

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المعهد الوطني لعلوم البحر و تهيئة الساحل
INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AMENAGEMENT DU LITTORAL



MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'ETUDES UNIVERSITAIRES APPLIQUEES EN SCIENCES
DE LA MER

OPTION : ENVIRONNEMENT

Thème

**Mise en place du balisage au niveau
de la limite inférieure de l'herbier
à *Posidonia oceanica* (L.) Delile
de l'Anse de Kouâli**

Présenté par

M^{elle} GUERRAH Ryma

M^{elle} NOUR Imène

Promotrice

M^{me} BOUMAZA Salima

Déposé auprès de la commission d'examen composée de

M^{elle} ALLOUACHE

M^{me} BOUMAZA

M^r HAMDANE

Promotion 2007/2008

Sommaire

Introduction.....	1
-------------------	---

Chapitre 1 : Généralités

1.1. Présentation de l’herbier à <i>Posidonia oceanica</i>	4
1.2. Importance de l’herbier à <i>Posidonia oceanica</i>	7
1.3. L’herbier à <i>Posidonia oceanica</i> est menacé	8
1.4. L’herbier à <i>Posidonia oceanica</i> indicateur biologique.....	9

Chapitre 2 : Matériel & méthodes

2.1. Présentation de la zone d’étude.....	10
2.2. Le balisage	11
2.2.1. Intérêt de la méthode.....	11
2.2.2. Matériel pour la mise en place du balisage.....	11
2.2.3. Calendrier de mise en place des balises	13
2.3. Relevés et prélèvements <i>in situ</i>	15
2.3.1. Position des balises	15
2.3.2. Profondeur des balises	16
2.3.3. Réalisation des photographies.....	16
2.3.4. Caractérisation de la limite inférieure.....	16
2.4. Traitement des échantillons au laboratoire	20
2.4.1. Lépidochronologie	20
2.4.2. Phénologie.....	21
2.4.3. Biomasse des feuilles et des épiphytes des feuilles	23

Chapitre 3 : Résultats & discussion

3.1. Mise en place et caractéristiques du balisage	24
3.1.1. Localisation du balisage.....	24
3.1.2. Position bathymétrique et orientation des balises.....	25

3.2. Caractéristiques du type d'herbier balisé.....	27
3.2.1. Description de l'état de limite inférieure de l'herbier.....	27
3.2.2. Estimation du recouvrement	28
3.2.3. Densité de l'herbier.....	29
3.2.4. Faune associée	29
3.3. Paramètres lépidochronologiques	30
3.3.1. Nombre d'écailles par cycle.....	30
3.3.2. Vitesse de croissance des rhizomes	30
3.4. Paramètres biométriques	31
3.4.1. Nombre de feuilles par faisceau.....	31
3.4.2. Longueur des feuilles.....	32
3.4.3. Largeur des feuilles.....	32
3.4.4. Coefficient « A ».....	32
3.4.5. Surface foliaire.....	33
3.4.6. Indice foliaire	33
3.5. Biomasse des feuilles et des épiphytes des feuilles	33
3.6. Prise et description des photographies.....	34
Conclusion générale.....	48
Bibliographie.....	50
Liste des figures	55
Liste des tableaux.....	56
Annexes	

Introduction

Un certain nombre de systèmes de surveillance du milieu marin existent en Méditerranée, dont le rôle est soit d'évaluer la qualité globale de l'eau (par des mesures chimiques ou au moyen d'indicateurs biologiques), soit de surveiller son adéquation à un usage particulier (baignade ou exploitation des coquillages) (BOUDOURESQUE, 1996).

Le Réseau de Surveillance Posidonies (RSP) est un des systèmes qui utilise en routine un indicateur biologique, depuis 1984 en Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur (France). Les herbiers à *Posidonia oceanica* constituent des indicateurs biologiques efficaces pour la surveillance du milieu marin, car ils intègrent durant toute la durée de leur vie la qualité des eaux qui dérivent au-dessus d'eux. Outre leur capacité à enregistrer certains paramètres physico-chimiques, les herbiers à *Posidonia oceanica* intègrent également d'autres paramètres susceptibles de les dégrader : aménagement du littoral, pression de mouillage, chalutage, turbidité, modification de l'hydrodynamisme (PERGENT, 1991).

Le Réseau de Surveillance Posidonies poursuit un double objectif : **(i)** la surveillance à long terme de l'évolution de l'état de santé des herbiers de Posidonies et **(ii)** l'utilisation des herbiers comme indicateurs biologiques de la qualité des eaux littorales.

Le modèle RSP consiste en l'installation de repères fixes au niveau des limites inférieure et supérieure des herbiers à *Posidonia oceanica*, de transects permanents et de carrés permanents. A la mise en place de ces structures, sont associées des études de caractérisation de la vitalité des herbiers par la mesure de différents paramètres, elles permettent ainsi de suivre l'évolution de la dynamique des herbiers à *Posidonia oceanica* (recul, stabilité ou progression) (CHARBONNEL & *al.*, 2003).

Ce réseau a été élargi dans le cadre du COAST 647 (Coopération Scientifique et Technique de la Commission des Communautés Européennes) à plusieurs sites représentatifs des côtes de Méditerranée occidentale (PERGENT-MARTINI, 2000).

Par la suite, dans le cadre d'un plan d'action pour la surveillance des végétaux marins en Méditerranée, initié par le Centre d'Activité Régionale pour les Aires Spécialement Protégées

(CAR/ASP-PNUE), l'Algérie, la Turquie et la Tunisie ont entrepris la mise en place de Réseaux de Surveillance Posidonies.

En Algérie, l'ISMAL a initié un projet de mise en place de Réseaux de Surveillance Posidonies le long du littoral algérois dont l'objectif est de fournir aux administrations concernées par la gestion du littoral des outils permettant d'appréhender rapidement et de manière fiable l'état général du milieu, puis d'en suivre l'évolution sur de longues périodes de temps. A ce titre, deux réseaux de surveillance ont été mis en place dans la baie de Bou Ismaïl.

Le premier en 1997 au niveau d'El Djamila (SEMROUD & *al.*, 1998) financé en partie par le Fonds national pour l'environnement, administré par la Direction Générale de l'Environnement (DGE), 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 sa mise en place a été réalisée en août 2000 (BOUMAZA & SEMROUD, 2000).

Le second a été réalisé en 2007 au large du front de mer de la ville de Bou Ismaïl (BENGRINE & GUELMAMI, 2007). Il comporte le balisage d'une portion de la limite inférieure de l'herbier de Posidonies.

Objectifs de ce travail

Cette étude s'inscrit dans le cadre des activités de recherche de l'équipe des écosystèmes marins de l'ISMAL, dont l'objectif est la mise en place d'un balisage au niveau d'une portion de la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* de l'anse de kouâli. Ce site est caractérisé par une faible anthropisation, ce qui suppose que l'herbier est susceptible d'être stable ou en progression. En effet, les études réalisées par BOUMAZA (1995), AMAROUCHE (2005), BOUDEFOUA & KADA (2007) ont mis en évidence le caractère exceptionnel de cet herbier.

Ce réseau permettra de veiller sur la qualité biologique globale du milieu et de pouvoir détecter toute altération de celui-ci, qui se matérialiserait par une régression de l'herbier de Posidonies. Cette surveillance à long terme représente un complément indispensable aux

contrôles de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de mer (CHARBONNEL & *al.*, 1995).

La première partie de ce travail consiste en la mise en place de repères fixes (balises) au niveau de la limite inférieure (zone sensible où l'herbier est en limite de vie : extension bathymétrique maximale) et la seconde partie consiste en l'évaluation de l'état initial en utilisant les principaux descripteurs de la vitalité des herbiers (densité, recouvrement, phénologie, biomasse et lépidochronologie).

Ce travail est présenté en trois chapitres :

Le chapitre 1 « Généralités » comporte la présentation de l'herbier à *Posidonia oceanica*, son importance et les menaces qui pèsent sur lui.

Le chapitre 2 « Matériel & méthodes » développe principalement le matériel utilisé et les méthodes suivies pour la mise en place de ce réseau de surveillance.

Le chapitre 3 « Résultats & discussion » présente les structures mises en place et l'ensemble des données relatives à l'état de santé de l'herbier qui constitueront l'état zéro pour le suivi ultérieur de cette limite inférieure.

Enfin, une conclusion générale où les principaux résultats sont synthétisés et où des recommandations sont données pour les suivis ultérieurs.

1.1. Présentation de l'herbier à *Posidonia oceanica*

Posidonia oceanica (Linnaeus) Delile est une Magnoliophyte endémique stricte de la mer Méditerranée et constitue une espèce clé de cet écosystème marin. Elle forme de vastes prairies sous-marines, appelées herbiers qui se développent entre 0.3m et 30 à 40m de profondeur, caractérisant l'étage infralittoral (DUARTE, 1991). Les herbiers à *Posidonia oceanica* forment une ceinture quasi-continue tout autour de la Méditerranée, interrompue localement au niveau des estuaires, des grands fleuves et de leur zone d'épandage.

Les feuilles de *Posidonia oceanica* sont groupées à l'extrémité des axes, autour des apex, en faisceaux de 4 à 8 feuilles en forme de lanières rubanées de 300 à 800mm de long, de 7 à 12mm de large et à phyllotaxie distique (CAYE, 1980 ; PERGENT, 1987) (Figure 1) . La croissance de celles-ci obéit à un rythme saisonnier, selon MOLINIER & ZEVACO (1962) :

- ✓ une phase de latence (préparation physiologique) ;
- ✓ une phase de grande activité printanière ;
- ✓ une phase sénile (croissance ralentie et chute massive des feuilles).

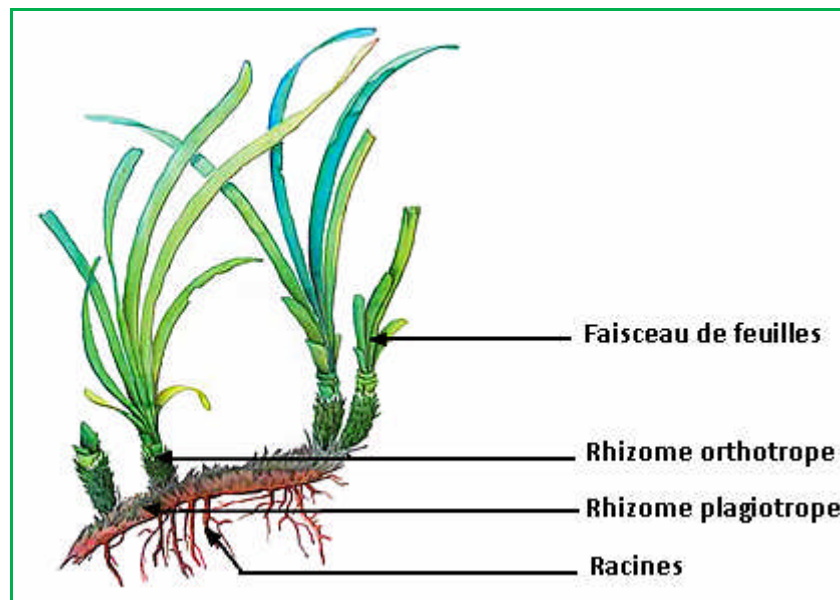


Figure 1 : Un rhizome plagiotrope de *Posidonia oceanica* portant des racines ainsi que des rhizomes orthotropes avec des faisceaux de feuilles à leurs extrémités (BOUDOURESQUE & al., 2006).

Les tiges appelées rhizomes, se caractérisent par un dimorphisme lié à leur mode de croissance (CAYE, 1980) (Figure 1) :

- ✓ les rhizomes plagiotropes (croissance horizontale) sont responsables de l'étendue horizontale de l'herbier (CAYE, 1980) et portent des racines qui peuvent descendre jusqu'à 70cm dans le sédiment (BOUDOURESQUE & MEINESZ, 1982) ;
- ✓ les rhizomes orthotropes (croissance verticale) sont responsables de la croissance verticale et luttent ainsi contre l'ensevelissement (BOUDOURESQUE & JEUDY DE GRISSAC, 1983 ; BOUDOURESQUE & *al.*, 1984).

La possibilité pour les rhizomes de *Posidonia oceanica* de croître verticalement constitue l'élément déterminant de l'édification des mattes (BOUDOURESQUE & JEUDY DE GRISSAC, 1983). Cette dernière est constituée par un lacis extrêmement serré de rhizomes morts et vivants et de racines retenant entre ses mailles du sédiment. L'élévation de la matte est estimée à environ un 1m par siècle (MOLINIER & PICARD, 1952) (Figure 2).

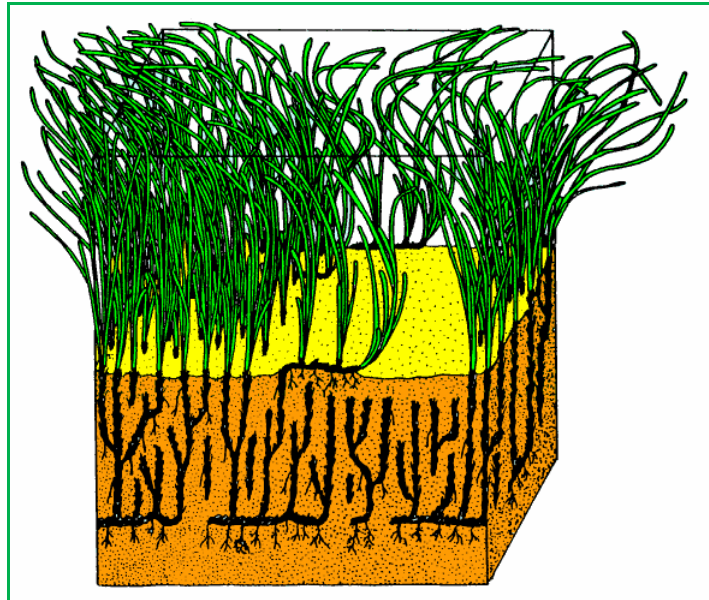


Figure 2 : Bloc diagramme montrant la structure d'une matte
(BOUDOURESQUE & MEINESZ, 1982).

Dans les zones abritées, près des côtes, l'herbier peut atteindre la surface par la croissance verticale de la matte ; ainsi l'extrémité des feuilles de *Posidonia oceanica* affleure la surface de l'eau formant ainsi un récif-barrière, qui isole derrière lui un lagon occupé par la biocénose des « Sables Vaseux en Mode Calme » (MOLINIER & PICARD, 1952) (Figure 3).

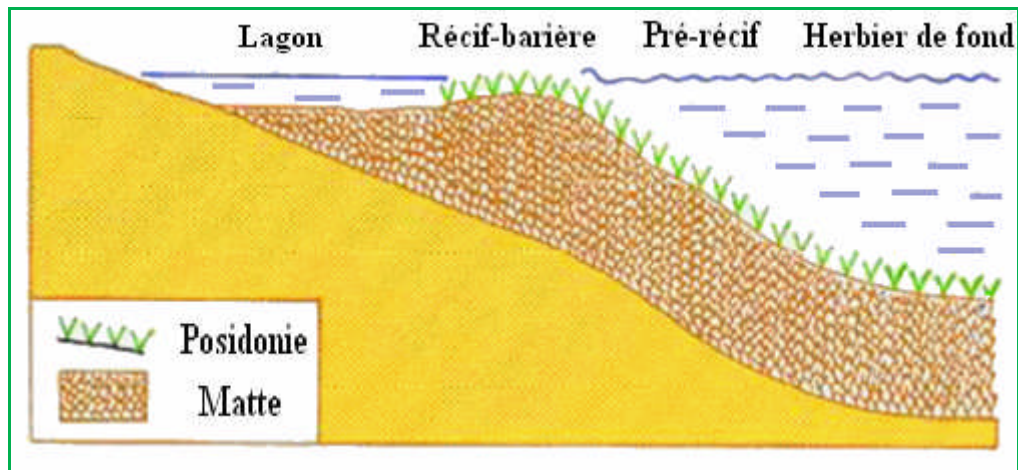


Figure 3 : Coupe théorique à travers un lagon et un récif-barrière de Posidonies

(BOUDOURESQUE & MEINESZ, 1982.).

La multiplication de *Posidonia oceanica* se fait par reproduction sexuée avec formation de fleurs, de fruits et de graines. Toutefois, la floraison est peu fréquente, elle se produit à l'automne (septembre - novembre). Les fleurs sont hermaphrodites, 4 à 10 fleurs sont groupées en une inflorescence au sommet d'un pédoncule floral de 10 à 30 cm de long (GIRAUD, 1977a). Elles peuvent donner naissance à des fruits appelés "olives de mer" qui contiennent une seule graine (BOUDOURESQUE & MEINESZ, 1982). Il faut 6 à 9 mois aux fruits de *Posidonia oceanica* pour mûrir. Entre mai et juillet, ils se détachent et flottent un certain temps, puis tombent sur le fond et, si la nature du substrat et des facteurs physico-chimiques sont favorables, la germination d'un embryon libéré par la déhiscence du fruit peut avoir lieu (GAMBI & al., 1996). La maturation des graines semble relativement rare et la multiplication de *Posidonia oceanica* se fait essentiellement de façon asexuée (MOLINIER & PICARD, 1952 ; MEINESZ & LEFEVRE, 1984). Elle se produit essentiellement par multiplication et accroissement des axes que par bouturage (CAYE & MEINESZ, 1992).

1.2. Importance de l'herbier à *Posidonia oceanica*

L'herbier à *Posidonia oceanica* est considéré comme la communauté climax d'une grande partie de l'étage infralittoral, terme final d'une série évolutive, il se maintient en théorie sans changement en l'absence d'une modification du climat (MOLINIER & PICARD, 1952). Il est d'une exceptionnelle richesse biologique : endofaune de la matte, flore et faune épiphyte des rhizomes, faune vagile se déplaçant sur la posidonie (Crustacés, Mollusques, Echinodermes), faune nageuse (Poissons). Au total, avec plusieurs milliers d'espèces ; l'herbier de Posidonies est l'une des communautés les plus riches de toute la Méditerranée (BOUDOURESQUE & MEINESZ, 1982) et constitue de ce fait un « pôle de biodiversité ». L'herbier à *Posidonia oceanica* constitue un élément essentiel du système littoral méditerranéen, il joue un rôle dans :

(i) les équilibres écologiques : l'herbier à *Posidonia oceanica* produit entre 4 et 20 litres d'oxygène par m² et par jour (BAY, 1978). Il est le lieu d'une importante production primaire de la biomasse végétale (feuilles et épiphytes) (LIBES, 1984 ; FRANCOUR, 1994 BOUDOURESQUE & *al.*, 1994). Cette grande quantité de matière est utilisée au sein de l'herbier, mais une part importante (25 à 30%) est exportée vers d'autres écosystèmes sous forme de litière mais surtout sur les plages sous forme de banquettes (accumulation de feuilles mortes), où elle constitue la base de nombreuses chaînes alimentaires (RICO-RAIMONDINO, 1995 ; PERGENT & *al.*, 1997). L'herbier offre un lieu d'habitation, de frayère et de nurseries pour des milliers d'espèces qui y trouvent nourriture et protection (BOUDOURESQUE & MEINESZ, 1982). Et sa matte héberge une faune particulièrement riche et variée (PERGENT, 1993).

(ii) les équilibres littoraux : l'herbier à *Posidonia oceanica* contribue à la protection des plages contre l'érosion par son double effet de l'atténuation de la force des vagues par les banquettes de Posidonies et celle des courants et de la houle et le piégeage de sédiments par les feuilles et le lacis serré de leurs rhizomes (BLANC & JEUDY DE GRISSAC, 1978 ; BOUDOURESQUE & JEUDY DE GRISSAC, 1983 ; GAMBI & *al.*, 1989).

1.3. L'herbier à *Posidonia oceanica* est menacé

Une grande partie de la régression des herbiers à *Posidonia oceanica* est due aux activités humaines, qui peuvent résulter de causes multiples :

(i) la diminution de la transparence de l'eau : soit à cause des rejets d'eau polluée, généralement riche en matière en suspension et en nutriments, réduisant la pénétration de la lumière, soit une eutrophisation des eaux, responsable de blooms phytoplanctoniques, qui entraîne une surcharge en épiphytes des feuilles. Ce qui a pour conséquence une diminution de la photosynthèse et provoque une remontée de la limite inférieure.

(ii) les aménagements littoraux : l'impact des ports, des plages artificielles, de l'endigage sur l'herbier peut être lourd de conséquences tant au niveau écologique et sédimentologique qu'au niveau économique (PERGENT, 1993).

(iii) la pollution chimique : les rejets urbains, industriels et l'activité agricole conduisent à une importante pollution chimique du milieu marin. Ce type de pollution affecte sensiblement la vitalité des herbiers ; **(1)** soit par l'action directe des agents polluants (métaux lourds, pesticides ou détergents) ; **(2)** soit par l'action indirecte des agents polluants sur l'un des paramètres physico-chimiques (salinité, turbidité, teneur en oxygène, température) (PERGENT-MARTINI, 1994).

(iv) les ancrages et les engins de pêche : l'ancrage des bateaux et l'action des arts traînant (dragues, chaluts) (FRANCOUR, 1994) conduisent à une altération ponctuelle de l'herbier, souvent suivie d'une érosion par les vagues et les courants. La régénération d'un herbier est très lente compte tenu de sa vitesse de croissance qui s'évalue à quelques centimètres par an (MOLENAAR, 1992) et si ces érosions sont fréquentes, elles peuvent conduire à des destructions irréversibles.

(v) la compétition avec des espèces introduites : *Caulerpa taxifolia*, qui colonise presque tous les types de substrats, en particulier la matre morte et les prairies de *Posidonia oceanica* ;

notamment les herbiers stressés ou dégradés dont elle peut accentuer le recul (BOUDOURESQUE & *al.*, 1995). *Caulerpa racemosa*, la deuxième chlorophyte introduite en Méditerranée, et dont l'expansion est extraordinairement rapide, puisqu'elle est aujourd'hui présente dans la plus grande partie de cette mer (VERLAQUE & *al.*, 2004, PIAZZI & *al.*, 2005). En Algérie, cette dernière est signalée, depuis 2005, en divers points de la côte algéroise (BOUKORTT, HADJ AISSA & SEMROUD, comm. Perso.).

1.4. L'herbier à *Posidonia oceanica* indicateur biologique

L'herbier à *Posidonia oceanica* est un puissant intégrateur de la qualité globale des eaux marines, c'est-à-dire qu'il rend compte par sa présence et sa vitalité de la qualité des eaux du milieu environnant (PERGENT, 1991). Cet indicateur fonctionne à différents niveaux (PERGENT, 1993 ; PERGENT & *al.*, 1995) :

- **Au niveau de la population**

La limite inférieure de l'herbier renseigne sur la turbidité moyenne des eaux qui dérivent au-dessus de lui. Par contre, la limite supérieure renseigne sur les conséquences des aménagements littoraux, rejets,...etc.

La présence de structures érosives (intermattes, chenaux,...) au sein de l'herbier témoigne de la présence de courants et de pêche destructive.

- **Au niveau de l'individu**

Les modifications lépidochronologiques et phénologiques permettent de connaître l'évolution des paramètres caractéristiques du milieu et de suivre la pollution actuelle et passée.

- **Au niveau anatomique**

Les cellules à tanin, qui sont des cellules riches en acide phénolique, et les enzymes de détoxification semblent augmenter en réponse à un état de stress de la plante.

2.1. Présentation de la zone d'étude

L'Anse de Kouâli est située dans la partie occidentale de la baie de Bou Ismaïl, à environ 70 Km d'Alger. Elle est délimitée à l'est par le village touristique CET de Tipasa, à proximité de la route nationale N°11, adjacente à des terres agricoles et elle s'étend de $\phi : 36^{\circ} 35'27.00''$ N et à $\lambda : 02^{\circ} 29'40.00''$ E (Figure 4). Elle est l'une des anses les plus abritées de la baie de Bou Ismaïl, en raison de la présence d'un goulet, non loin du rivage, qui isole le fond et le protège de la houle du large (LE GALL, 1969).

L'herbier à *Posidonia oceanica* de l'Anse de Kouâli s'étend entre 0.3 et 20 m de profondeur en moyenne et se développe sur substrat dur. Sa productivité primaire est l'une des plus importantes enregistrées en Méditerranée (BOUMAZA & SEMROUD, 2000). En outre, cette station est caractérisée par la présence d'un certain nombre de paysages marins tels le récif-barrière à *Posidonia oceanica* et les trottoirs à vermetes qui constituent des paysages marins menacés de Méditerranée (PNUE/UICN/GIS Posidonie, 1990).

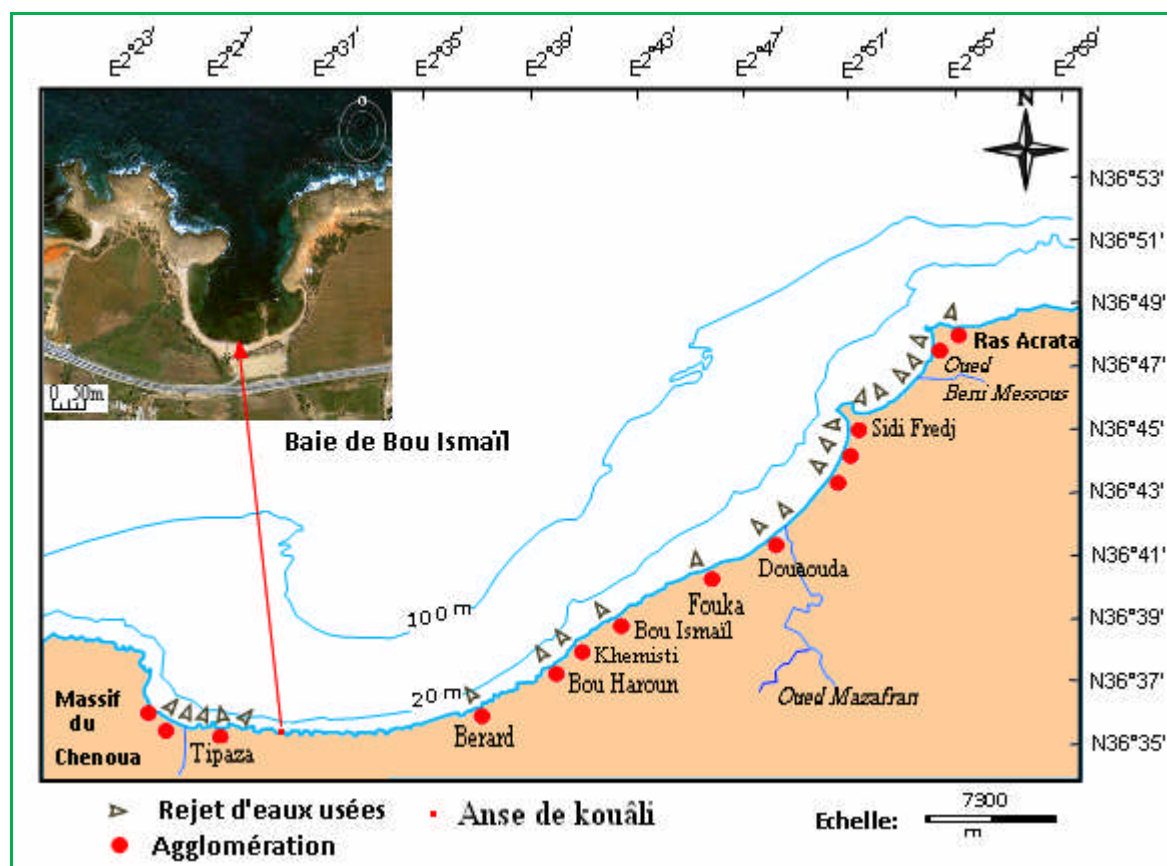


Figure 4 : Carte représentant la localisation de l'Anse de Kouâli dans la Baie de Bou Ismaïl (PAC, 2005 ; Google Earth, 2008)

2.2. Le balisage

2.2.1. Intérêt de la méthode

Le balisage est une méthode de surveillance qui permet de suivre *in situ* l'état de l'évolution de l'herbier à *Posidonia oceanica* et plus précisément la position de sa limite inférieure. L'efficacité de cette méthode est conditionnée par la visite régulière (au minimum tous les trois ans) des structures mises en place.

2.2.2. Matériel pour la mise en place du balisage

✓ Moyens à la mer

- équipements de plongée et embarcation.
- 1 GPS.
- 12 balises en béton d'un poids moyen de 23Kg.
- 48 piquets en fer d'un diamètre de 12mm biseautés à leur extrémité :
 - * 12 piquets de 1.5m.
 - * 36 piquets de 1m.
- 12 flotteurs numérotés.
- 12 plaques en PVC numérotées.
- 2 massues de 2Kg environ.
- 1 parachute pour le transport des balises.

Les balises utilisées sont des blocs en béton de forme tronconique d'un diamètre à la base de 27 cm pour une hauteur de 17 cm, elles sont percées par trois orifices pour l'ancrage sur le fond à l'aide de 3 piquets de 1m de long. De plus, chaque balise est munie en son centre d'un anneau permettant la pose d'un flotteur et d'une plaque numérotés pour faciliter son repérage lors des suivis ultérieurs (Figure 5).

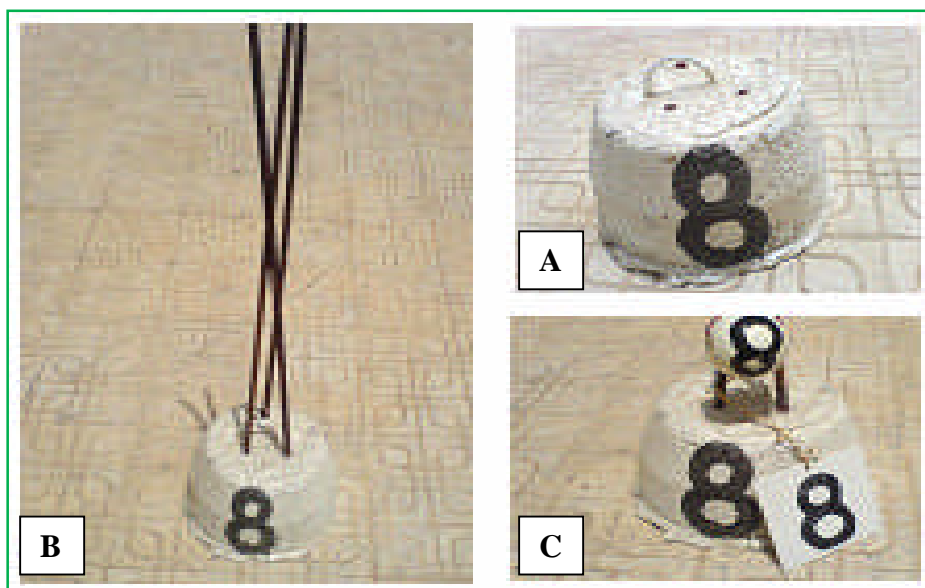


Figure 5 : Photos représentant trois balises : (A) percée de trois orifices pour l'enfoncement des piquets d'ancrage, (B) trois piquets en fer à béton enfoncés et (C) balise avec plaque en PVC et flotteur numérotés.

En outre, lors de son installation, une plaque portant comme information le nom de la station et la date de sa mise en place est positionnée sous la balise. Cette numérotation permet une identification rapide en plongée, et en cas d'un déplacement accidentel, de replacer la balise à son emplacement initial.

✓ **Matériel pour les mesures *in situ***

- appareil-photo.
- profondimètre électronique
- compas étanche pour les mesures d'angles.
- un quadrat métallique de 60 cm de côté et subdivisé en carrés de 20 cm de côté.
- un quadrat métallique de 1m de côté et divisé en quadrillages de 50 cm de côté.
- ardoise sous-marine en PVC.
- un filet de prélèvements.
- 1 règle graduée.
- lames de rasoir.
- 1 étuve.
- papier d'aluminium.
- balance.

- papier adhésif.
- sachets.
- formol.

2.2.3. Calendrier de mise en place des balises

La mise en place des balises a nécessité une équipe de plongeurs en scaphandre autonome et toutes les opérations ont été effectuées à partir du navire Baba-Aroudj et ce, du 12 juin 2008 au 16 juin 2008. Huit plongées ont été effectuées, à raison de 2 plongées par jour, par mer généralement calme à peu agitée.

Le 12/06/2008

Prospection du site de balisage et repérage de la limite inférieure.

Le 13/06/2008

Le site de balisage repéré, la balise N°12 (B12) sur laquelle un flotteur est fixé à l'aide d'une corde ainsi qu'une bouée de signalisation (surface) est ancrée en prenant soin de maintenir sa verticalité. Sa position est enregistrée à l'aide du système de positionnement géographique (GPS) afin de faciliter son repérage en surface. Ensuite, à partir de l'embarcation, les balises sont mises à l'eau et acheminées vers le fond. Une équipe de plongeurs pose les piquets tous les 5m afin de matérialiser l'emplacement exact des balises. Pour faciliter l'ancrage (substrat dur), les barres métalliques ont été réduites dans leur longueur. L'enfoncement de ces piquets varie d'une balise à l'autre. A chaque balise sont accrochés un flotteur et une plaque en PVC portant le numéro de la balise.

Le 14/06/2008

La première plongée a permis de relever la profondeur de chaque balise et les angles de balise à balise et de piquet-photo à balise. Les piquets-photos sont fixés à une distance de 1,5m des balises (côté large).

Lors de la deuxième plongée, la densité des faisceaux en amont de chaque balise est mesurée.

Le 15/06/2008

Les prises de vues de chaque balise ont été réalisées en prenant appui sur le piquet-photo. Vu l'état houleux de la mer, la deuxième plongée de l'après-midi n'a pas pu se faire.

Le 16/06/2008

Le recouvrement en amont de chaque balise est estimé.

La figure 6 ci-dessous représente les différentes étapes de la mise en place d'un balisage.

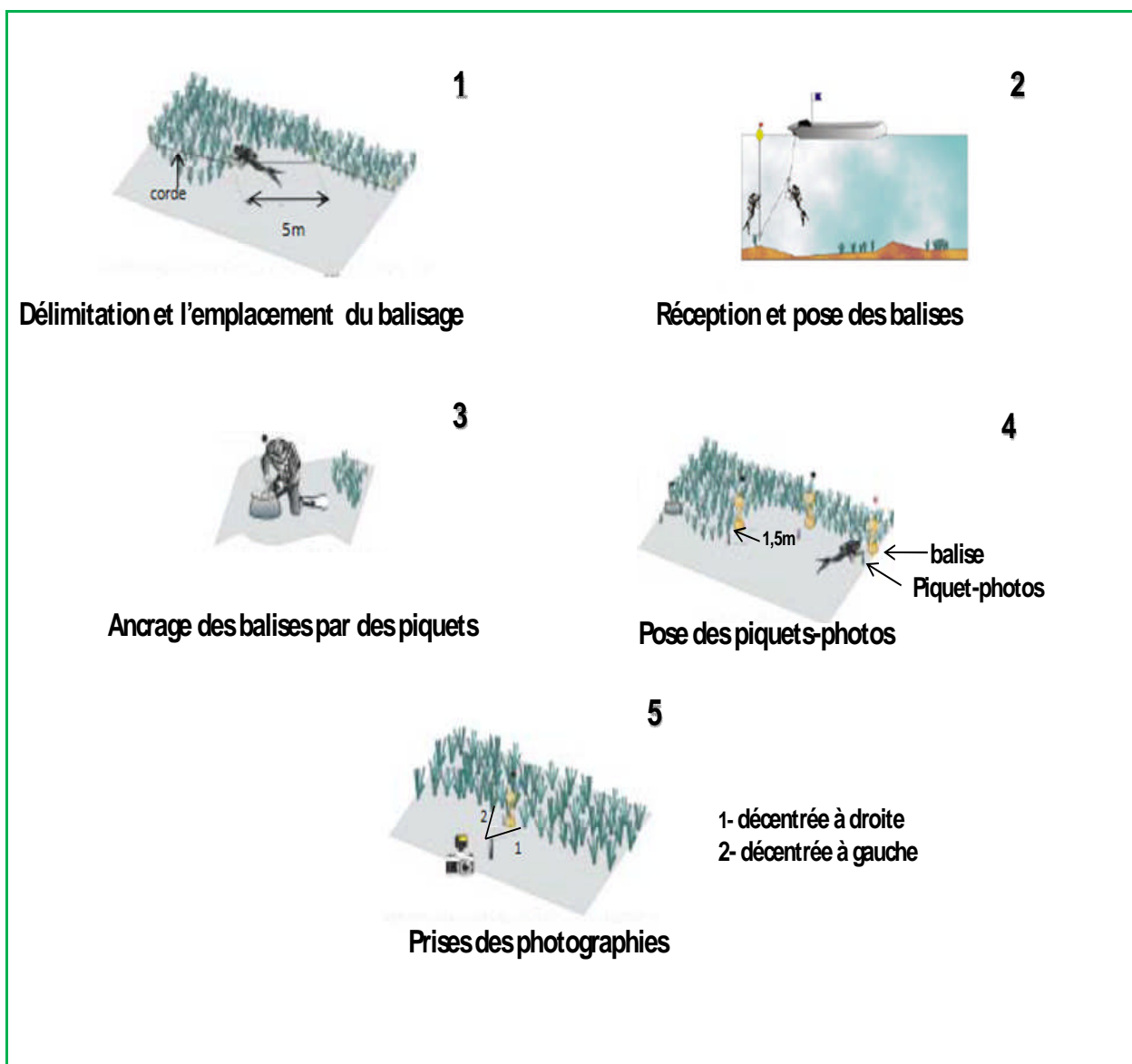


Figure 6 : Protocole de mise en place des balises le long de la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* (CHARBONNEL & al., 2000).

2.3. Relevés et prélèvements *in situ*

2.3.1. Position des balises

Les relevements de balise à balise et de piquet-photo à balise sont pris à l'aide d'un compas de plongée à 5° de précision (Figure 7). A l'aide d'un ruban gradué, les distances de balise à balise et de piquet-photo à balise sont également mesurées (à quelques centimètres près). L'ensemble de ces mesures permet de réaliser un plan du balisage. En outre, ces mesures permettent, lors des suivis ultérieurs du balisage de la limite inférieure, de repérer et de remettre en place la ou les balises qui auraient été déplacées accidentellement (ancres, courants).

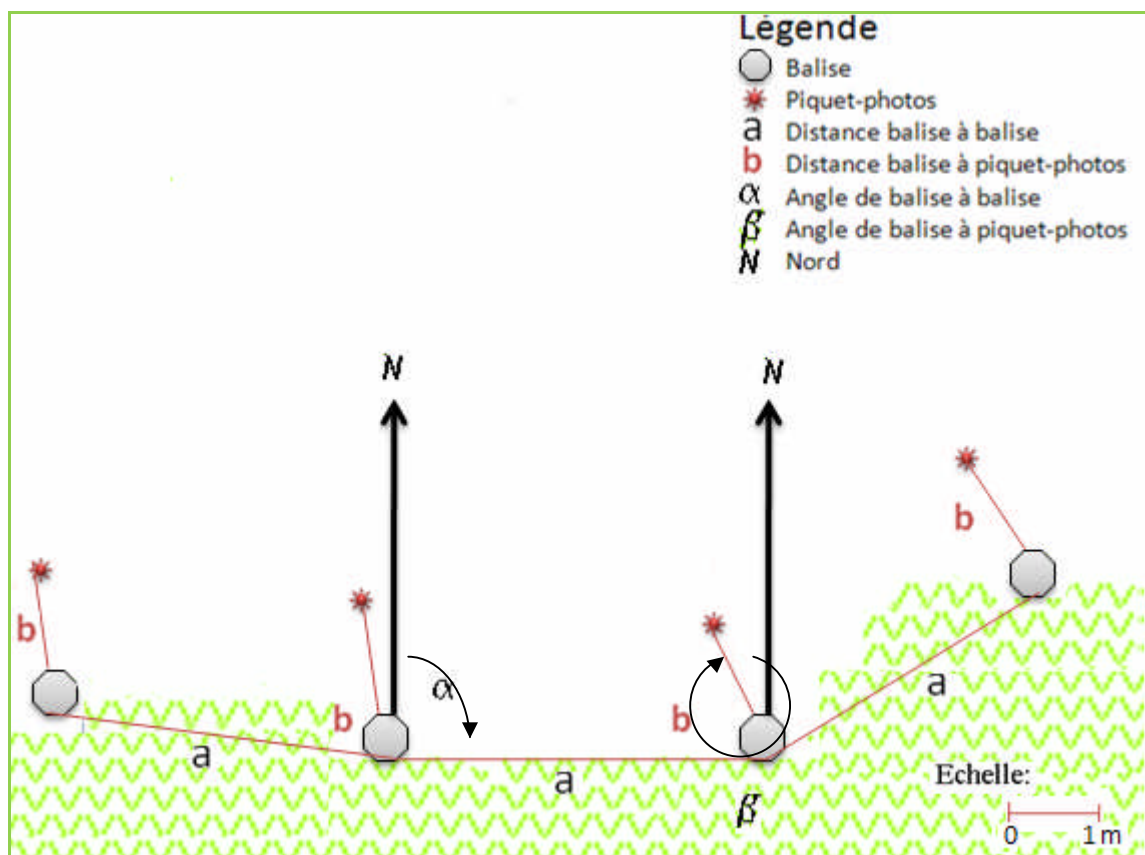


Figure 7 : Relevés en degrés par rapport au Nord des positions des balises et des piquets-photos.

2.3.2. Profondeur des balises

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

2.3.3. Réalisation de photographies

Deux photos par balise sont réalisées : une photo décentrée à droite de la balise et une photo 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.

2.3.4. Caractérisation de la limite inférieure

- **Type de la limite inférieure de l'herbier** : le type de limite peut apporter des informations importantes sur l'état de santé de l'herbier. Il existe 4 types de limite inférieure (MEINESZ & LAURENT, 1978) (Figure 8) :
 - **les limites progressives** : caractérisées par la présence de rhizomes horizontaux disposés parallèlement au sens de la pente. L'herbier n'édifie pas de matte. Ce type de limite traduit une amélioration au moins momentanée de la transparence des eaux.
 - **les limites franches** : caractérisées par la présence de rhizomes partiellement verticaux mais sans édification de matte, et pas de matte morte. Cette limite traduit en général une stabilisation des conditions du milieu.
 - **les limites érosives** : caractérisées par la présence de petits tombants de matte, l'hydrodynamisme semble être à l'origine de ce type de limite.
 - **les limites régressives** : caractérisées par la présence de matte morte et quelques faisceaux témoins en avant de cette limite, traduisant ainsi une remontée de l'herbier. Ces limites sont assez répandues et correspondent à une augmentation de la turbidité moyenne des eaux.

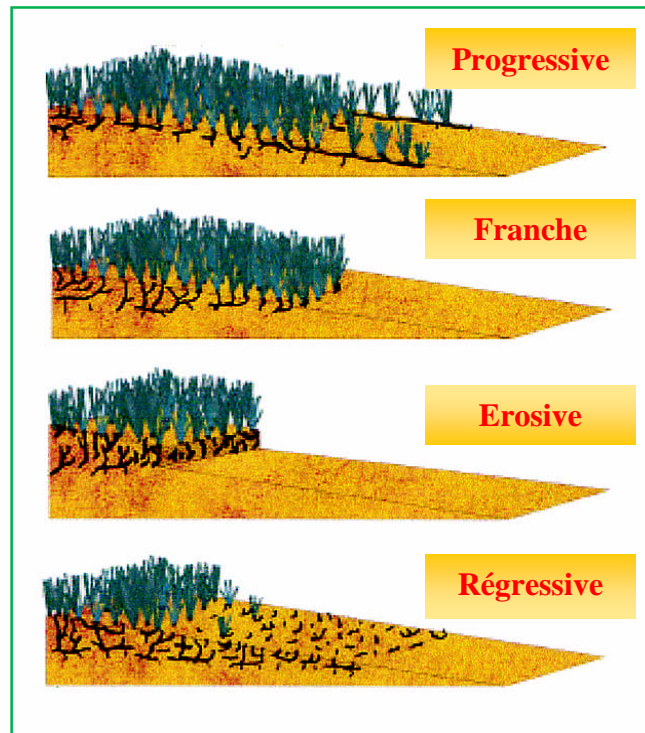


Figure 8 : Différent types de limites inférieures de *Posidonia oceanica* (MEINESZ & LAURENT, 1978, modifié par BOUDOURESQUE & al., 2006).

- **Nature du fond :** la nature du fond en aval du balisage est également décrite : matte morte, présence de ripple-marks, sable coquillier, sable grossier, sable fin.
- **Mesure de recouvrement :** le recouvrement correspond au pourcentage de couverture du substrat par l'herbier de Posidonies vivant, par rapport à la zone non couverte. L'estimation visuelle du pourcentage de recouvrement se fait à l'aide d'un quadrat de 1m divisé en 4 carrés, et ce en amont de chacune des balises.

Les valeurs obtenues sont interprétées en fonction des pourcentages moyens mesurés le long du balisage, selon l'échelle établie par CHARBONNEL & al. (2000) (Tableau 1).

Tableau 1 : Interprétation de la vitalité de l'herbier en fonction des pourcentages de recouvrement moyens estimés le long du balisage en limite inférieure (CHARBONNEL & al., 2000).

Pourcentage de recouvrement	
Limite inférieure	Interprétation
Inférieur à 20 %	Faible recouvrement
20% à 50%	Recouvrement moyen
Supérieure à 50%	Fort recouvrement

- **Mesure de la densité** : elle correspond au nombre de faisceaux de Posidonies présents par unité de surface (nombre de faisceaux/mètre carré). Celle-ci varie en fonction de la profondeur et des conditions du milieu (lumière, type de substrat...). La densité est mesurée à l'aide d'un quadrat de 60 cm de côté subdivisé en carrés de 20 cm de côté disposé en arrière des balises dans l'herbier. Les mesures sont effectuées dans 3 carrés, choisis au hasard, mais dont il convient de noter la position pour le suivi ultérieur. Ces mesures permettent de classer l'herbier en 6 différents types de densité, selon la classification de GIRAUD (1977b) (Tableau 2).

Tableau 2 : Classification de l'herbier à *Posidonia oceanica* selon la densité de faisceaux (GIRAUD, 1977b).

Densité par m ²	Type d'herbier
Plus de 700 faisceaux/m ²	Type I, herbier très dense
De 400 à 700 faisceaux/m ²	Type II, herbier dense
De 300 à 400 faisceaux/m ²	Type III, herbier clairsemé
De 150 à 300 faisceaux/m ²	Type IV, herbier très clairsemé
De 50 à 150 faisceaux/m ²	Type V, semi-herbier
Moins de 50 faisceaux/m ²	Faisceaux isolés

Une nouvelle classification est proposée par PERGENT-MARTINI (1994), qui classe les herbiers en plusieurs catégories, selon les valeurs de densité mesurées en fonction de la profondeur (Tableau 3).

Tableau 3 : Classification de l'herbier à *Posidonia oceanica* en fonction de la densité des faisceaux et de la profondeur (PERGENT-MARTINI, 1994 & PERGENT & al., 1995).

Prof. (m)	DA	DSI	DN	DSS	Prof. (m)	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	↔	582 ↔ 806	→	24	← 14	↔	126 ↔ 350	→
5	← 413	↔	525 ↔ 749	→	25	← 4	↔	116 ↔ 340	→
6	← 367	↔	479 ↔ 703	→	26			106 ↔ 330	→
7	← 327	↔	439 ↔ 663	→	27			96 ↔ 320	→
8	← 294	↔	406 ↔ 630	→	28			87 ↔ 311	→
9	← 264	↔	376 ↔ 600	→	29			78 ↔ 302	→
10	← 237	↔	349 ↔ 573	→	30			70 ↔ 294	→
11	← 213	↔	325 ↔ 549	→	31			61 ↔ 285	→
12	← 191	↔	303 ↔ 527	→	32			53 ↔ 277	→
13	← 170	↔	282 ↔ 506	→	33			46 ↔ 270	→
14	← 151	↔	263 ↔ 487	→	34			38 ↔ 262	→
15	← 134	↔	246 ↔ 470	→	35			31 ↔ 255	→
16	← 117	↔	229 ↔ 453	→	36			23 ↔ 247	→
17	← 102	↔	214 ↔ 438	→	37			16 ↔ 240	→
18	← 88	↔	200 ↔ 424	→	38			10 ↔ 234	→
19	← 74	↔	186 ↔ 410	→	39			3 ↔ 227	→
20	← 61	↔	173 ↔ 397	→	40			↔ 221	→

DA: densité anormale, **DSI**: densité sub-anormale inférieure, **DN**: densité normale, **DSS**: densité sub-anormale supérieure, **Prof. (m)**: profondeur en mètre.

● Prélèvement des faisceaux de Posidonies

30 faisceaux orthotropes sont récoltés en plongée en scaphandre autonome, ils sont distants de 50cm à 1m les uns des autres, pour éviter de récolter des individus appartenant au même rhizome plagiotrope (PERGENT, 1987). Les faisceaux sont ensuite conservés au laboratoire dans de l'eau formolée à 10 %, ils serviront à la fois à l'étude des paramètres phénologiques, lépidochronologiques et de la biomasse.

2.4. Traitement des échantillons au laboratoire

2.4.1. Lépidochronologie

- **Définition**

Une fois que le limbe de *Posidonia oceanica* tombe, le pétiole (base foliaire) reste attaché sur le rhizome, il est alors désigné sous le nom «d'écaille» (GRENIER, 1860). La lépidochronologie a pour but l'étude des variations cycliques des paramètres anatomiques et biométriques des écailles (épaisseur, longueur et nombre) le long des rhizomes (PERGENT, 1987). Ces cycles ont une périodicité annuelle avec un maximum et un minimum d'épaisseur par an, les écailles fines apparaissent à la fin de l'hiver ou au début du printemps, tandis que les écailles épaisses se forment en automne. L'appellation «année lépidochronologique» est utilisée pour définir la période de temps comprise entre deux minima d'épaisseur. Cela permet d'éviter toute confusion avec les années calendaires (PERGENT, 1993 ; PERGENT-MARTINI, 1994).

La découverte de la lépidochronologie, plus particulièrement la possibilité de rétrodater avec précision les tronçons de rhizomes, permet d'évaluer de façon précise la vitesse de croissance et la part de la production consacrée à l'allongement des rhizomes (PERGENT, 1987 ; PERGENT & PERGENT-MARTINI, 1990 ; PERGENT, 1993).

La présence de pédoncules floraux intercalés entre les écailles le long des rhizomes permet de retrouver et de dater les floraisons anciennes (paléo floraisons) (PERGENT & al., 1989).

- **Mode opératoire**

Les 30 faisceaux récoltés sont nettoyés de façon à retirer le sédiment présent entre les écailles, ainsi que les épiphytes et les épibiontes macroscopiques qui colonisent le rhizome.

Les écailles sont détachées en respectant l'ordre distique d'insertion car les écailles sont emboîtées les unes dans les autres. La dissection se fait à partir des plus anciennes vers les plus récentes (PERGENT, 1987).

L'épaisseur des écailles est appréciée au toucher (RICO & PERGENT, 1990 ; RICO-RAIMONDINO, 1995). Lorsque l'épaisseur est minimale, le rhizome est coupé au niveau de l'insertion de l'écaille fine. Des tronçons de rhizomes, délimités par deux minima d'épaisseur

sont numérotés en fonction de l'année à laquelle ils appartiennent, puis, leur longueur est mesurée et le nombre d'écailles y afférentes comptabilisé (Figure 9). Si des restes de pédoncules floraux sont retrouvés intercalés entre les écailles le long du rhizome, leur position est précisée. Ils sont toujours bien différents des écailles, plus étroits, plus épais avec une nervure centrale bien distincte et sont entourés d'une préfeuille (GIRAUD, 1979). Leur rang est noté comme s'il s'agissait d'une écaille mais leur épaisseur n'est pas prise en compte (PERGENT, 1987 ; RICO & PERGENT, 1990).

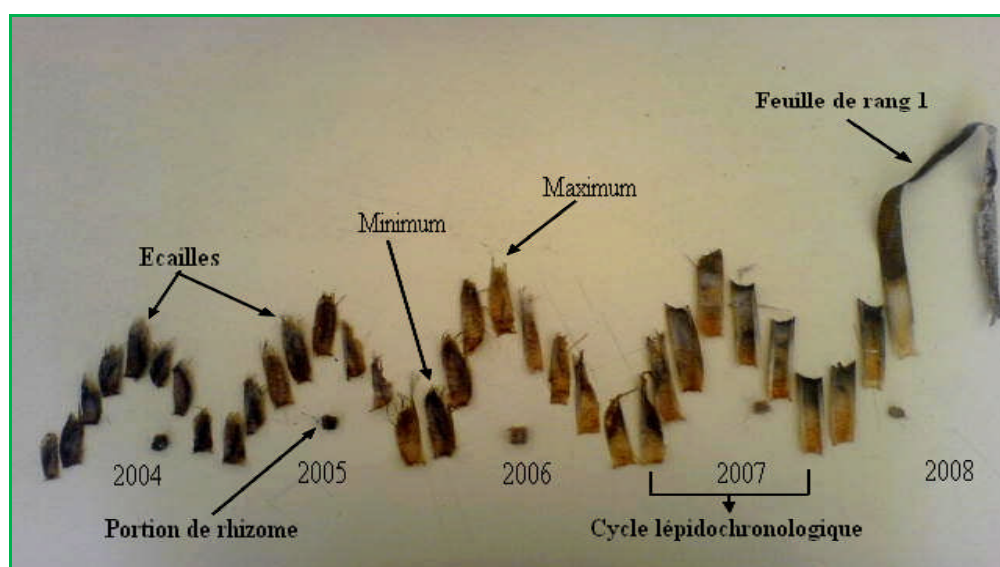


Figure 9: Photo représentant les cycles lépidochronologiques de *Posidonia oceanica* avec les tronçons de rhizomes correspondants.

2.4.2. Phénologie

- **Analyse biométrique**

Les caractéristiques morphologiques et l'âge des feuilles d'un faisceau diffèrent selon la position de la feuille dans le faisceau. Au sein de chaque faisceau, les feuilles se forment au centre et sont d'autant plus âgées qu'elles sont situées vers la périphérie (GIRAUD, 1979 ; CAYE, 1989). Ces dernières acquièrent un pétiole lorsque leur allongement est presque terminé (GIRAUD, 1979) :

- ✓ **les feuilles adultes** : de plus de 50 mm de long et pourvues d'un pétiole (pétiole supérieur ou égal à 2 mm) ;

- ✓ les feuilles **intermédiaires** : de plus de 50 mm de long dépourvues de pétiole ;
- ✓ les feuilles **juvéniles** : de longueur inférieure à 50 mm et dépourvues de pétiole.

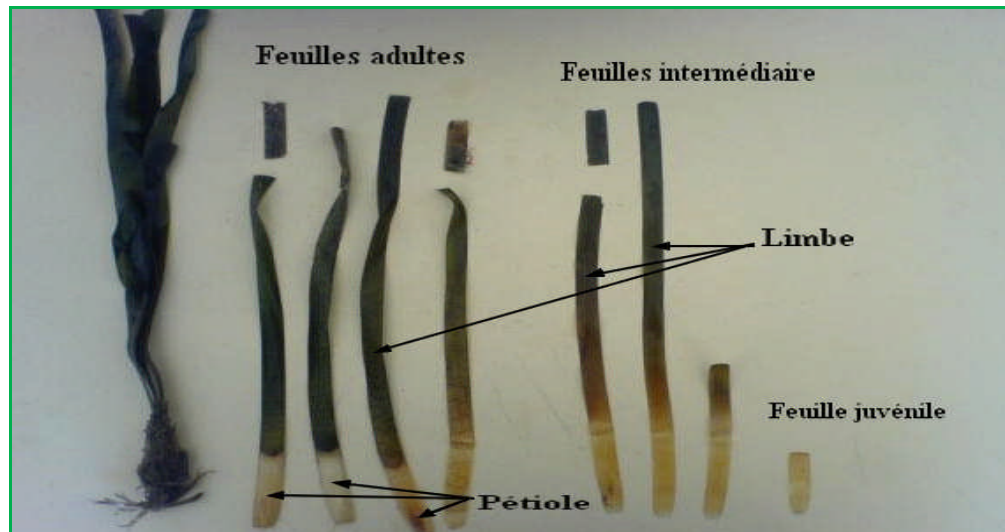


Figure 10 : Photo représentant la dissection d'un faisceau de *Posidonia oceanica*.

Dans le cadre de cette étude, seules les feuilles adultes et intermédiaires sont prises en compte.

• Mode opératoire

Les faisceaux de feuilles sont décortiqués en respectant l'ordre distique de l'insertion des feuilles, et les paramètres relatifs à la phénologie des feuilles sont ensuite calculés :

- ✓ le nombre moyen de feuilles par faisceau ;
- ✓ les longueurs et largeurs moyennes des feuilles ;
- ✓ le Coefficient A qui correspond au pourcentage des feuilles ayant perdu leur apex (GIRAUD, 1979). Ce dernier paramètre apporte des indications sur la pression de broutage et /ou sur l'hydrodynamisme ;
- ✓ la surface foliaire (SF) qui correspond à la surface des feuilles en $\text{cm}^2/\text{faisceau}$ (DREW & JUPP, 1976) ;
- ✓ l'indice foliaire (IF) qui correspond à la surface de feuilles par m^2 . Il est calculé en multipliant la surface foliaire par la densité pour chaque catégorie de feuilles (DREW, 1971).

2.4.3. Biomasse des feuilles et des épiphytes des feuilles

➤ Biomasse des feuilles

Les lots des feuilles adultes et intermédiaires débarrassées de leurs épiphytes sont rincés à l'eau, puis séchés séparément à l'étuve pendant 48 heures à 70°C (le poids est alors stabilisé) (BEDHOMME, 1981). Chaque lot est pesé (balance de précision de type DENVER instrument M-220 D). La biomasse est exprimée en mg Ps/faisceau puis rapportée en g Ps/m² en multipliant cette dernière par la densité.

➤ Biomasse des épiphytes des feuilles

Tous les épiphytes sont séparés des feuilles à l'aide d'une lame de rasoir en grattant très soigneusement les deux côtés de chaque feuille. Le produit du raclage des feuilles adultes et intermédiaires est séché séparément à poids constant (étuve à 70°C pendant 48 heures) et pesé (balance de précision de type DENVER instrument M-220 D). La biomasse est alors exprimée en mg Ps/faisceau, puis en g Ps/m² en la multipliant par la densité.

3.1. Mise en place et caractéristiques du balisage

3.1.1. Localisation du balisage

Le balisage a été mis en place au niveau d'une portion de la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* de l'Anse de Kouâli. Pour faciliter son repérage en surface, les coordonnées géographiques des balises B1, B6 et B12 ont été enregistrées à l'aide d'un GPS :

Balise B1 : Latitude Nord 36°35.672'
Longitude Est 02°35.725'

Balise B6 : Latitude Nord 36°35.677'
Longitude Est 02°29.707'

Balise B12 : Latitude Nord 36°35.659'
Longitude Est 02°29.693'

Ces points sont ensuite localisés sur une carte. Le trait de côte de la zone d'étude a été délimité en s'appuyant sur l'image brute téléchargée à partir de Google Earth.

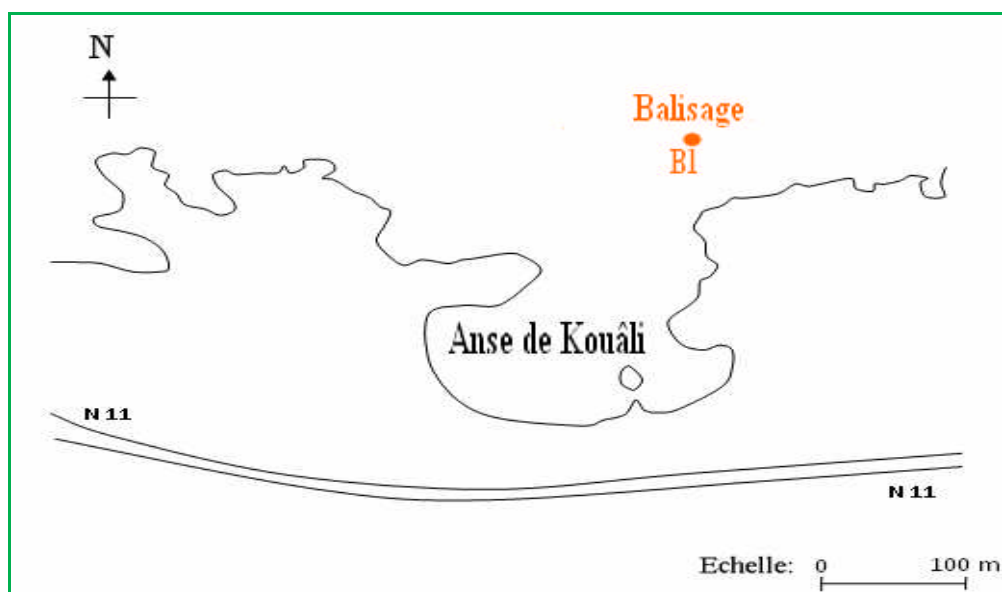


Figure 11 : Localisation du balisage.

3.1.2. Position bathymétrique et orientation des balises

La profondeur moyenne du balisage a été estimée à partir des profondeurs mesurées à la base de chacune des balises (Tableau 4). La profondeur de la limite balisée présente une régularité avec des valeurs comprises entre 17,8 m à 18,8 m, soit une profondeur moyenne sur l'ensemble du balisage de 18,3 m.

Les profondeurs seront systématiquement mesurées lors des suivis ultérieurs, de manière à déceler les éventuels mouvements sédimentaires, matérialisés par des changements de profondeurs.

Tableau 4: Profondeurs mesurées à l'aide d'un profondimètre électronique au niveau des balises de la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica*.

<i>Balise</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>B3</i>	<i>B4</i>	<i>B5</i>	<i>B6</i>	<i>B7</i>	<i>B8</i>	<i>B9</i>	<i>B10</i>	<i>B11</i>	<i>B12</i>
Profondeur (m)	18,5	18,6	18,5	18,5	18,2	18,8	18,3	18,3	18,3	17,9	17,8	17,8

Les orientations des balises, de balise à balise d'une part et de balise à piquet photos d'autre part, mesurées à l'aide d'un compas, sont résumées dans le tableau 5.

L'ensemble de ces mesures permettra, lors des suivis ultérieurs du balisage, de repérer la où les balises qui auraient éventuellement été déplacées (ancres, filets....) et de les remettre en place.

Tableau 5 : Orientations de balise à balise (B à B) et de piquet photo à balise (P à B) à l'aide d'un compas de relèvement ; les angles sont donnés en degré.

Balise à balise	Relèvement	Piquet-photo à balise	Relèvement
B1 à B2	245°	B1 à P1	38°
B2 à B1	70°	B2 à P2	315°
B3 à B2	95°	B3 à P3	352°
B4 à B3	65°	B4 à P4	30°
B5 à B4	120°	B5 à P5	40°
B6 à B5	110°	B6 à P6	312°
B7 à B6	60°	B7 à P7	30°
B8 à B7	135°	B8 à P8	315°
B9 à B8	80°	B9 à P9	315°
B10 à B9	20°	B10 à P10	300°
B11 à B10	20°	B11 à P11	325°
B12 à B11	40°	B12 à P12	325°
B11 à B12	210°	-	-

Grâce à ces relevés et avec les distances de balise à balise (5 m) et de balise à piquet photo (1.5 m), un plan du balisage a été établi (Figure 12).

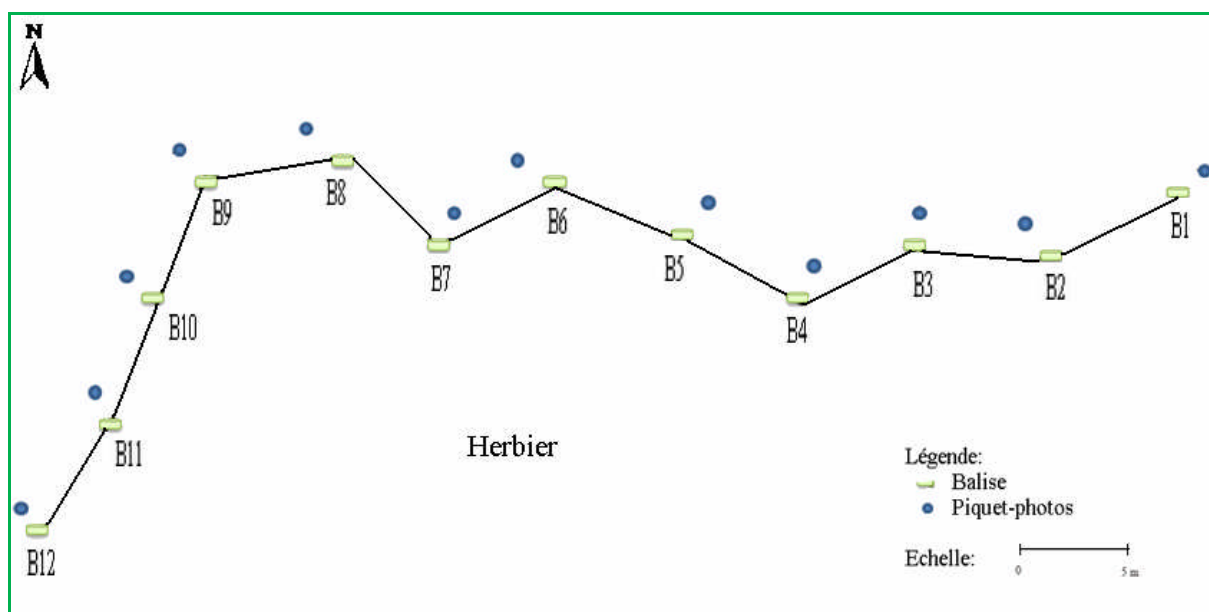


Figure12 : Plan du balisage et position des 12 balises avec leurs piquets photos.

3.2. Caractérisation du type d'herbier balisé

3.2.1. Description de l'état de la limite inférieure de l'herbier

La limite inférieure de l'herbier est constituée de touffes rapprochées de petite ou de grande taille. L'herbier se développe sur un substrat principalement rocheux, ce qui d'ailleurs n'a pas permis d'enfoncer profondément les piquets d'ancrage des balises.

La limite inférieure au niveau du balisage est qualifiée de limite franche selon la terminologie de MEINESZ & LAURENT (1978). En effet, les rhizomes sont en majorité de type orthotrope (croissance verticale), mais sans édification de matte. L'herbier ne présente pas de dynamique de recolonisation du substrat (très peu de rhizomes plagiotropes). Ce type de limite traduit une stabilisation des conditions du milieu selon ces mêmes auteurs. A l'anse de Kouali, la nature du substrat semble être à l'origine de ce type de limite, qui contrarie son extension vers le large.

Le déchaussement des rhizomes est relativement important au niveau de certaines balises, ce qui indique un déséquilibre des apports sédimentaires (tendance à un déficit). Ceci a entraîné une fragilisation des rhizomes.

La présence d'une importante litière a également été notée, ce qui, à cette saison, correspond à la période de chute des feuilles les plus âgées.

A partir des observations recueillies sur le terrain, la limite inférieure de l'herbier a pu être schématisée et une représentation cartographique a été établie (Figure 13).

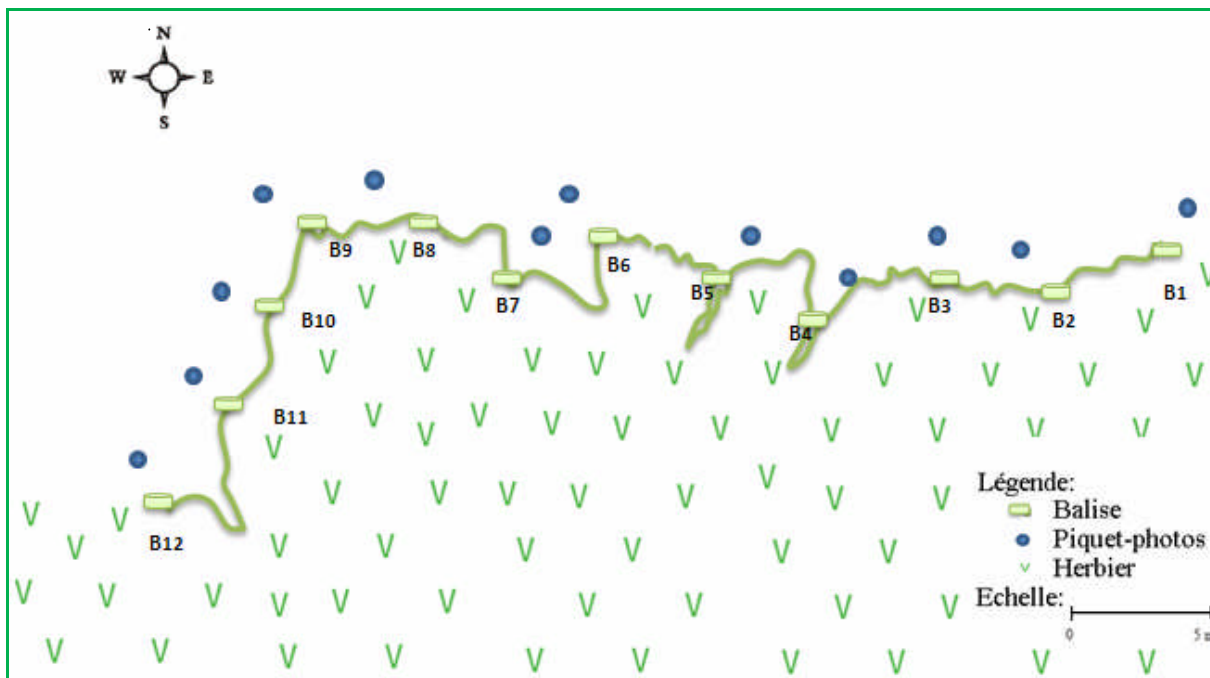


Figure13 : Cartographie de la limite inférieure balisée.

3.2.2. Estimation du recouvrement

Le recouvrement a été mesuré, par deux observateurs, en amont de chaque balise, et la moyenne obtenue au niveau de chacune des balises est donnée dans le Tableau 6. Dans la première partie du balisage ((B1 à B7), le recouvrement est assez importante (50 % en moyenne) et l'herbier est sub-continu, à l'exception des balises B5 et B6 où l'herbier se présente en touffes plus clairsemées. Dans la seconde partie (B8 à B12), le recouvrement diminue car les Posidonies sont plus clairsemées (30 % en moyenne). Pour l'ensemble des mesures, le recouvrement en amont du balisage est en moyenne de 42 %, il s'agit d'un recouvrement moyen, selon la classification de CHARBONNEL & al. (2000).

Le recouvrement estimé dépend de l'observateur et de la saison où s'effectue la mesure (variations de la longueur des feuilles), selon PERGENT & PERGENT-MARTINI (1994).

Tableau 6: Estimation moyenne du pourcentage du recouvrement en limite inférieure en arrière de chaque balise.

Balise	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
Recouvrement moyen (%)	57	52.5	42.5	42.5	30	30	57.5	15	37.5	37.5	35	30

3.2.3. Densité de l'herbier

La densité moyenne a été calculée à partir de trois comptages réalisés en arrière de chaque balise (Tableau 7). La densité moyenne de l'herbier au niveau de sa limite est de $174 \pm 38,87$ faisceaux/m², ce qui correspond à un herbier très clairsemé de type IV, selon la classification de GIRAUD (1977b) et une à densité sub-anormal inférieure, selon celle de PERGENT-MARTINI (1994) qui intègre le facteur profondeur.

Tableau 7 : Densité moyenne des faisceaux par m² mesurée derrière chaque balise.

Balise	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
Densité	216	150	200	240	132	165	150	175	207	107	200	150

3.2.4. Faune associée

Seules les espèces les plus fréquentes sont identifiées au niveau de la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica*. La macrofaune pélagique est constituée essentiellement de bancs de poisson *sarpa salpa*. En ce qui concerne la macrofaune benthique les principales espèces identifiées sont représentées dans le tableau 8.

Tableau 8 : Principales espèces constituant la macrofaune pélagique de l'herbier à Posidonies au niveau du balisage.

Embranchement	Classe	Genre et espèce
Echinodermes	Astéridés	<i>Asteria ruben</i>
	Echinidés	<i>Sphaerechinus granularis</i> <i>Paracentrotus lividus</i>
	Holothurides	<i>Holothuria tubulosa</i>
Mollusques	Céphalopodes	<i>Sepia officinalis</i>
	Bivalves	<i>Venus ovata</i>
	Gastéropodes	<i>Cerithium vulgatum</i> <i>Erronea pirum</i>

3.3. Paramètres lépidochronologiques

3.3.1. Nombre d'écailles par cycle

Le nombre d'écailles est comptabilisé entre deux minima d'épaisseur de rhizome. Les variations du nombre d'écailles par cycle sont représentées dans la figure 14. Le nombre d'écailles par cycle varie entre 4 et 11 écailles le long d'un même rhizome orthotrope (Voir annexe). Ces variations interannuelles sont dues soit à des facteurs exogènes (lumière, hydrodynamique, nutriments) et/ou à des facteurs endogènes (floraison) (PERGENT, 1987).

Le nombre moyen de feuilles produites par an est de $8,0 \pm 2,3$, tandis que BOUDEFOUA & KADA (2007) ont enregistré une valeur de 9,1 au niveau de la même station et à la même profondeur.

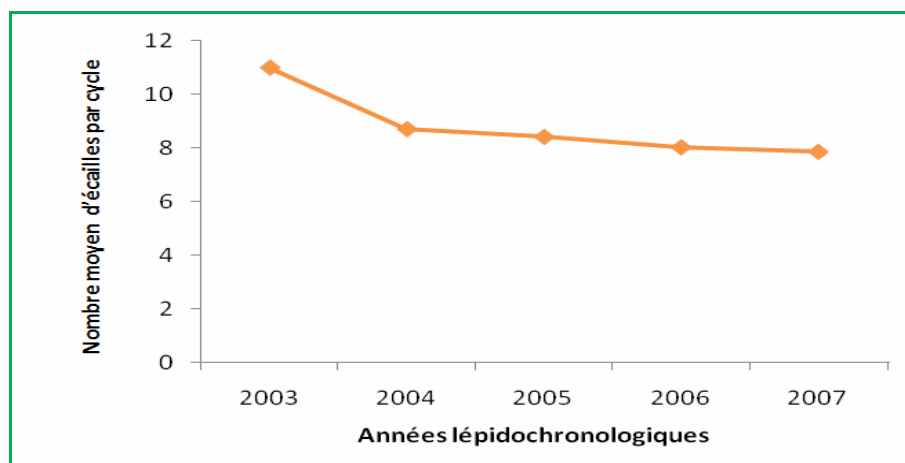


Figure14: Evolution du nombre moyen d'écailles par cycle.

3.3.2. Vitesse de croissance des rhizomes

La longueur des tronçons de rhizomes, correspondant à la zone d'insertion des écailles de chaque cycle, traduit l'allongement des rhizomes pour une année donnée (PERGENT, 1987 ; PERGENT-MARTINI, 1994). Le rhizome n'est pas un organe mort, sa croissance ne cesse qu'au cours de la troisième année (BOUDOURESQUE & *al.*, 1983). Aussi, les trois années les plus récentes ne sont pas prises en compte lors de nos calculs.

La vitesse de croissance est très variable d'une année à l'autre le long d'un rhizome, avec des valeurs qui oscillent entre 4 mm et 10 mm (Figure 15). La vitesse de croissance moyenne est de $4,4 \pm 1,4$ mm par an. Cette valeur est similaire à celle obtenue, au niveau de la même station, par BOUDEFOUA & KADA (2007), qui est de 5,5 mm/an Selon BOUDOURESQUE & JEUDY DE GRISSAC (1983), un allongement inférieur à 7 mm/an traduit une croissance d'origine endogène c'est-à-dire qu'elle n'est pas sous l'influence d'un apport sédimentaire (facteur exogène) trop important, qui pourrait ensevelir le point végétatif des rhizomes. En effet, à l'Anse de Kouâli, l'herbier se développe sur un substrat rocheux avec de faibles apports sédimentaires, d'où un déchaussement des rhizomes important et un ralentissement de la vitesse de croissance des rhizomes.

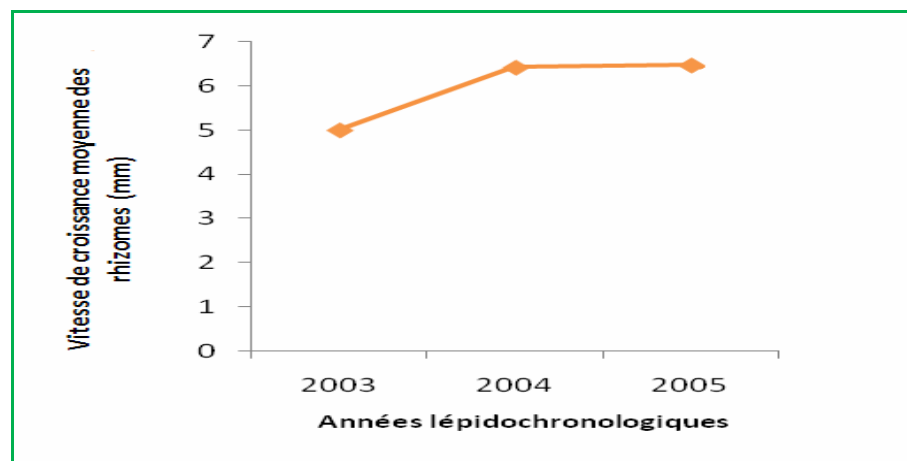


Figure15: Evolution de la vitesse de croissance moyenne des rhizomes en fonction des années lépidochronologiques.

3.4. Paramètres biométriques

3.4.1. Nombre de feuilles par faisceau

Le nombre moyen des feuilles globales (Adultes et Intermédiaires) est de $6,5 \pm 1,3$, avec $3,3 \pm 0,9$ de feuilles adultes et $3,2 \pm 0,7$ de feuilles intermédiaires. BOUDEFOUA & KADA (2007) on note au niveau de la même station, que le nombre de feuilles intermédiaires est inférieur à celui des feuilles adultes en été et en automne et la tendance s'inverse en hiver et au printemps. Quant au nombre de feuilles, il est du même ordre de grandeur que celui enregistré par ces mêmes auteurs.

3.4.2. Longueur des feuilles

La longueur moyenne des feuilles globales (Adultes et Intermédiaires) est de $556,14 \pm 70,6$ mm, avec $628,8 \pm 111,3$ mm pour les feuilles adultes et $489,4 \pm 89$ mm pour les feuilles intermédiaires. Ces résultats sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus par BOUDEFOUA & KADA (2007) dans la même localité et durant la même saison.

3.4.3. Largeur des feuilles

La largeur moyenne des feuilles globales (Adultes et Intermédiaires) est de $11 \pm 0,5$ mm ; elle est de $11,4 \pm 0,6$ pour les feuilles adultes et de $10,7 \pm 0,5$ pour les feuilles intermédiaires. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles relevées au sein de la même station par BOUDEFOUA & KADA (2007).

Les feuilles adultes sont plus larges que les feuilles intermédiaires, en effet la largeur des feuilles augmente généralement avec le rang de celle-ci, les feuilles les plus externes, donc les plus âgées, sont généralement les plus larges, et ce quelles que soient la station et la période de l'année (THELIN & GIORGI, 1984).

3.4.4. Coefficient « A »

Le Coefficient A correspond au pourcentage des feuilles ayant perdu leurs apex (pression des herbivores et /ou de l'hydrodynamisme).

La valeur du coefficient « A » est de $45,3 \pm 0,2$ % pour les feuilles globales. Pour les feuilles adultes il est de $71,8 \pm 28,0$ % et $20,8 \pm 28,16$ % pour les feuilles intermédiaires. On constate que le coefficient A des feuilles intermédiaires est nettement inférieur à celui des feuilles adultes. Ce coefficient est toujours élevé pour les feuilles adultes du fait de leur position à la périphérie des faisceaux et à la présence importante des épiphytes, ce qui favorise l'action des consommateurs et celle de l'hydrodynamisme (MAZZELLA & *al.*, 1983).

Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles obtenues par BOUDEFOUA & KADA (2007) au niveau de la même localité et durant la même saison.

3.4.5. Surface foliaire

La surface foliaire des feuilles globales, exprimée en $\text{cm}^2/\text{faisceau}$, intègre à la fois la longueur, la largeur et le nombre des feuilles par faisceau de chaque type de feuille. C'est un paramètre synthétique de la physiologie de la plante (SILVESTRI, 1993).

La surface foliaire des feuilles globales est de $410.2 \pm 97,3 \text{ cm}^2/\text{faisceau}$, celle des feuilles adultes est de $238,9 \pm 81,6 \text{ cm}^2/\text{faisceau}$ et celle des feuilles intermédiaires est de $168,2 \pm 52,7 \text{ cm}^2/\text{faisceau}$. Ces valeurs sont plus élevées que celles enregistrées par BOUDEFOUA & KADA (2007) au sein de la même station.

3.4.6. Indice foliaire

L'indice foliaire des feuilles globales exprimées en (m^2/m^2) dépend de la surface foliaire et de la densité. L'indice foliaire des feuilles globales est de $66,3 \pm 26,2$. Cet indice est élevé et témoigne de la bonne vitalité de l'herbier à *Posidonia oceanica* de l'Anse de Kouali (BOUMAZA & SEMROUD, 2000).

3.5. Biomasse des feuilles et des épiphytes des feuilles

Les résultats sont présentés dans le tableau 9 ; les valeurs moyennes sont exprimées en $\text{mg}/\text{faisceau}$ et en g/m^2 en multipliant par la densité.

Tableau 9 : Biomasses moyennes des feuilles et des épiphytes des feuilles exprimées en $\text{mg}/\text{faisceau}$ et en g/m^2 .

Type de feuilles	Feuilles		Epiphytes	
	$\text{mg}/\text{faisceau}$	g/m^2	$\text{mg}/\text{faisceau}$	g/m^2
Adultes	2259.4 ± 1886.6	1.9 ± 1.3	62.3 ± 26.8	0.063 ± 0.025
Intermédiaires	700.1 ± 388.5	0.7 ± 0.4	19.3 ± 18.7	0.020 ± 0.018
Globales	2959.3 ± 680.9	2.7 ± 1.4	81.9 ± 29.3	0.082 ± 0.030

La biomasse moyenne des feuilles adultes ainsi que celles des épiphytes des feuilles adultes sont largement supérieures à celles des feuilles intermédiaires et des épiphytes des feuilles intermédiaires. Les biomasses moyennes exprimées en $\text{mg}/\text{faisceau}$ des deux catégories de

feuilles sont plus élevées que celles enregistrées par BOUDEFOUA & KADA (2007) au sein de la même station.

3.6. Prise et description des photographies

Les photographies des balises prises depuis les piquets photos (2 photos par balise excentrées à droite et à gauche de la balise) sont numérisées puis traitées avec le logiciel Photo Shop. Ce qui a permis d'obtenir 12 photos avec un champ d'observation beaucoup plus grand de part et d'autre des balises. Malgré la dominance de la longueur d'onde de couleur bleue, qui résulte du manque de pénétration de la lumière à cette profondeur et de la qualité du cliché, ces photos donnent un certain nombre de renseignements.

Ces photographies seront reprises lors du suivi ultérieur de cette limite de manière à comparer et préciser l'évolution de l'herbier au niveau de l'herbier balisé.

Balise 1

La balise est fixée en avant de la limite inférieure au contact d'une touffe de Posidonies, où l'herbier présente la densité la plus élevée. De part et d'autre de la balise, il y a une grande accumulation de macroalgues et de feuilles mortes de Posidonies (litière).

Balise 2

La balise 2 se trouve au contact d'une limite continue ; en aval la présence de macroalgue est observée.

Balise 3

La balise 3 est en contact de l'herbier continu formé par des touffes rapprochées entourées d'algues ainsi que d'une litière.

Balise 4

La balise 4 se trouve au fond d'une importante invagination, constituée d'un petit chenal en sablé. En aval, le substrat est colonisé par des algues, avec la présence d'une importante litière.

Balise 5

Idem que pour la balise 4.

Balise 6

La balise 6 se trouve en avant de la limite, au contact d'un îlot de Posidonies ; l'herbier y est plus ou moins continu, avec une invagination à sa droite. En aval, la présence d'algues et l'accumulation d'une litière tout autour est noté.

Balise 7

La balise 7 est en contact de touffes rapprochées, à l'intérieur d'une invagination de l'herbier dans laquelle il y a la présence d'algues et une accumulation de litière en aval de la balise.

Balise 8

La balise 8 est placée au niveau de la limite franche de l'herbier. Une abondance de macroalgue à droite est notée.

Balise 9

Idem que pour la balise 8.

Balise 10

La balise 10 se trouve en contact d'une limite régulière ; l'herbier est sous forme de touffes plus ou moins rapprochées. Il y a présence d'algues en aval de la balise.

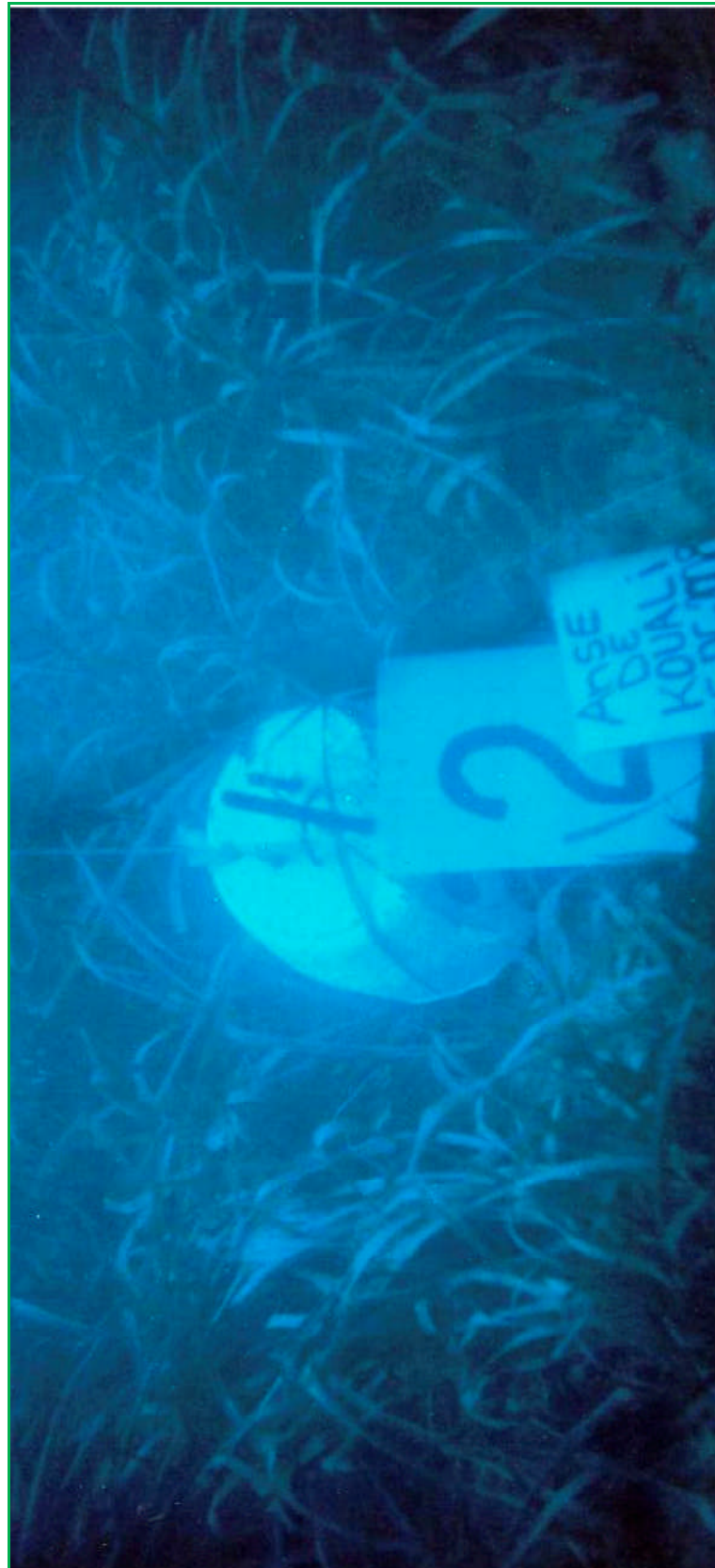
Balise 11

La balise 11 est au contact de l'herbier, le substrat est totalement colonisé par des macroalgues.

Balise 12

La balise 12 est en contact avec l'herbier installé sur substrat dur et présente une densité importante par rapport aux autres balises. En aval il y a une grande quantité d'algues et la balise est entourée d'une litière.

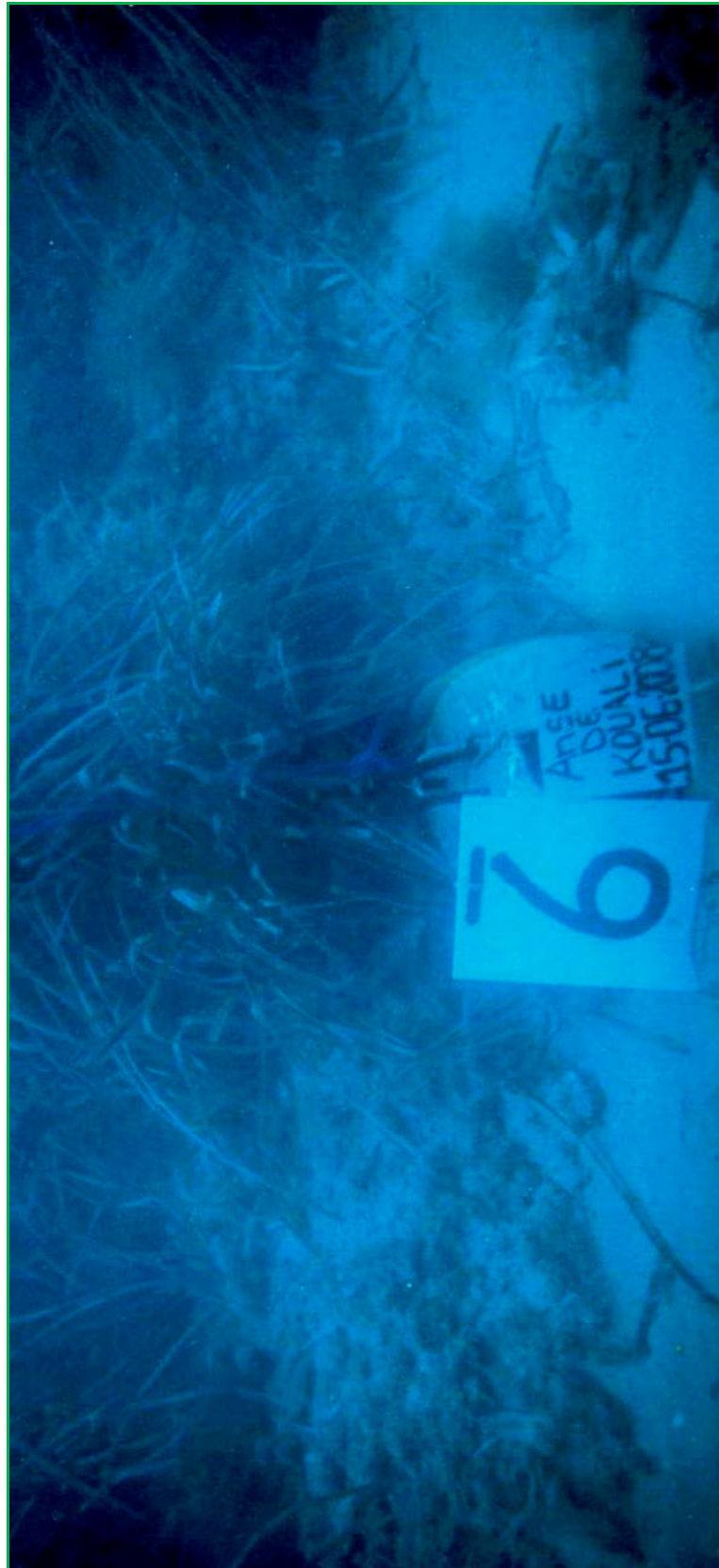




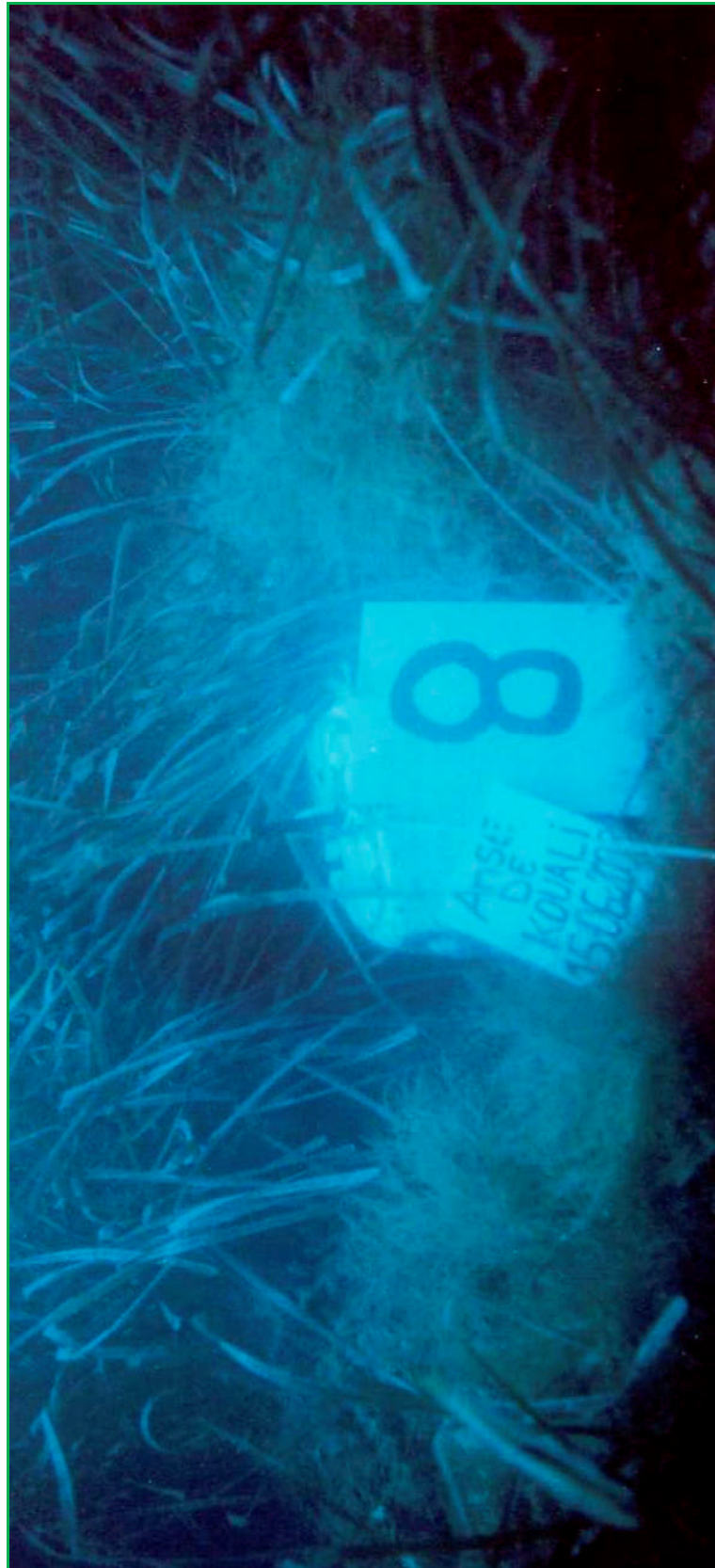


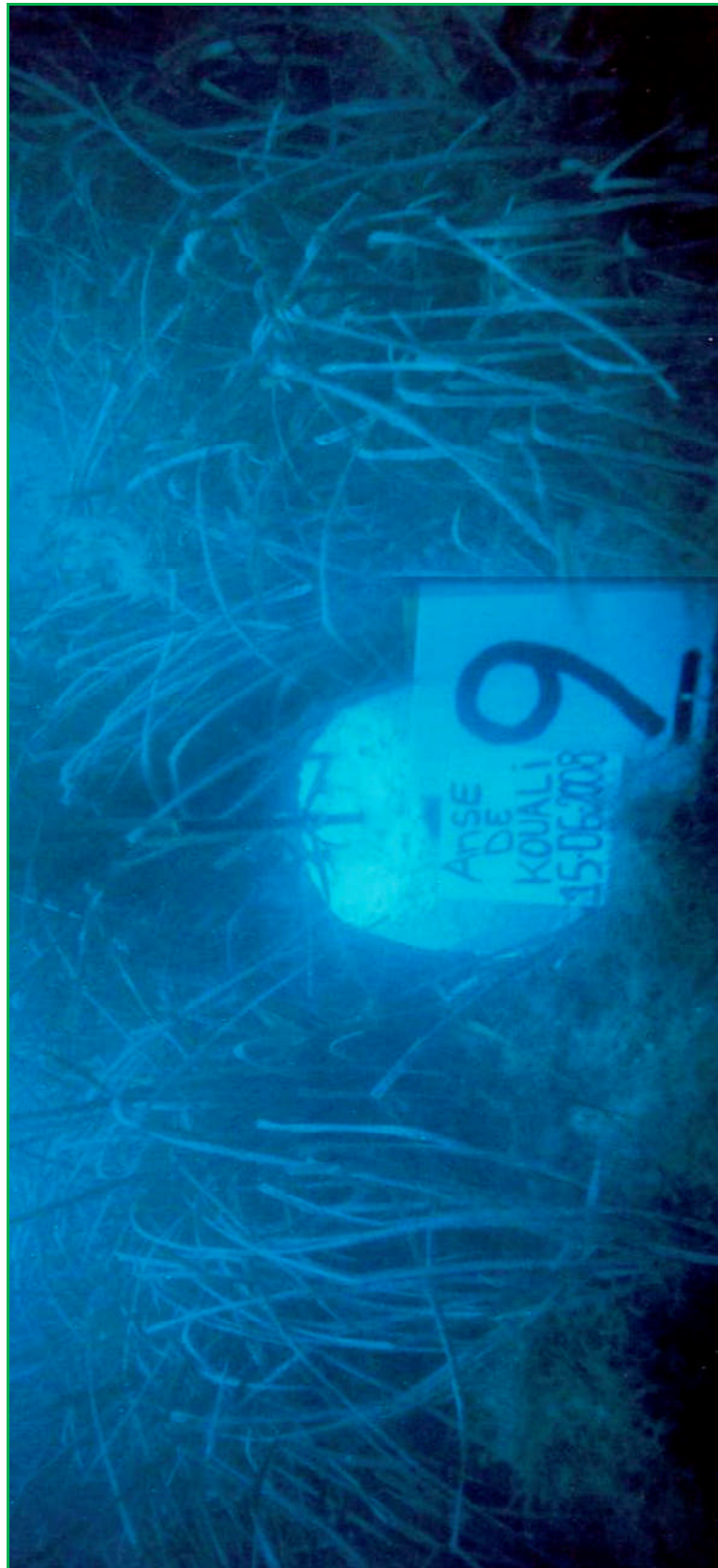






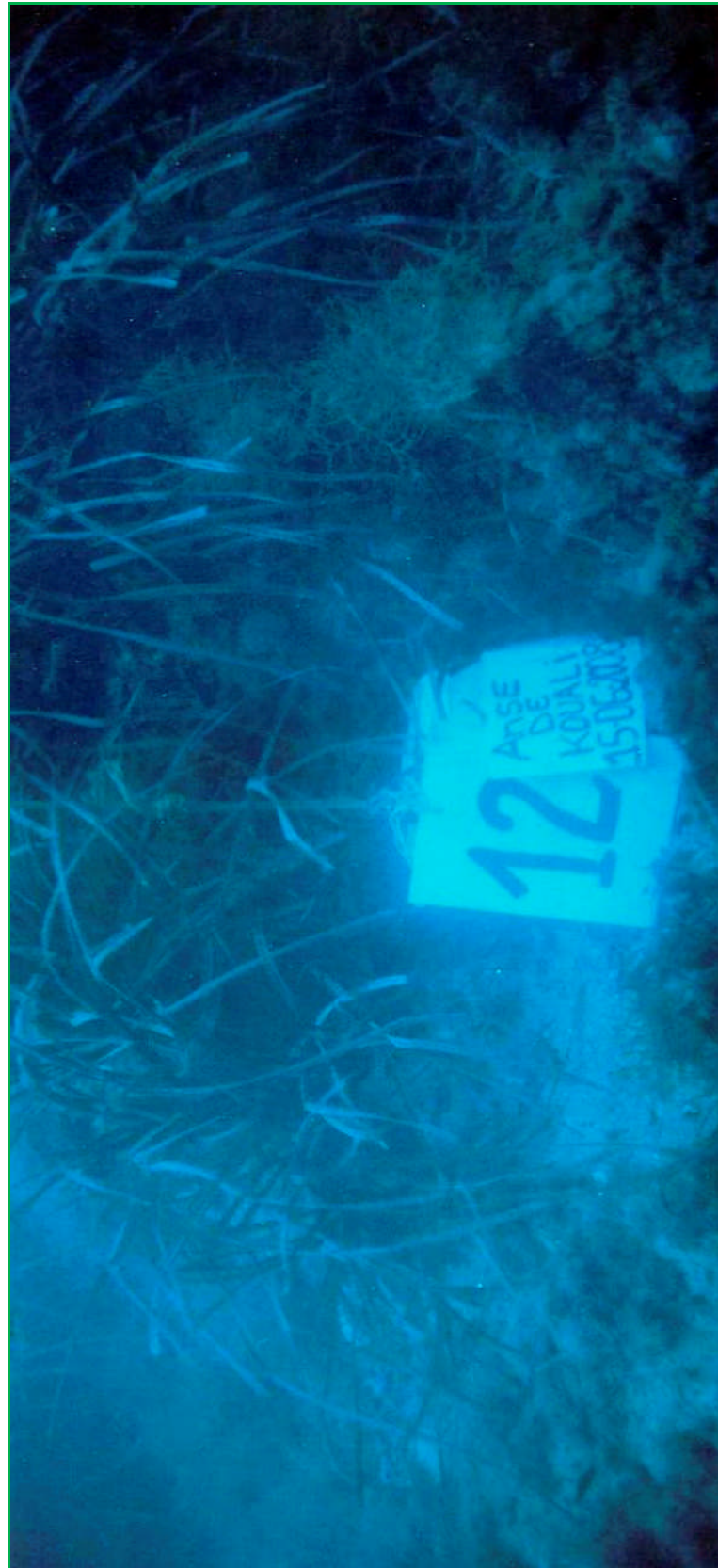












Conclusion générale

Ce travail réalisé en juin 2008 a permis de mettre en place un balisage le long d'une portion de la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* de l'Anse de Kouâli. Ce site correspond à une zone très peu anthropisée et est considéré comme zone de référence dans la baie de Bou Ismaïl.

La limite inférieure de l'herbier de ce site est située à 18,3 m de profondeur en moyenne. L'herbier se développe sur substrat rocheux, sans édification de matte et ne montre pas de dynamique d'extension vers le large ; c'est une limite franche. Le déchaussement des rhizomes est relativement important à certains endroits, ce qui indique un bilan sédimentaire négatif, contribuant à leur fragilité vis-à-vis des courants de fond.

Le recouvrement de l'herbier est variable, il est compris entre 15 et 57,5 % ; densité moyenne de 174 faisceaux/m², il est de ce fait classé herbier très clairsemé de type IV (sub-normale).

Les paramètres de biométrie foliaire et de biomasse mesurés montrent que l'herbier présente une bonne vitalité, ce qui vient conforter les résultats obtenus par BOUMAZA (1995) et AMAROUCHE (2005).

L'étude lépidochronologique a montré le faible taux de croissance des rhizomes, qui résulte des faibles apports sédimentaires et l'absence d'édification de matte.

Les résultats de tous ces paramètres montrent que l'herbier à *Posidonia oceanica* de l'Anse de Kouâli présente une bonne vitalité, sans toutefois présenter une dynamique de colonisation.

L'intérêt et l'originalité de la mise en place d'un tel système de surveillance basé sur le balisage sont de suivre à long terme la dynamique évolutive et l'état de vitalité des herbiers de Posidonies, utilisés comme bio-indicateurs de la qualité globale du milieu. Ce type de système permettra de détecter toute altération de la qualité de l'eau, se traduisant par une régression de la limite inférieure.

L'efficacité de cette technique est cependant conditionnée par la visite régulière (au minimum tous les trois ans) des structures mises en place. Toutefois, il sera nécessaire de vérifier l'ancrage des balises tous les six mois en moyenne, car celles-ci n'ont pas pu être fixées profondément à cause de la nature rocheuse du substrat.

Ce travail devra être complété par une étude de la granulométrie du sédiment et une mesure du déchaussement des rhizomes, afin de mettre en évidence la dynamique sédimentaire.

AMAROUCHE., 2005. Contribution à l'étude de l'accumulation et de la mémorisation des métaux traces (Hg, Zn, Cu) par *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile dans la baie de Bou Ismail. Thèse de Magister, USTHB., Alger : 1-140.

BAY D., 1978. « *In situ* » de la production primaire d'un herbier de Posidonie (*Posidonia oceanica* (L.) Delile) de la baie de Calvi, Corse. *Progr. Rép. Sm. Océanogr.* Stareso, Univ. Liège, Belg., 18 : 1-251+ 6p non num.

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. Océano. Bio., Univ. Aix-Marseille II, Rr. : 1-43.

BENGRINE L., GUELMAMI A., 2007. Mise en place d'un système de surveillance de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile de Bou Ismail. Mémoire d'ingénieur, Option environnement marin, ISMAL, Alger : 1-66.

BLANC J. J., JEUDY DE GRISSAC A., 1978. Recherche de géologie sédimentaire sur les herbiers à Posidonies du littoral de la Provence. Centre nation. Exploit. Océans, edit ., Fr., i-vii,: 1-185 + 42 pl. h. t.

BOUDEFOUA N., KADA M., 2007. Les variations saisonnières des paramètres biométriques et lépidochronologiques des herbiers à *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile dans la baie de Bou Ismail. Mémoire d'ingénieur, Option environnement, ISMAL, Alger : 1-43.

BOUDOURESQUE C.F., 1996. Impact de l'homme et conservation du milieu marin en Méditerranée ; 2^{ème} Eds., GIS Posidonie : 1-243.

BOUDOURESQUE C. F., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONNEL E., DIVIACCO G., MEINESZ A., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S., TUNESI L., 2006. Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. Edit. RAMOGE publ. : 1-202.

BOUDOURESQUE C. F., CROUZET A., PERGENT A., 1983. Un nouvel outil au service de l'étude des herbiers à *Posidonia oceanica* : la lépidochronologie. *Rapp. P. V. Réunion. Comm. Internat. Explor. Sci. Médit.*, 28 (3) : 111-112.

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

BOUDOURESQUE C. F., JEUDY DE GRISSAC A., 1983. L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée: les interactions entre la plante et le sédiment. *J. Rech. océanogr.*, Fr., 8 (2.3) : 99-122.

BOUDOURESQUE C. F., JEUDY DE GRISSAC A., MEINESZ A., 1984. Relation entre la sédimentation et l'allongement des rhizomes orthotropes de *Posidonia oceanica* dans la baie d'Elbu (Corse). Boudouresque., Jeudy de Grissac A. & Olivier J. edit., *International workshop on Posidonia oceanica Beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 158-191.

BOUDOURESQUE C. F., MEINESZ A., LEDOYEN M., VITIELLO P., 1994. Les herbiers à phanérogames marines. *In* les biocénoses Marines et Littorales des Méditerranée : Synthèse, menaces et perspectives. Bellan-Santini D., Lacaze J-C., Poizat C., édit. Collection Patrimoines Naturels- Volume N°19. Série Patrimoine Ecologique, Paris : 98-118.

BOUDOURESQUE C. F., RIBERA M., 1995. Les espaces protégés marins en Méditerranée : Situation actuelle, problème et priorités. *Colloque international « Les zones protégées en Méditerranés »*. CERP publ., Tunis : 93-142

BOUMAZA S., 1995. Phénologie, biomasse, lépidochronologie et production primaire de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile de l'anse de kouâli, Tipaza (Algérie). Thèse de Magister en océanologie, ISMAL, Alger : 1-125 + Annexes.

BOUMAZA S., SEMROUD R., 2000. Evaluation of past and present primary production in *Posidonia oceanica* beds from the cove of Kouâli (Tipaza, Algeria) using the lepidochronological method. *Biol. Mar., Médit.*, 7 (2): 26-30.

CAYE G., 1980. Analyse du polymorphisme caulinaire chez *Posidonia oceanica* (L.) Delile. (2) *Bull. Soc. Bot. Fr. Lett. Bot.*, 127 (3): 257-262.

CAYE G., 1989. *Sur la morphogenèse, le cycle végétatif et la reproduction de deux phanérogames: Posidonia oceanica (Linnaeus) Delile et Cymonodocea nodosa (Ucria) Ascherson.* Thèse d'habilitation à diriger des recherches, Univ. Nice, Fr. : 1-229.

CAYE G., MEINESZ A., 1992. Analyse des modalités de la multiplication végétative et de la reproduction sexuée de *Posidonia oceanica* et de ses conséquences sur la constitution génétique des herbiers. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 33 : 32.

CHARBONNEL E., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., BERNARD G., BONHOMME P., PATRONE J., KRUCZEK R., COTTALORDA J. M., BERTRANDY M.C., FORET P., RAGAZZI M., LE DIREAC'H L., 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.* : 1-76.

CHARBONNE E., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., CADIOU G., BONHOMME P., COTTALORDA J.M., PATRONE J., KRUCZEK R., BERTRANDY M.C., FORET P., BRICOUT P., MARRO C., LE DIREACH L., 2003. Le Réseau de surveillance Posidonies de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur : *Résultats du suivi 2002*. GIS Posidonie publ. Fr. : 1-176.

CHARBONNEL E., BOUDOURESQUE C. F., MEINESZ A., PERGENT-MARTINI C., RICO-RAIMONDINO V., SAN-MARTINE., BERTRANDY M C., FORET P., RAGAZZIM., LECCIA G., 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. : 1-193.

DUARTE., 1991. Seagrass depth limits. *Aquat.Bot.*, 40 :363-377.

- DREW E. A., 1971.** Botany. Underwater science. An introduction to experiments by divers. Woods & Lithogoe edit., London,; 1-59.
- DREW E.A., JUPP B.P., 1976.** Somme aspects of the growth of *Posidonia oceanica* in Malta. In: Underwater Research. Academic Press publ., London: 357-367.
- FRANCOUR., 1994.** Impact du mouillage sur l'herbier à *Posidonia oceanica* dans le parc national de port-cros. (Var, Méditerranée Nord-occidentale).GIS :Posidonie publication, Marseille, Fr. : 1-19.
- GAMBI M. C., BUIA C., CASOLA E., SCARDI M., 1989.** Estimates of water movements in *Posidonia oceanica* beds: a first approach. *International workshop on Posidonia oceanica Beds*, Boudouresque C. F., Meinesz A. & Gravez V., edit. GIS Posidonie publ., Fr., 2: 101-112.
- GAMBI M. C., BUIA M., MAZZELLA M., 1996.** Record of diffuse germination of *Posidonia oceanic* (L.) Delile in the central Adriatic sea. *Biol. Mar. Médit.*, 3 (1): 467-470.
- GIRAUD G., 1979.** Sur une méthode de mesure et de comptage des structures foliaires de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille*, Fr., 39: 33-39.
- GIRAUD G., 1977a.** Recensement des floraisons de *Posidonia oceanica* (L.) Delile en Méditerranée. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, Monaco, 24 (4) : 126-130.
- GIRAUD G., 1977b.** Essai de classement des herbiers de *Posidonia oceanica* (Linné) Delile. *Bot. Mar.* 20(8) : 487-491.
- GRENIER C., 1860.** Recherches sur le *Posidonia caulini* Koenig. *Bull. Soc. bot. Fr.*, 7 (5-6) : 448-456.
- LE GALL J. Y., 1969.** Etude de l'endofaune des pelouses de Zostéracées superficielles de la baie de Castiglione (côte d'Algérie).*Téthys*, 1 (2): 395-420.
- LIBES., 1984.** production primaire d'un herbier à *Posidonia oceanica* mesurée in-situ par la méthode du carbone 14.thèse de Doctorat spécialité ecologie,Univ .AIX-Marseille II ,Fr 1-199.
- MAZELLA L., GAMBI M.C., RUSSO G.F., WITTMAN J.K., 1983.** Folowering in *Posidonia oceanica* (L.) Delil prairies around the Island of Ischia (Gulf of Naples). *Rapp. P.V. Réunion. Commiss. Internat. Explor. Sci. Médit.* 28 (3) : 117-119.
- MEINESZ A., LAURENT R., 1978.** Cartographie et état de la limite inférieur de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-Maritimes (France).Campagne Poséidon 1976. *Botanica Marina*, Germ., 21 (8): 513-526.
- MEINESZ A., LEFEVRE., 1984.** Régénération d'un herbier de *Posidonia oceanica* quarante années après sa destruction par une bombe dans la rade de villefranche (Alpes Maritimes, France). *Internationnal workshop on Posidonia oceanica Beds*, BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., OLIVIER J. edit. GIS.POSIDONIE publ, Fr., 1 : 39-44.

- MOLENAAR H., 1992.** *Etude de la transplantation de boutures de Posidonia oceanica (L.) Delile, phanérogames marines. Modélisation de l'architecture et du mode de croissance.* Thèse Doct. Univ. Nice Sophia-Antipolis, Fr. : 1-221.
- MOLINIER R., PICARD J., 1952.** Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Ann. Inst. Océanogr.* Paris, 27 : 157-234.
- MOLINIER R., ZEVACO., 1962.** Etudes écologiques et biocénétiques dans la baie de brusc (Var). Etude statistique et physiologique de la croissance des feuilles de posidonies (*Posidonia oceanica*, Delile) *Bull. Inst. Oceanogr. Monaco*, 1234 (3). 1-5.
- 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.
- PERGENT G., 1987.** Recherches lépidochronologiques chez *Posidonia oceanica* (Potamogetonaceae). Fluctuations des paramètres anatomiques et morphologiques des écailles des rhizomes. Thèse Doct. océanol. Univ. Aix-Marseille II, Fr., : 1-853.
- PERGENT G., 1991.** Les indicateurs écologiques de la qualité du milieu marin en Méditerranée. *Oceanis*, 17 (4): 341-350.
- PERGENT G., 1993.** L'herbier à *Posidonia oceanica* (L) Delile : approche structurelle, fonctionnelle et appliquée. Diplôme d'habilitation à Diriger des Recherches université de Corse spécialité écologie Fr. :1-145.
- PERGENT G., BOUDOURESQUE C. F., CROUZET A., MEINESZ A., 1989.** Cyclic changes along *Posidonia oceanica* rhizomes (lepidochronology): present state and perspectives. *Marine Ecology, P S Z N I* 10 (3): 221-230.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 1990.** Some applications of lepidochronological analysis in the seagrass *Posidonia oceanica*. *Botanica Marina*, 33: 299-310.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 1994.** Etat des connaissances opérationnelles sur la contamination et les indicateurs de pollution chimique toxique du milieu marin- Biomarqueurs et Indicateurs Ecologiques-L'herbier à *Posidonia oceanica*. Contrat Agence de l'eau RMC et GIS Posidonie Centre de corse, France. : 1-94.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., BOUDOURESQUE C. F., 1995.** Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances. *Mésogée*, 54: 3-27.
- PERGENT G., RICO-RAIMONDINO V., PERGENT-MARTINI C., 1997.** Fate of primary production in *Posidonia oceanica* meadows of the Mediterranean. *Aquat. Bot.* 59: (3-4).
- PERGENT-MARTINI C., 1994.** *Impact d'un rejet d'eaux usées urbaines sur l'herbier à Posidonia oceanica avant et après la mise en service d'une station d'épuration.* Thèse Doct. Océanol., Univ. Corse, Fr. : 1-190.

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, Fr. : 1-298.

PIAZI L., CECCHERELLI G., MEINESZ A., VERLAQUE V., AKCALI B., ARGYROU M., BALATA D., BALLESTEROS E., CINELLI F., D'ARCHINO R., JAVEL J., MIFSUD C., PALA D., PANAYOTIDIS P., PEIRANO A., PERGENT G., PETROCELLI A., RUITTON S., ZULJEVIC A., 2005. Invasion of *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean sea: the balance of thirteen years of spread. *Cryptogamie, Algologie* 26: 189-202.

PNUE/UICN/GIS Posidonie, 1990. Livre rouge « Gérard Vuignier » des végétaux, peuplements et paysages marins menacés de Méditerranée. UNEP/IUCN/GIS Posidonie, MAP Technical Report Series n°43, UNEP, Athens : 1-250.

RICO V., PERGENT G., 1990. Evaluation de la production primaire de l'herbier à *Posidonia oceanica* de la baie de Porto Conte (Sardaigne) par le modèle lépidochronologique. *GIS Posidonie*, Marseille, Fr. : 1-136.

RICO-RAIMONDINO V., 1995. *Contribution à l'étude des stocks et flux d'éléments dans les herbiers à Posidonia oceanica.* Thèse Doctorat en écologie, Univ. Aix-Marseille II, Fr. : 1-248.

SEMROUD R., BOUMAZA S., BOUKORTT R., 1998. Surveillance de l'herbier à *Posidonia oceanica* au large de la grande plage d'El Djamilia (Baie de Bou Ismail, Algérie). *Rapport 1998, Secrétariat d'état à l'Environnement. Direction Générale de l'Environnement. Laboratoire de Biologie et d'Ecologie du phytobenthos*, ISMAL, Alger : 11-44.

SILVESTRI, 1993. Studio sinecologico sulla praterio di *Posidonia Oceanica* (L.) Delile di Monterosso al mare (SP): cartografia quali-quantitativa e dinarnica stagionale. Tesi, Univ. Roma, Ital. :1-97.

THELIN., GIORGI J., 1984. Production de feuilles dans un herbier superficiel à *Posidonia oceanica*, évaluée par une méthode dérivée de la méthode de Zieman. *International Workshop on Posidonia oceanica Beds*, BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A. & Olivier J. edit., GIS Posidonie publ., 1 : 271-276.

VERLAQUE M., AFONSO-CARRILLO J., GIL-RODRIGUEZ M.C., DURAND C., BOUDOURESQUE C.F., LE PARCO Y., 2004. Blitzkrieg in a marine invasion : *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Bryopsidales, Chlorophyta) reaches the Canary Islands (NE Atlantic). *Biol. Inv.* 6: 269-281.

Figure 1 : Un rhizome plagiotrope de <i>Posidonia oceanica</i> portant des racines ainsi que des rhizomes orthotropes avec des faisceaux de feuilles à leurs extrémités (BOUDOURESQUE & al., 2006)	4
Figure 2 : Bloc diagramme montrant la structure d'une matre (BOUDOURESQUE & MEINESZ, 1982)	5
Figure 3 : Coupe théorique à travers un lagon et un récif-barrière de Posidonie (BOUDOURESQUE & MEINESZ, 1982)	6
Figure 4 : Carte représentant la localisation géographique de l'Anse de Kouâli dans la baie de Bou Ismaïl. (PAC, 2005 ; Google Earth, 2008)	10
Figure 5 : Photos représentant trois balises : (A) percée de trois orifices pour l'enfoncement des piquets d'ancrage, (B) trois piquets en fer à béton enfoncés et (C) balise avec plaque en PVC et flotteur numéroté.....	12
Figure 6 : Protocole de mise en place des balises le long de la limite inférieure de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> (CHARBONNEL & al.,2000).....	14
Figure 7 : Relevé des positions des balises et des piquets-photos	15
Figure 8 : Différent types de limites inférieures de <i>Posidonia oceanica</i> (MEINEZ & LAURENT, 1978 modifié par BOUDOURESQUE)	17
Figure9 : Photo représentant les cycles lépidochronologiques de <i>posidonia oceanica</i> avec les tronçons de rhizomes correspondants.....	21
Figure10 : Photo représentant la dissection d'un faisceau de <i>posidonia oceanica</i>	22
Figure 11 : Localisation du balisage.....	24
Figure12 : Plan du balisage et position des 12 balises avec leurs piquets photos	26
Figure13 : Cartographie de la limite inferieur balisée.....	28
Figure14: Evolution du nombre moyen d'écailles par cycle	30
Figure15: Evolution de la vitesse de croissance moyenne des rhizomes en fonction des années lépidochronologique	31

Tableau 1 : Interprétation de la vitalité de l’herbier à <i>Posidonia oceanica</i> en fonction des pourcentages de recouvrement moyens estimés le long du balisage en limite inférieure (CHARBONNEL & al., 2000).....	18
Tableau 2 : Classification de l’herbier à <i>Posidonia oceanica</i> selon la densité de faisceaux de feuilles au m ² (GIRAUD, 1977).....	18
Tableau 3 : Classification de l’herbier à <i>Posidonia oceanica</i> en fonction de la densité des faisceaux et de la profondeur (PERGENT-MARTINI, 1994 & PERGENT & al., 1995)	19
Tableau 4 : Profondeurs mesurées à l’aide d’un profondimètre électronique au niveau des balises de la limite inférieure de l’herbier à <i>Posidonia oceanica</i>	25
Tableau 5 : Orientations de balise à balise (B à B) et de piquet photo à balise (P à B) à l’aide d’un compas de relèvement ; les angles sont donnés en degré.....	26
Tableau 6 : Estimation moyenne du pourcentage du recouvrement en limite inférieure en arrière de chaque balise	28
Tableau 7 : Densité moyenne des faisceaux par m ² mesurée derrière chaque balise.....	29
Tableau 8 : Principales espèces constituant la macrofaune pélagique de l’herbier a Posidonie au niveau du balisage.....	29
Tableau 9 : Biomasses moyennes des feuilles et des épiphytes des feuilles exprimées en mg/faisceau et g/m ²	33

Biomasse des feuilles et des épiphytes (g)

Numéro du faisceau	Feuilles adultes	Feuilles intermédiaires	Feuilles totales	Épiphyte des feuilles adultes	Épiphyte des feuilles intermédiaires	Épiphyte des feuilles totales
1	2.0126	0.3603	2.3729	0.0684	0.0138	0.0822
2	2.9678	0.2596	3.2274	0.0565	0.0076	0.0641
3	1.0078	1.3368	2.3446	0.1138	0.0170	0.1308
4	1.2607	0.7393	2.0000	0.0605	0.0378	0.0983
5	5.0804	0.4821	5.5625	0.0729	0.0334	0.1063
6	2.4829	0.4821	2.965	0.0751	0.0218	0.0969
7	2.5400	0.4108	2.9508	0.0788	0.0114	0.0902
8	4.3407	1.4410	5.7817	0.0675	0.0207	0.0882
9	4.5783	0.4518	5.0301	0.0663	0.0207	0.0840
10	0.9481	0.4609	1.409	0.0471	0.0132	0.0603
11	1.7115	0.6906	2.4021	0.0973	0.0178	0.1151
12	5.1362	0.7123	5.8485	0.0574	0.0144	0.0718
13	2.8088	0.3603	3.1691	0.1333	0.0069	0.1402
14	1.9647	0.6622	2.6269	0.0429	0.1057	0.1486
15	1.7569	1.2263	2.9832	0.1037	0.0113	0.1150
16	1.8262	0.7041	2.5303	0.0424	0.0108	0.0532
17	1.1046	2.1190	3.2946	0.0511	0.0046	0.0557
18	2.4879	0.6813	3.1692	0.0690	0.0030	0.0720
19	1.5650	0.7859	2.3509	0.0809	0.0230	0.1039
20	1.6559	0.2735	1.9294	0.0650	0.0176	0.0826
21	1.148	0.8162	1.9642	0.0448	0.0129	0.0577
22	0.5933	0.5936	1.1869	0.0535	0.0310	0.0845
23	0.9300	0.6306	1.5606	0.0220	0.0260	0.0480
24	1.1050	0.5914	1.6964	0.0444	0.0118	0.0632
25	0.7965	0.8705	1.667	0.0250	0.0228	0.0478
26	1.0379	0.4627	1.5006	0.0759	0.0256	0.1015
27	1.0972	0.5792	1.6764	0.0411	0.0050	0.0461
28	0.8461	0.7038	1.5499	0.0458	0.0100	0.0558
29	0.9379	0.4205	1.3584	0.0603	0.0047	0.0650
30	0.4622	0.6864	1.1486	0.0224	0.0134	0.0358

Densité des faisceaux

Numéro de la balise	Premier comptage	Deuxième comptage	Troisième comptage	Moyenne
B1	3	10	13	8.66
B2	7	8	3	6
B3	3	15	6	8
B4	5	14	10	9.66
B5	6	6	4	5.33
B6	2	7	12	7
B7	10	5	3	6
B8	7	9	5	7
B9	6	7	12	8.33
B10	4	6	3	4.33
B11	9	6	9	8
B12	6	7	5	6

Estimation du recouvrement

Numéro de la balise	Pourcentage du recouvrement	
	Première observation	Deuxième observation
B1	57	57
B2	50	55
B3	45	40
B4	45	40
B5	25	35
B6	30	30
B7	55	60
B8	10	20
B9	40	35
B10	35	40
B11	35	35
B12	30	30

Lépidochronologie

Tableau 1 : Nombre moyen d'écailles par cycle.

		Année lépidochronologique					
		2008	2007	2006	2005	2004	2003
Numéro du rhizome	Rh 1	3	7	10			
	Rh 2	1	8	9	11		
	Rh 3	2	7	8			
	Rh 4	3	6	8	8		
	Rh 5	2	8	9	11		
	Rh 6	9	8	3			
	Rh 7	9	9	3			
	Rh 8	8	10	8	2		
	Rh 9	2	9	9	11		
	Rh 10	2	8	5	7	7	
	Rh 11	2	8	8	10	10	
	Rh 12	9	4				
	Rh 13	2	9	8	8		
	Rh 14	7	10	2			
	Rh 15	2	9	8	9		
	Rh 16	2	7	11	10		
	Rh 17	3	6	8			
	Rh 18	2	10	8			
	Rh 19	2	7	10	8		
	Rh 20	3	9	8			
	Rh 21	3	9	10	8		
	Rh 22	7	8	8	7	7	11
	Rh 23	4	8	11			
	Rh 24	2	8	9	9		
	Rh 25	9	7				
	Rh 26	3	8	9	8	10	
	Rh 27	4	6	9	7		
	Rh 28	7	7	7	8	8	
	Rh 29	2	8	9	9	9	
	Rh 30	3	8	10	9	10	
	Moyenne	4.033	7.866	8.035	8.421	8.714	11.000

Tableau 2 : Longueur des rhizomes produits par cycle lépidochronologique (mm).

N° Rhizome		Année lépidochronologique					
		2008	2007	2006	2005	2004	2003
Numéro du rhizome	Rh 1	2	5	5			
	Rh 2	2	6	4	7		
	Rh 3	1	5	4			
	Rh 4	2	4	5	10		
	Rh 5	2	4	7	7		
	Rh 6	1	9	7			
	Rh 7	2	4	6			
	Rh 8	2	4	6	8		
	Rh 9	2	8	8	8		
	Rh 10	2	3	4	5	6	
	Rh 11	6	6	6	5	8	
	Rh 12	7	10				
	Rh 13	2	6	7	6		
	Rh 14	2	5	4			
	Rh 15	5	6	4	9		
	Rh 16	1	5	8	8		
	Rh 17	2	3	4			
	Rh 18	1	6	8			
	Rh 19	3	4	4	6		
	Rh 20	2	5	5			
	Rh 21	3	6	6	6		
	Rh 22	3	5	4	4	7	5
	Rh 23	2	4	5			
	Rh 24	1	3	6	6		
	Rh 25	6	9				
	Rh 26	3	4	7	4	5	
	Rh 27	3	5	8	5		
	Rh 28	3	4	5	5	9	
	Rh 29	2	4	3	7	5	
	Rh 30	3	4	5	7	5	
	Moyenne	2.600	5.200	5.535	6.473	6.428	5.000

Phénologie

1	LB	LT	L	2	LB	LT	L	3	LB	LT	L
A	38	490	12	A	30	855	11	A	40	375	12
	40	850	12		45	233	12		13	(772)	11
	30	(958)	12		20	(792)	11		32	685	11
	20	(917)	12								
I		(749) (266)	11 11	I		(580) (192)	11 11	I		(563) (700) (200)	11 11 11

4	LB	LT	L	5	LB	LT	L	6	LB	LT	L
A	10	880	12	A	35	697	12	A	36	(690)	12
	37	735	12		39	430	12		41	440	12
	40	410	12		9	(787)	12		16	(775)	11
I		(785) (250) (630)	12 11 11	I		740 475 (60)	12 12 11	I		(662) (457) (130)	11 11 11

7	LB	LT	L	8	LB	LT	L	9	LB	LT	L
A	31	415	12	A	50	590	12	A	55	(940)	11
	31	685	12		40	760	12		50	630	11
	35	312	12		50	749	11		50	315	12
	5	(722)	12						10	(1025)	11
I		(400) 620 90	10 11 10	I		(537) 685 1020 (150)	11 11 11 11	I		(795) (495) (85)	11 11 11

10	LB	LT	L	11	LB	LT	L	12	LB	LT	L
A	24	590	12	A	43	(755)	12	A	56	(1072)	11
	37	350	12		17	824	11		57	570	11
	12	(735)	11		45	418	12		25	(1110)	11
					47	202	12				
					40	805	12				
I		(635) (465) (55)	11 11 11	I		(850) (140) (260) (655)	11 11 11 11	I		(890) (580) (225) (640)	10 11 10 10

13	LB	LT	L	14	LB	LT	L	15	LB	LT	L
A	47	(318)	12	A	55	295	11	A	46	(780)	12
	30	(495)	12		53	490	12		43	595	12
	32	(1095)	12		45	617	11		42	370	12
	43	(95)	12						25	(945)	11
	48	(652)	12								
I		(755)	11	I		(110)	10	I		875	11
		(220)	11			(310)	10			(705)	11
						(760)	10			(280)	11
						(733)	11			(90)	10

16	LB	LT	L	17	LB	LT	L	18	LB	LT	L
A	55	410	12	A	30	809	11	A	55	(1042)	12
	50	990	11		39	580	11		50	524	12
	29	1150	11						59	745	12
	53	580	11						25	(1066)	11
I		(296)	10	I		(583)	11	I		(653)	11
		(65)	10			(75)	11			(934)	11
		745	11			(202)	10			(235)	11
		750	11							(72)	11

19	LB	LT	L	20	LB	LT	L	21	LB	LT	L
A	32	865	11	A	50	140	12	A	50	330	12
	43	736	11		53	313	12		50	(1040)	12
	43	285	11		48	598	12		53	710	12
	41	530	11		12	(947)	11				
I		817	11	I	44	(873)	12	I		(163)	11
		695	10			(105)	10			(455)	11
		(332)	10			(32)	11			(785)	11
		(101)	10			(810)	10			803	11
					(555)	10					

22	LB	LT	L	23	LB	LT	L	24	LB	LT	L
A	43	283	11	A	52	596	11	A	45	840	12
	39	665	10		51	225	12		20	986	11
I				I	45	855	11	I	30	80	11
		(690)	10			293	11			(592)	10
		(535)	11			910	10			(118)	10
	(386)	10			(665)	10		(845)	10		

25	LB	LT	L	26	LB	LT	L	27	LB	LT	L
	36	(752)	11		27	(690)	12		52	380	11
A	41	435	11	A	35	520	12	A	57	313	11
										53	541
									30	720	11
I		(820)	11	I		(540)	12	I		270	10
		(685)	11			(360)	11			70	10
		(480)	11			(695)	11			735	10
		(99)	11							655	10

28	LB	LT	L	29	LB	LT	L	30	LB	LT	L
	28	(820)	10		45	427	10		35	491	12
A	39	340	10	A	45	681	10	A	32	362	12
	35	530	10			21	795		10		
I		(113)	9	I		(192)	10	I		(708)	12
		(720)	10			(910)	10			(493)	11
		(592)	10			(595)	10			765	12

Abréviations

A : Adulte.

B : Balise.

I : Intermédiaire.

L : Largeur de la feuille.

LB : Longueur de la base.

LT : Longueur totale (base + limbe).

1, 2...: Numéro du rhizome.

Rh : Rhizome.