies

Une série de photographie a été réalisé au niveau de chacune des balises à partir des piquets-photos (Figure 21). Ces photos constituent des éléments de référence pour les suivis ultérieurs de l'herbier à *Posidonia oceanica* au niveau de la zone balisée. Elles constituent des preuves visuelles de l'évolution de la dynamique de l'herbier et facilitent également l'interprétation des données relevées en plongée.

Balise N°1: la balise est positionnée au contact de la limite de l'herbier, on note la présence d'un îlot en avant de la balise et quelques touffes de Posidonies à sa gauche. Les rhizomes de *Posidonia oceanica* présentent un déchaussement important.

Balise N°2 : la balise est placée au contact d'un îlot de *Posidonia oceanica*. Les rhizomes présentent un enfouissement important au niveau de cette balise. Une étendue de matte morte recouverte par des algues est observée en avant de cette balise. En arrière de cette dernière, l'herbier est discontinu, formé par un ensemble de touffes de Posidonies.

Balise N°3 : la balise est placée à droite d'un îlot de Posidonies. Au niveau de cette balise l'herbier présente le recouvrement le plus faible.

Balises 04 et 05 : les balises sont positionnées au contact d'îlots de Posidonies. L'herbier au contact de ces deux balises se trouve à 1 m de la plage de sable localisé en avant de cette limite, et présente pratiquement les mêmes caractéristiques, avec des rhizomes enfouis dans le sable. On constate une légère élévation du fond sous forme de petite colline.

Balise N°6 : la balise est positionnée entre deux îlots de Posidonies et située à environ 30 cm de la plage de sable.

Balise N°7 : la balise est positionnée à 10 cm de la limite supérieure de l'herbier, marquant la rupture du substrat dur et le début du substrat meuble.

Balise 08 : la balise est positionnée à 15 cm de la limite supérieure de l'herbier, avec la présence d'un îlot en face de cette dernière. Les rhizomes présentent un déchaussement important. On note aussi la présence de matte morte en avant de la balise sur une longueur de 2 m environ.

Balise 09 : la balise est placée à environ 20 cm de la limite, en avant de laquelle on note la présence d'un îlot de 25 cm de diamètre environ. Les rhizomes sont caractérisés par un déchaussement important et l'on a noté la présence de rhizomes plagiotropes. Quelques touffes de Posidonies dispersées sont également observées en avant de la balise.

Balise N°10 : la balise se trouve au contact de la limite. On note la présence d'un îlot de Posidonies et quelques faisceaux isolés en avant. Une étendue de matte morte est observée sur une distance de 3 m en avant de la balise, colonisée par *Caulerpa cylindracea*.



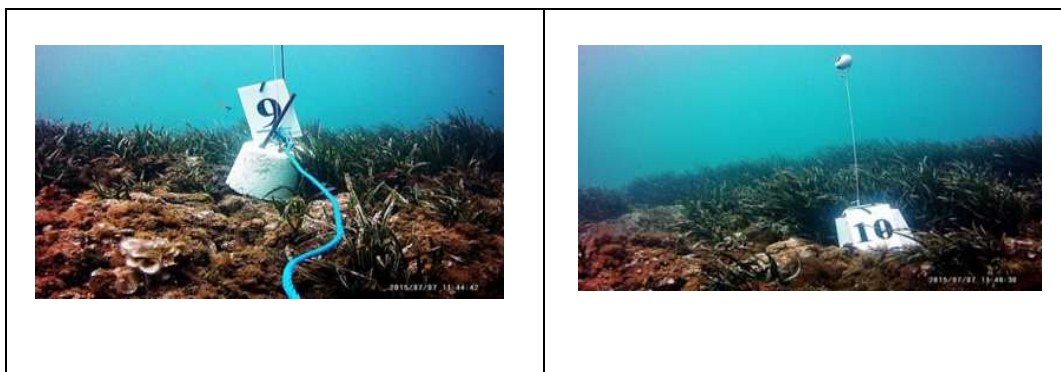


Figure 21. Herbier à *Posidonia oceanica* au niveau des balises 1 à 10 de la limite supérieure de l'herbier de Bou Ismaïl.

3.2. Paramètres de la vitalité de l'herbier

3.2.1. Recouvrement de l'herbier

La valeur moyenne du pourcentage de recouvrement estimée en amont de chaque balise (Tableau 9) est de l'ordre de 55 % ; ce qui correspond à un recouvrement moyen selon la classification de Charbonnel *et al.* (2000). Rappelons que ce paramètre dépend essentiellement de l'appréciation de l'observateur et de la saison durant laquelle les mesures sont effectuées, ce qui peut biaiser l'estimation du recouvrement selon Charbonnel *et al.* (2000).

Le recouvrement est très variable d'une balise à l'autre et les valeurs oscillent entre 14 % (Balise N°4) et 74 % (Balise N°9), correspondant respectivement à un faible recouvrement et à un recouvrement moyen, selon Charbonnel *et al.* (2000).

Tableau 9. Estimation moyenne du recouvrement de l'herbier le long du balisage.

Balise	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Recouvrement (%)	60	39	14	60	52	35	50	73	74	73

3.2.2. Densité de l'herbier

La densité moyenne de l'herbier a été estimée à partir de 3 comptages réalisés en arrière de chaque balise. Les moyennes obtenues au niveau de chaque balise sont représentées dans le tableau 10. Les valeurs moyennes fluctuent d'une balise à une autre, allant d'un

minimum de 120 faisceaux/m² au niveau de la balise N°8 à un maximum de 175 faisceaux/m² pour la balise N°2.

Tableau 10. Densités moyennes de l'herbier le long du balisage.

Balise	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Densité (faisceaux/ m ²)	148	172	163	127	163	162	150	120	113	147

Selon la classification de Pergent *et al.* (1995), l'herbier correspond à une densité anormale avec une valeur moyenne de 146 ± 19.1 faisceaux/m². La comparaison de ce résultat avec celui obtenu en 2002 par Boumaza *et al.* (2014), soit 311 ± 84.7 faisceaux/m², montre une différence significative ($p < 0.05$).

La classification de cet herbier, durant ces deux périodes, selon la grille de lecture proposée par PNUE-PAM-CAR/ASP (2011), indique que l'herbier de Bou Ismaïl, en limite supérieure, correspond à un herbier dit de densité «mauvaise». Par conséquent, et toujours selon cette grille de lecture, les densités mesurées à Bou Ismaïl traduisent une réduction de la vitalité de l'herbier à *Posidonia oceanica* au niveau de ce site, ce qui constitue un signal d'alarme quant aux perturbations engendrées par les rejets d'effluents.

3.2.3. Paramètres biométriques

Les résultats obtenus sont comparés à ceux enregistrés en 2002 afin de déterminer l'évolution des différents paramètres biométriques.

3.2.3.1. Nombre de feuilles par faisceau

Le nombre moyen de feuilles adultes par faisceau enregistré en juillet 2015 (3.1 ± 0.6) est significativement inférieur ($p < 0.05$) à celui enregistré en 2002 (4.4 ± 0.7). Tandis que celui des feuilles intermédiaires ne montre pas de différence significative entre les deux années ($p > 0.05$). Les valeurs enregistrées sont de 3.1 ± 0.6 en 2015 et de 2.8 ± 0.7 en 2002.

En effet, l'augmentation de la turbidité au sein du site de Bou Ismaïl, suite aux divers rejets, est à même d'entraîner ce type de réaction chez *Posidonia oceanica*. Selon Collier *et al.* (2012), la chute des feuilles âgées et le maintien des jeunes feuilles, constituent une stratégie d'adaptation des magnoliophytes marines à la diminution de la lumière, puisque ces dernières ont une capacité photosynthétique plus importante, car moins épiphytées et plus riches en pigments chlorophylliens.

3.2.3.2. Longueur des feuilles

La longueur moyenne des feuilles adultes est de 198.2 ± 56.9 mm, cette valeur est significativement inférieure à celle obtenue en 2002 (493 ± 103.6 mm). Inversement, la longueur des feuilles intermédiaires ne présente pas de différence entre les années 2002 et 2015 ($p > 0.05$). Et les valeurs enregistrées sont de 222.8 ± 55.9 mm pour l'année 2015 et de 205.9 ± 21.3 mm pour l'année 2002.

La diminution de la longueur des feuilles adultes suite à l'augmentation de la turbidité ou à l'enrichissement est souvent rapportée dans la littérature (Maggi *et al.*, 1977 ; Ben Brahim *et al.*, 2010 ; Boumaza, 2015). D'autre part, l'augmentation du coefficient A enregistrée au niveau de cette station en 2015 (§3.2.3.4), est à même de réduire de façon drastique la longueur des feuilles de *Posidonia oceanica* (Ruiz et Romero, 2003).

3.2.3.3. Largeur des feuilles

La largeur moyenne des feuilles adultes est de 9.5 ± 0.8 mm pour 2015 et de 10.9 ± 0.3 mm pour 2002, ces valeurs sont significativement différentes ($p < 0.05$). Inversement, la largeur moyenne annuelle des feuilles intermédiaires ne montre pas de différence significative ($P > 0.05$). Les valeurs enregistrées sont de 8.8 ± 0.9 mm pour 2015 et de 11.4 ± 5.8 mm pour 2002.

En effet, une diminution de la largeur des feuilles est mise en évidence lorsque *Posidonia oceanica* est à proximité d'installations portuaires (Fernandez-Torquemada *et al.*, 2008) ou sous l'influence des rejets d'effluents (Charbonnel *et al.*, 1995).

3.2.3.4. Coefficient A de Giraud

Le coefficient A moyen des feuilles adultes enregistré en 2015 est de 100 % ; il montre une différence significative avec celui enregistré en 2002 (93 %). Il en est de même pour celui des feuilles intermédiaires qui est de 46 % en 2015 et de 10 % en 2002, et ces valeurs sont significativement différentes ($p < 0.05$).

Cette augmentation du coefficient A pourrait s'expliquer par l'augmentation de l'indice épiphytique, tout au moins pour les feuilles intermédiaires, en 2015 (§ 3.2.3.6), entraînant un broutage important par les herbivores. La même tendance a déjà été signalée par Cancemi *et al.* (2003), Leoni *et al.* (2006) et Boumaza (2015).

Par ailleurs, l'augmentation du broutage enregistré en 2015 est probablement liée à la présence d'une population importante d'oursins *Paracentrotus lividus* comparativement à 2002 (Boumaza, com. pers.). Cette même tendance a été rapportée par Tomas *et al.* (2005).

3.2.3.5. Surface foliaire

La surface foliaire moyenne des feuilles adultes est de 61.1 ± 21.2 cm²/faisceau en 2015 et de 239.3 ± 71.8 cm²/faisceau en 2002, ce qui représente une différence significative ($p < 0.05$). Tandis que celle des feuilles intermédiaires ne présente pas de différence significative entre 2015 (64 ± 27 cm²/faisceau) et 2002 (70 ± 52 cm²/faisceau).

La diminution de la longueur, de la largeur et du nombre de feuille adultes contribue à la réduction de la surface foliaire moyenne des feuilles adultes. En effet, cette réduction est rapportée par de nombreux auteurs, au niveau des sites où *Posidonia oceanica* est soumise aux rejets d'émissaires (Maggi *et al.*, 1977 ; Boumaza, 2015). Ces rejets engendrent une diminution de la transparence de l'eau et une augmentation de la concentration en nutriments qui affectent la production primaire de *Posidonia oceanica* (Pergent *et al.*, 1995 ; Leoni *et al.*, 2006).

3.2.3.6. Indice épiphytique

L'indice épiphytique des feuilles adultes enregistré en 2015 est de 1.3 ± 1.3 contre 1.2 ± 0.7 en 2002, ces deux valeurs ne présentent pas de différence significative ($p > 0.05$).

Tandis que l'indice épiphytique des feuilles intermédiaires enregistré en 2015 est de 0.5 ± 0.4 contre 0.1 ± 0.2 en 2002, ces deux valeurs sont significativement différentes ($p < 0.05$).

	2002	2015		2002	2015	
Nombre de feuilles/faisceau	4.4 ± 0.7	3.1 ± 0.6	***	2.8 ± 0.7	3.1 ± 0.6	ns
Longueur des feuilles (mm)	493 ± 103.6	198.2 ± 56.9	***	205.9 ± 21.3	222.8 ± 55.9	ns

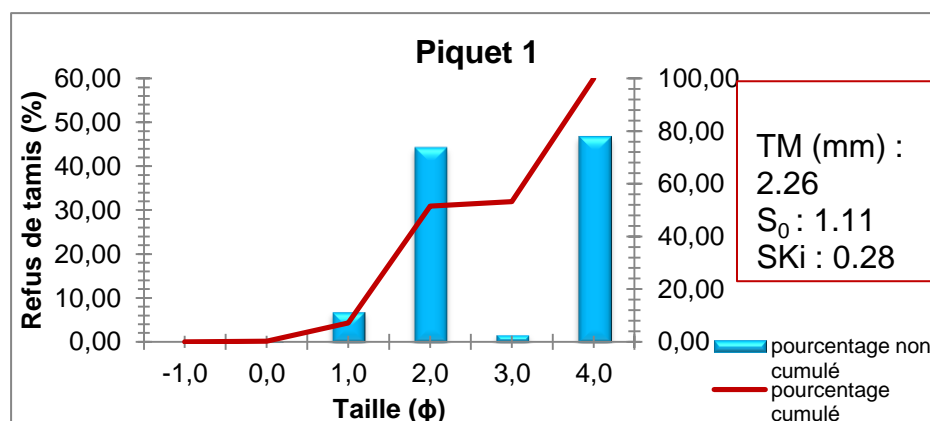
L'augmentation de l'indice épiphytique des feuilles intermédiaires durant la saison estivale est également enregistrée dans différents herbiers soumis à des apports importants en nutriments (Delgado *et al.*, 1999 ; Cancemi *et al.*, 2003) ou à un enrichissement artificiel (Leoni *et al.*, 2007). L'été apparaît donc comme une saison sensible durant laquelle l'enrichissement entraîne un développement important des épiphytes (Leoni *et al.*, 2006).

Largeur des feuilles (mm)	10.9 ± 0.3	9.5 ± 0.8	***	11.4 ± 5.8	8.8 ± 0.9	ns
Coefficient A(%)	93.18	100		10.46	56.06	
Surface foliaire (cm ² /faisceau)	239.3 ± 71.8	61.1 ± 21.2	***	70.05 ± 52.3	64 ± 27.2	ns
Indice épiphytique foliaire (IEF)	1.2 ± 0.7	1.3 ± 1.3	Ns	0.1 ± 0.2	0.5 ± 0.4	***

Tableau 11. Tableau comparatif des paramètres biométriques calculés entre 2015 et 2002 (Bou Ismail) (***) <0.001 (hautement significatif) ; ns > 0.05 (non significatif).

3.3. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique du sédiment prélevé en avant du balisage - au niveau des piquets-photo N°1, N°5 et N°10 – a permis de tracer les courbes granulométriques et de calculer les indices granulométriques (Figure 22).



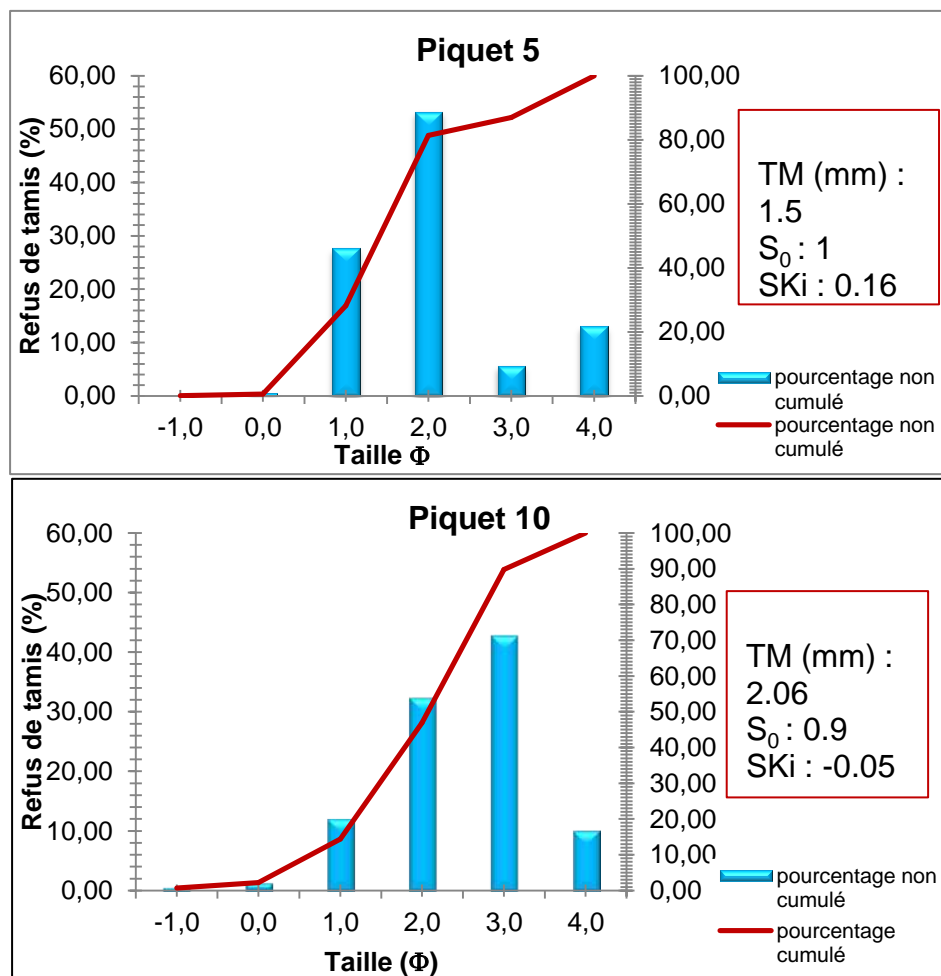


Figure 22. Caractérisation du sédiment (refus de tamis et indices granulométriques) en aval de la limite supérieure.

Le sédiment prélevé au niveau du piquet N°1 est moins grossier que celui du piquet N° 5 avec respectivement des tailles moyennes de 2.26 Phi (0.21 mm) et 1.5 Phi (0.35 mm). Il en est de même pour le piquet N°10 où la taille moyenne des grains est plus importante que celle du piquet N°1 (Phi : 2.06, correspondant à 0.24 mm).

En ce qui concerne le Tri (S_0), celui-ci s'améliore très légèrement à mesure que l'on s'éloigne du piquet N°1. En effet, les grains des sédiments du piquet N°10 sont relativement mieux triés que ceux des piquets N°1 et N°5. Cependant, et d'une manière générale, l'utilisation de l'échelle de Folk (1954) fait état d'un environnement ayant un tri granulométrique modéré à mauvais.

Enfin, ce qui concerne l'indice d'asymétrie, celui-ci, indique que les particules grossières dominant au niveau des piquets N°1 et N°5, tandis que pour le piquet N°10, une

symétrie est constatée- les particules fines et grossières se présentent dans les mêmes proportions -, selon l'échelle de Folk et Ward (1957).

En conclusion, ces résultats montrent que l'hydrodynamisme marin tendrait à diminuer très légèrement vers le piquet N°10. En effet, le sédiment prélevé au niveau du piquet N°10 correspond à de la matte morte, qui a la particularité d'amortir l'hydrodynamisme. Néanmoins, l'énergie marine, d'une manière générale, est assez conséquente au niveau de cette zone d'étude, confirmée par la présence assez marquée des particules grossières, généralement d'origine biologique (fractions de structures calcaires animales). En effet, le forçage hydrodynamique régule cette zone d'étude, située en mer ouverte - front de mer de la ville de Bou Ismail- et plus particulièrement à faible profondeur.

Conclusion générale

La valeur de l'herbier à *Posidonia oceanica* en tant qu'indicateur biologique de la qualité globale des eaux littorales est clairement démontrée et prouve l'intérêt d'une surveillance à long terme de l'évolution de son état (Charbonnel *et al.*, 2001). Les herbiers

témoignent, par leur vitalité, leur progression ou leur régression, de la qualité globale des eaux et du milieu environnant.

La mise en place d'un balisage au niveau de la limite supérieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* de Bou Ismaïl en juillet 2015, constitue la première étape permettant de disposer d'un état de référence. Un suivi régulier pourra apporter des informations sur son évolution à courts et moyens termes. De plus, le suivi de ce site soumis à de fortes pressions anthropiques permettra de fournir des éléments de réponse aux élus et gestionnaires des espaces naturels quant à l'évaluation de l'impact sur l'herbier de tel ou tel autre aménagement.

Les résultats obtenus relatifs la vitalité de cet herbier au niveau de sa limite supérieure viennent conforter ceux déjà obtenus par Semroud *et al.* (2015) au niveau de sa limite inférieure, à savoir un caractère régressif. De plus, la comparaison de nos résultats avec ceux publiés par Boumaza *et al.* (2014) indique également le caractère régressif de cet herbier au niveau de sa limite supérieure, depuis 2002.

La diminution de la surface foliaire - paramètre intégrateur de l'ensemble des paramètres biométriques, traduit, d'une part, les conditions environnementales, à savoir la proximité de cette station par rapport aux rejets des effluents, et d'autre part, les facteurs locaux comme l'hydrodynamisme ou la pression des herbivores (e.g. oursin *Paracentrotus lividus*).

La diminution de la surface foliaire et de la densité indique une perturbation du système probablement de type enrichissement en nutriments et/ou une diminution d'irradiance (Leoni, 2006 ; Boumaza, 2015). Par ailleurs, l'augmentation de l'indice épiphytique et du coefficient A, en plus des paramètres cités précédemment, indiqueraient un enrichissement en nutriments selon Leoni (2006). Quant à la présence de matte morte en avant de la limite supérieure, celle-ci pourrait dénoter une diminution de l'irradiance, avec ou sans enrichissement en nutriments, comme le rapporte ce même auteur.

Enfin, cette étude a contribué, d'une part, à élargir le réseau de surveillance des herbiers à *Posidonia oceanica* déjà existants en Algérie, et d'autre part, elle permettra de

constater et d'évaluer une éventuelle restauration naturelle de cet herbier, suite à l'amélioration de la qualité du milieu attendue, après la mise en service d'une station de traitement et d'épuration des eaux usées (STEP) prévue pour 2016, selon l'Office National de l'Assainissement (*in* Boumaza, 2015).

Références bibliographiques

Alcoverro, T., Manzanera, M., Romero, J. (1998). Seasonal and age-dependent variability of *Posidonia oceanica* (L.) Delile photosynthetic parameters. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 230 (1), pp. 1-13.

Augier, H., Boudouresque, C.F. (1970). Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc national). VI. Le récif-barrière de Posidonies. *Bull. 176 Mus. Hist. nat. Marseille*. Vol. 30, pp. 221-228.

Bachari-Houma, F. (2009). *Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire*. Thèse de Doctorat : Sciences de l'univers et Environnement. Univ. Val de Marne, Paris XII, pp. 1- 272.

Balestri, E., Cinelli, F., Lardicci, C. (2003). Spatial variation in *Posidonia oceanica* structural, morphological and dynamic features in a northwestern Mediterranean coastal area: a multi-scale analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 250, pp. 51-60.

Bay, D. (1978). *Etude in situ de la production primaire d'un herbier de Posidonie (Posidonia oceanica (L.) Delile) de la baie de Calvi, Corse*. Thèse Univ. Liège, Belg, pp.1-251.

Beaumont, N. et al. (2007). Identification, definition and quantification of goods and services provided by marine biodiversity: implications for the ecosystem approach. *Mar. Pollut. Bull.*, Vol. 54, pp. 253-265.

Bedhomme, A.L. (1981). *Phénologie et production des feuilles de Posidonia oceanica (L) Delile dans la baie de Port-Cros : problèmes méthodologiques*. D.E.A. Océan. Bio., Univ, Aix-Marseille II, 64 p.

Bellan-Santini, D., Lacaze, J-C., Poizat, C. (1994). Les biocénoses marines et littorales de méditerranée, synthèse, menaces et perspectives. 19^e éd. Paris : Muséum National d'Histoire Naturelle, pp.1-246.

Ben Brahim, M. et al. (2010). Variability in the structure of epiphytic assemblages of *Posidonia oceanica* in relation to human interferences in the Gulf of Gabes, Tunisia. *Mar. Environ. Res.* Vol. 70, pp. 411-421.

Bonhomme, P. et al. (2002). Système de surveillance de l'herbier de Posidonie sur le littoral des Maures dans le cadre de l'observatoire marin du SIVOM du littoral des Maures : résultats du premier suivi (2002) - Rapport final. Contrat SIVOM du littoral des Maures & GIS Posidonie. GIS Posidonie publ., Fr. 167 p.

Boudouresque, C.F., Meinesz, A. (1982). Découverte de l'herbier de Posidonie. *Cah. Parc nation. Port-Cros*, Fr, Vol. 4, pp. 1-79.

Boudouresque, C.F., Charbonel, E., Meinesz, A. (2000). A monitoring network based on the seagrass *Posidonia oceanica* in the northwestern mediterranean sea. *Biol. Mar. Medit.*, 7(2), pp. 328-331.

Boudouresque, C.F. et al. (2006). Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. RAMOGE publ., Monaco, pp. 1-202.

Boudouresque, C.F. et al. (2007). Monitoring methods for *Posidonia oceanica* seagrass meadows in Provence and the French Riviera. *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park*, Vol. 22, pp. 17-38.

Boumaza, S. et al. (2014). Effects of urban effluents on spatial structure, morphology and total phenols of *Posidonia oceanica*: Comparison with a reference site. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol. 457, pp. 113-119.

Boumaza, S. (2015). *Caractérisation d'un herbier à Posidonia oceanica soumis à des rejets d'effluents*. Thèse de doctorat : Ecologie Marine. U.S.T.H.B, Alger , pp. 1-108.

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

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

Charbonnel, E. et al. (1995). Le Réseau de surveillance posidonies de la région Provence-Alpes, Côte d'Azur. Rapport 1995 (4ème phase 2ème année.) Région PACA/GIS Posidonies/CQEL 13/CQEL 83/DQECV/CQEL06. *GIS Posidonie Publ.*, Marseille, Fr, pp. 1-193.

Charbonnel, E. et al. (2000). Le Réseau de surveillance Posidonies de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Première partie : Présentation et guide méthodologique. Année 2000. Région PACA / Agence de l'Eau RMC /GIS Posidonie / CQEL 13 / CQEL 83 / Conseil Général 06. *GIS Posidonie publ.*, Marseille, pp. 1-76.

Charbonnel, E. et al. (2001). Le Réseau de Surveillance Posidonie de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur : résultats du suivi 2001. Région PACA/ Agence de l'Eau RMC/GIS Posidonie/CQEL 13/CQEL 83/Conseil General 06. *GIS Posidonie publ.*, Marseille, Fr. pp.1-119.

Collier, C.J., Waycott, M., Giraldo-Ospina, A. (2012). Responses of four Indo-West Pacific seagrass species to shading. *Mar. Pollut. Bull*, Vol. 65, pp.342-354.

Delgado, O. et al. (1999). Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean bay: seagrass decline after organic loading cessation. *Oceanol. Acta.*, 22(1), pp. 109-117.

Doney, S.C. et al. (2012). Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Annu. Rev. Mar. Sci.*, Vol 4, pp. 41-427.

Fernández-Torquemada, Y. et al. (2008). Descriptors from *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows in coastal waters of Valencia, Spain, in the context of the EU Water Framework Directive. *ICES. J. Mar. Sci.*, Vol.65, pp. 1-6.

Ferrari, B. (2006). *Etude Synécologique de Posidonia oceanica et de Sarpa salpa le long de la côte rocheuse des Albères (Pyrénées-Orientales, France) ; influence d'une aire marine protégée.* Thèse Doctorat EPHE, Université de Perpignan, pp. 1-289 + annexes 26 p.

Folk, R.L. (1954). The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *J. Geology*, Vol. 62, pp. 344-359.

Folk, R.L., Ward, W.C. (1957). Brazos river bar: a study in significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.*, Vol 27, pp.3-26.

Folk, R.L., Ward, W.C. (1976). Brazos river bar: a study in significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.*, Vol 27, pp. 3-26.

Francour, P. (1997). Fish assemblages of *Posidonia oceanica* beds at Port Cros (France, NW Mediterranean): Assessment of composition and long-term fluctuations by visual census. *Mar. Ecol., PSZNI* 18(2), pp. 157-173.

Ganteaume, A. et al (2005). Impact de l'ancrage des bateaux de plaisance sur la prairie à *Posidonia oceanica* dans le Parc national de Port-Cros (Méditerranée nord-occidentale), *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park*, Fr., Vol. 21, pp. 147- 162.

Giraud, G. (1979). Sur une méthode de mesure et de comptage des structures foliaires de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Bull. Muséum. Hist. Nat. Marseille*, Fr., Vol. 39, pp. 33-39.

Gobert, S., Cambridge, M.L., Velimirov, B. (2006). Biology of *Posidonia*. In D. Larkum, R.J. Orth, C.M. Duarte (Eds), "Seagrasses Biology. Ecology and. Conservation", Springer Publ., New York, pp. 387-408.

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

Grimes, S. (2012). Stratégie nationale de gestion intégrée des zones côtières en Algérie. CAR/PAP: Centre d'Activités Régionales pour le Programme d'Actions Prioritaires, Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de la Ville, 148 p.

Harmelin, J.G. (1993). Invitation sous l'écume. *Parc national Port-Cros, Cahier découverte*, Vol. 10, pp.1-83.

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

Kuo, J., Den Hartog, C. (2001). Seagrass taxonomy and identification key. *In: Short, Coles, Short edits. Global seagrass research methods*. Elsevier publ., Amsterdam, pp. 31-58.

Kuo, J., Den Hartog, C. (2006). Seagrass Morphology, Anatomy, and Ultrastructure. *In: A. W. D. Larkum et al. (eds.), Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*, pp. 51–87.

Leoni, V. et al. (2006). Morphological responses of *Posidonia oceanica* to experimental nutrient enrichment of the canopy water. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* Vol. 339, pp. 1-14.

Leoni, V. et al. (2007). Physiological responses of *Posidonia oceanica* to experimental nutrient enrichment of the canopy water. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol. 349, pp. 73-83.

Maggi, P., Greut, Y., Lassus, P. (1977). Influence de la pollution urbaine sur la vitalité des herbiers à Posidonies dans le golf de Giens. *Sci. Pêche marit.*, Fr., Vol. 269, pp. 5-13.

Med PAN SUD-PN Taza. (2011). Synthèse des études et travaux de recherche sur la zone marine de Taza-MedPAN SUD-PNTaza 2009-2012, Algérie, 33 p.

Molinier, R., Picard, J. (1952). Recherches sur les herbiers de Phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Ann. Inst. océanogr.* 27(3), pp. 157-234.

Panayotidis, P., Boudouresque, C.F., Marcot-Coqueugniot, J. (1981). Microstructure de l'herbier de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Bot. Mar.*, 24(3), pp.115-124.

Pasqualini, V. (1997). *Caractérisation des peuplements et types de fonds le long du littoral corse (Méditerranée, France)*. Thèse de doctorat : Ecologie Marine. Université de Corse Faculté des Sciences et Techniques, Corse, pp. 1-196.

Pasqualini, V. et al. (1998). Mapping of *Posidonia oceanica* using aerial photographs and side scan sonar: Application of the island of Corsica (France). *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, Vol 47, pp. 359-367.

Pergent, G. et al. (1994). Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 106, pp. 139-146.

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* Vol. 54, pp. 3- 27.

Pergent, G., Rico-Raimondino, V., Pergent-Martini, C. (1997). Fate of primary production in *Posidonia oceanica* meadows of the Mediterranean. *Aquat. Bot.* Vol. 59, pp. 307-321.

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

Pergent, G. et al. (2008). Competition between the invasive macrophyte *Caulerpa taxifolia* and the seagrass *Posidonia oceanica*: contrasting strategies. *BMC Ecol.*, Vol. 8, 20 p.

Pergent, G. et al. (2012). Les herbiers de Magnoliophytes marines de Méditerranée : résilience et contribution à l'atténuation des changements climatiques. Gland, Suisse et Malaga, Espagne : IUCN. 80 p.

Pergent, G., Bertrand, M.-C. (2013). Le Réseau de Surveillance Posidonie, toujours copié, jamais égalé. GIS Posidonie : plus de 30 ans au service de la protection et de la gestion du milieu marin. Le Diréach L. et Boudouresque C.F. eds., *GIS Posidonie publ.*, Marseille, pp. 25 – 29.

Pergent-Martini, C. et al. (2005). Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: Use and application. *Ecol. Indic.*, Vol. 5, pp. 213-230.

PNUE/PAM/MED POL/OMS. (2004). Stations d'épuration des eaux usées municipales dans les villes côtières de la Méditerranée (II). *MAP Tech. Rep. Ser.*, 157, UNEP, Athènes, 90 p.

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

Ruiz, J.M., Romero, J. (2003). Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Pollut. Bull.*, Vol. 46, pp. 1523-1533.

Semroud, R. et al. (1998). Surveillance de l'herbier à *Posidonia oceanica* au large de la Grande plage d'El-Djamila (Baie de Bou Ismaïl, Algérie). *Convention DGE/ ISMAL*, Alger, pp.1-43.

Semroud, R. et al. (2015). Setting up of monitoring systems for *Posidonia oceanica* meadows in the Bou Ismaïl bay (Algeria, southern Mediterranean Sea) Proceeding of the 4th Mediterranean Seagrass Workshop, Oristano, 124 p.

Short, F.T., Coles, R., Pergent-Martini, C. (2001). Global Seagrass distribution. In : Short F.T. et R. Coles edit., *Seagrass Methods books*. Elsevier publ., Amsterdam, pp .5-30.

Sokal, R., Rohlf, F.J. (1981). Biometry. Freeman and Company, San Francisco, CA, 930 p.

Tarmoul, F. (2010). *Contribution à l'étude de l'impact de la pollution chimique sur l'herbier à Posidonie dans la baie de Bou Ismaïl.* Mém. Ing. : Sciences de la mer, ENSSMAL , pp. 1-77 + annexes.

Thelin, I., Bedhomme, A.L. (1983). Biomasse des épiphytes des feuilles de *Posidonia oceanica* dans un herbier superficiel. *Rapp. P.V. Réunion. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.* 28 (3), pp. 125-126.

Tomas, F., Romero, J., Turon, X. (2005). Experimental evidence that intra-specific competition in seagrass meadows reduces reproductive potential in the sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck). *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park, Fr.*, Vol. 21, pp. 147- 162.

Vasapollo, C., Gambi, M.C. (2012). Spatio-temporal variability in *Posidonia oceanica* seagrass meadows of the Western Mediterranean: shoot density and plant features. *Aquat. Biol.*, Vol 16, pp. 163-175.

Annexes

Phénologie

Station	B I Limite supérieure
Date de prélèvement	01/07/2015
Profondeur	4.8

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
1		120	9
Feuilles Adultes	20	120	9
	18	112	8.5
	14	155	8.5
Feuilles Intermédiaires		184	8
		(152)	7.5
		(94)	7.5

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
2		179	10
Feuilles Adultes	35	179	10
	33	320	10
	22	450	10
Feuilles Intermédiaires		420	10
		298	10
		(169)	9.5

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
3		186	11
Feuilles Adultes	38	186	11
	37	336	11
	10	462	10
Feuilles Intermédiaires		373	10
		337	10
		(115)	10

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
4		151	11
Feuilles Adultes	32	151	11
	31	168	11
	28	319	11
Feuilles Intermédiaires		470	10
		389	10
		230	10
		(140)	9

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
5		49	9
Feuilles Adultes	26	49	9
	16	166	10
	20	115	10
	25	119	10
Feuilles Intermédiaires		152	9
		138	9
		73	8

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
6		136	9
Feuilles Adultes	21	136	9
	24	239	9
	24	304	9
	19	330	9
Feuilles Intermédiaires		(316)	9
		(215)	8
		(109)	8

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
7			
Feuilles Adultes	34	120	10
	32	136	10
	35	92	10
Feuilles Intermédiaires		404	10
		299	9
		370	10

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
8			
Feuilles Adultes	25	71	9
	26	141	9
	24	244	10
	24	224	9
Feuilles Intermédiaires		(235)	9
		255	9
		119	8.5

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
9			
Feuilles Adultes	31	166	11
	33	286	10
Feuilles Intermédiaires		364	10.5
		(354)	10
		218	10
		70	10

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
10			
Feuilles Adultes	20	120	9
	18	173	9
Feuilles Intermédiaires		204	9
		171	9
		(99)	8

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
11			
Feuilles Adultes	26	181	9
	21	247	9
	18	200	9
Feuilles Intermédiaires		295	9
		(224)	8
		72	8

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
12			
Feuilles Adultes	26	130	9
	25	68	9
	25	219	8.5
	20	285	8.5
Feuilles Intermédiaires		329	8.5
		(267)	8
		119	8

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
13			
Feuilles Adultes	26	141	10
	27	191	10
	23	267	10
Feuilles Intermédiaires		276	10
		252	10
		(161)	10
		76	9

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
14			
Feuilles Adultes	21	77	10
	19	163	10
	21	256	9
	15	263	9
Feuilles Intermédiaires		271	9
		(168)	8

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
15			
Feuilles Adultes	26	118	9
	26	162	9
	25	317	8.5
	13	309	8.5
Feuilles Intermédiaires		318	8.5
		216	8
		72	8

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
16			
Feuilles Adultes	28	76	11
	27	186	11
	26	312	10
Feuilles Intermédiaires		362	10
		346	10
		(242)	9.5
		(100)	9

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
17			
Feuilles Adultes	28	105	10
	27	298	10
Feuilles Intermédiaires		325	10
		274	10
		(189)	9
		(52)	9

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
18			
Feuilles Adultes	23	66	8
	23	46	8
	23	196	8
	21	216	8
	5	244	8
Feuilles Intermédiaires		(345)	8
		(118)	8

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
19			
Feuilles Adultes	30	68	8.5
	28	178	8.5
	28	240	8.5
	9	391	9
Feuilles Intermédiaires		(265)	9
		(154)	8
		(72)	8

Num F	LB (mm)	Long f (mm)	Larg f (mm)
20			
Feuilles Adultes	22	102	8
	23	187	8
	17	265	8
Feuilles Intermédiaires		244	7
		(220)	7
		(78)	7

Biomasse

Feuilles adultes

Station	BI limite supérieure
Date de prélèvement	01/07/2015
Profondeur	4.8m

Poids des Feuilles (Adultes) (g)			Poids des épiphytes des Feuilles (Adultes) (g)		
	Poids du papier Alu. (g)	Poids sec (Pap Alu +FA) (g)		Poids du papier Alu. (g)	Poids sec (Pap Alu +EFA) (g)
FA1	0.8972	1.0790	EFA1	0.3234	0.3411
FA2	0.9345	1.4175	EFA2	0.3460	0.3691
FA3	0.9685	1.5780	EFA 3	0.3379	0.3419
FA4	0.9317	1.3027	EFA 4	0.3273	0.3360
FA5	0.9240	1.2721	EFA 5	0.3311	0.3445
FA6	0.9262	1.5333	EFA 6	0.3389	0.7043
FA7	0.9175	1.1730	EFA 7	0.3361	0.3412
FA8	0.9425	1.3863	EFA 8	0.3338	0.3349
FA9	0.9636	1.2900	EFA 9	0.3307	0.3573
FA10	0.9473	1.0980	EFA 10	0.3454	0.3551
FA11	0.9840	1.3247	EFA 11	0.3396	0.5085
FA12	0.9533	1.3447	EFA 12	0.3395	0.4831
FA13	0.9670	1.3541	EFA 13	0.3372	0.4178
FA14	0.9219	1.2892	EFA 14	0.3383	0.5700
FA15	0.9706	1.4078	EFA 15	0.3398	0.6484
FA16	0.9431	1.2997	EFA 16	0.3562	0.3966
FA17	0.9255	1.1388	EFA 17	0.3403	0.3690
FA18	0.9566	1.3283	EFA 18	0.3524	0.4313
FA19	0.9159	1.3292	EFA 19	0.3361	0.3940
FA20	0.9448	1.0861	EFA 20	0.3413	0.4073

Feuilles intermédiaires

Station	BI limite supérieure
Date de prélèvement	01/07/2015
Profondeur	4.8

Poids des Feuilles (Intermédiaires) (g)			Poids des épiphytes des Feuilles (Intermédiaires) (g)		
	Poids du papier Alu. (g)	Poids sec (Pap Alu +FI) (g)		Poids du papier Alu. (g)	Poids sec (Pap Alu +EFI) (g)
FI1	0.9649	1.1045	EFI1	0.3470	0.3552
FI2	0.9450	1.3035	EFI2	0.3367	0.3402
FI3	0.8997	1.2322	EFI 3	0.3643	0.3743
FI4	0.9053	1.4137	EFI 4	0.3604	0.4502
FI5	0.9551	1.1506	EFI 5	0.3768	0.4021
FI6	0.9526	1.1978	EFI 6	0.3585	0.4098
FI7	0.9595	1.4722	EFI 7	0.3666	0.3881
FI8	0.9682	1.2387	EFI 8	0.3306	0.3347
FI9	0.9575	1.4157	EFI9	0.3226	0.3320
FI10	0.9411	1.1075	EFI 10	0.3399	0.3452
FI11	0.9645	1.1752	EFI 11	0.3374	0.3748
FI12	0.9374	1.1944	EFI 12	0.3306	0.3962
FI13	0.9496	1.2940	EFI 13	0.3402	0.3566
FI14	0.9609	1.1232	EFI 14	0.3355	0.3902
FI15	0.9531	1.1748	EFI 15	0.3330	0.3750
FI16	0.9659	1.3899	EFI 16	0.3634	0.3908
FI17	0.9670	1.3231	EFI 17	0.3580	0.3753
FI18	0.9497	1.0607	EFI 18	0.3390	0.3594
FI19	0.9834	1.1369	EFI 19	0.3342	0.3444
FI20	0.9733	1.1902	EFI 20	0.3455	0.3587