

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المعهد الوطني لعلوم البحر و تهيئة الساحل

Institut National des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT EN

SCIENCES DE LA MER

OPTION : ENVIRONNEMENT MARIN

THEME

**MISE EN PLACE D'UN SYSTEME DE SURVEILLANCE
DE L'HERBIER A *Posidonia oceanica* (L.) DELILE
DE BOU ISMAÏL**

Présenté par :

BENGRINE Liza et GUELMAMI Anis

Soutenu le 30/09/2007 devant les membres de jury composé de :

**M. BELHASNET K.
M^{me} MASSRALI F.
M^{lle} AMAROUCHE N.
M. SEMROUD R.
M^{me} BOUMAZA S.**

**Président
Examinatrice
Examinatrice
Co-promoteur
Promotrice**

Promotion 2007

SOMMAIRE

| | Page |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCTION..... | 01 |
| 1.1. Objectifs de cette étude..... | 02 |
| 1.2. Généralités sur l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> | 03 |
| 1.2.1. Importance de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> | 04 |
| 1.2.2. L'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> menacé..... | 05 |
| 1.2.3. <i>Posidonia oceanica</i> : indicateur biologique..... | 07 |
| 2. MATERIEL ET METHODES..... | 09 |
| 2.1. Description du site d'étude..... | 09 |
| 2.2. Mise en place du balisage..... | 12 |
| 2.2.1. Matériel..... | 12 |
| 2.2.2. Méthode..... | 13 |
| 2.3. Relevés et protocole d'observation..... | 17 |
| 2.3.1. Position des balises..... | 17 |
| 2.3.2. Observations et mesures | 18 |
| 2.4. Études associées..... | 22 |
| 2.4.1. Echantillonnage des rhizomes..... | 22 |
| 2.4.2. Lépidochronologie..... | 22 |
| 2.4.2.1. Définition..... | 22 |
| 2.4.2.2. Mode opératoire..... | 23 |
| 2.4.3. Phénologie..... | 23 |
| 2.4.3.1. Analyse biométrique..... | 23 |
| 2.4.4. Biomasse des feuilles et des épiphytes..... | 25 |
| 2.4.5. Granulométrie..... | 25 |
| 2.4.5.1. Prélèvement..... | 25 |
| 2.4.5.2. Analyse granulométrique..... | 25 |
| 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS..... | 28 |
| 3.1. Localisation du site du balisage..... | 28 |
| 3.1.1. Profondeur des balises..... | 30 |
| 3.1.2. Position et orientation des balises..... | 30 |
| 3.2. Mesures et observations <i>in situ</i> | 32 |
| 3.2.1. Description de la limite inférieure de l'herbier au niveau du balisage..... | 32 |
| 3.2.2. Estimation du recouvrement | 34 |
| 3.2.3. Densité de l'herbier | 34 |
| 3.3. Paramètres lépidochronologie..... | 35 |
| 3.3.1. Nombre d'écailles par cycle lépidochronologique..... | 35 |
| 3.3.2. Vitesse de croissance des rhizomes..... | 36 |
| 3.4. Paramètres biométriques | 37 |
| 3.4.1. Nombre de feuilles..... | 37 |
| 3.4.2. Longueur des feuilles..... | 37 |
| 3.4.3. Largeur des feuilles..... | 37 |
| 3.4.4. Le coefficient « A »..... | 37 |

SOMMAIRE

| | Page |
|---|-----------|
| 3.4.5. Surface foliaire..... | 38 |
| 3.4.6. Indice foliaire..... | 38 |
| 3.5. Biomasse des feuilles et des épiphytes des feuilles..... | 40 |
| 3.6. Analyse granulométrique du sédiment..... | 40 |
| 3.6.1. Analyse des fractions | 40 |
| 3.6.2. Caractéristiques des sédiments | 41 |
| 3.7. Prise et description des photographies | 43 |
| CONCLUSION..... | 56 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 58 |
| ANNEXES | |

INTRODUCTION

1. INTRODUCTION

La Posidonie, *Posidonia oceanica*, et les herbiers qu'elle constitue sont devenus, au cours des dernières décennies, un objectif majeur de protection et de gestion du milieu marin en Méditerranée (PERGENT, 1991 ; BOUDOURESQUE *et al.*, 1995 ; PERGENT-MARTINI, 2000 ; BOUDOURESQUE, 2003) ; en effet ce fragile écosystème joue un rôle fondamental, en terme de maintien de la biodiversité et de la productivité des zones côtières (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982).

Depuis quelque décennies, surtout aux abords des grands centres urbains, les herbiers sont rentrés en phase de régression de façon alarmante (MOLINIER et PICARD, 1952 ; BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982 ; MEINESZ *et al.*, 1985). Cette régression résulte le plus souvent de l'action conjointe de plusieurs nuisances liées aux activités anthropiques (aménagement, industrie, agriculture, aquaculture, tourisme, pêche, ...) (RAMADE, 1990).

Face à ce constat, il a été créé en 1984, sur l'initiative du Conseil Régional Provence-Alpes-Côte-d'Azur (PACA), le Réseau de Surveillance Posidonie (RSP). Pour ce faire, des systèmes de surveillance très performants ont été mis au point, ils consistent en l'installation de repères fixes au niveau des limites inférieures et supérieures des herbiers, de transects permanents et de carrés permanents afin de mettre en évidence le recul, la stabilité ou la progression de ces derniers (CHARBONNEL *et al.*, 2003). Par la suite, ce réseau a été élargi à l'ensemble des côtes méditerranéennes françaises (CHARBONNEL *et al.*, 2001), et à d'autres pays du bassin méditerranéen, dans le cadre du COAST 647 (Coopération Scientifique et Technique de la Commission des Communautés Européennes) (PERGENT-MARTINI, 2000). Ces réseaux poursuivent un double objectif : **(i)** la surveillance à long terme de l'évolution de l'état de santé des herbiers de Posidonie et **(ii)** l'utilisation de l'herbier comme indicateur biologique de la qualité des eaux littorales.

A l'instar de ces pays, l'Algérie a mis en place un Réseau de surveillance Posidonie suite aux recommandations faites à l'issue de l'atelier sur les techniques de mise en place des réseaux de surveillance de la végétation marine, initié par le Centre d'Activités Régionales pour les

Aires Spécialement Protégées (CAR/ASP, PNUE). Cet atelier, destiné à l'ensemble des représentants des pays méditerranéens, s'est tenu à Tunis du 30 octobre au 4 novembre 1995 et avait pour objectif le développement de réseaux de surveillance des végétaux marins en Méditerranée. Le Laboratoire de Biologie et d'Ecologie du Phytobenthos de l'ISMAL était chargé de mettre en place un 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 (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, et les résultats ont fait l'objet d'une communication (BOUMAZA et SEMROUD, 2000) lors du Symposium méditerranéen sur la végétation marine organisé par le CAR/ASP à Ajaccio (les 3 et 4 octobre 2000).

1.1. Objectifs de cette étude

Le présent travail s'inscrit dans le cadre des activités de recherches initiées par l'équipe du laboratoire de Biologie et d'Ecologie du phytobenthos de l'ISMAL. La mise en place de Réseaux de Surveillance Posidonie le long du littoral algérois a pour objectifs de fournir aux élus de la région, aux collectivités locales ainsi qu'aux administrations concernées par la gestion du littoral de disposer d'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.

Cette étude consiste en la mise en place d'un balisage d'une portion de la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* situé face au Front de mer de la ville de Bou Ismaïl. En effet, une part importante de l'activité économique de la région de Bou Ismaïl est axée sur le tourisme balnéaire, la qualité de l'eau est par conséquent un critère de choix essentiel pour les vacanciers. A ce titre, la surveillance des herbiers de Posidonie constitue un complément indispensable au contrôle de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de mer.

Cette technique permet de suivre *in situ*, de façon très précise, toute variation de la limite inférieure de l'herbier, en décelant des modifications relativement fines, de l'ordre de quelques dizaines de centimètres de la position de la limite inférieure (PERGENT *et al.*, 1995). Elle comporte également des études de caractérisation de l'état de santé de ces herbiers par la mesure de différents paramètres (densité des faisceaux, recouvrement, biométrie foliaire, lépidochronologie, granulométrie du sédiment), afin d'apprécier toute évolution de la vitalité de cet herbier dans cette zone très sensible où il est en limite de vie. L'efficacité de cette technique est conditionnée par la visite régulière (au minimum tous les trois ans) des structures mises en place.

1.2. Généralités sur l'herbier à *Posidonia oceanica*

Posidonia oceanica (Linnaeus) Delile est une phanérogame marine, endémique de la mer Méditerranée ; elle appartient à l'ordre des Najadales et à la famille des Posidoniacées.

Elle est constituée par des tiges rampantes ou dressées, généralement enfouies dans le sédiment, appelées rhizomes. Les rhizomes rampants sont dits plagiotropes, et les rhizomes dressés orthotropes (Figure 1-a). La différenciation entre rhizomes plagiotropes et orthotropes n'est pas définitive : en fonction de l'espace disponible, un rhizome orthotrope peut devenir plagiotrope, et vice-versa (CAYE, 1980). Ses feuilles sont regroupées en faisceaux de 4 à 8 feuilles, larges de 8 à 12mm et longues de 80cm en moyenne. Les rhizomes plagiotropes portent des racines, qui peuvent descendre jusqu'à 70cm dans le sédiment (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982). La croissance annuelle moyenne des rhizomes orthotropes est de l'ordre de 7mm/an (BOUDOURESQUE *et al.*, 1984). Le lacis de rhizomes et de racines colmaté par du sédiment constitue la matre sur laquelle va se développer la plante (Figure 1-b).

Dans les biotopes photophiles de l'étage infralittoral (entre 0 et 40m de profondeur), les Posidonies forment de véritables prairies sous-marines appelées herbiers (MOLINIER et PICARD, 1952). Ils recouvrent actuellement une surface estimée entre 25 000 et 50 000 km² le long du pourtour méditerranéen (PASQUALINI *et al.*, 1998). Cette distribution

s'interrompt au niveau des estuaires suite aux trop fortes variations de salinité (Ex : Rhône, Pô, Nil).

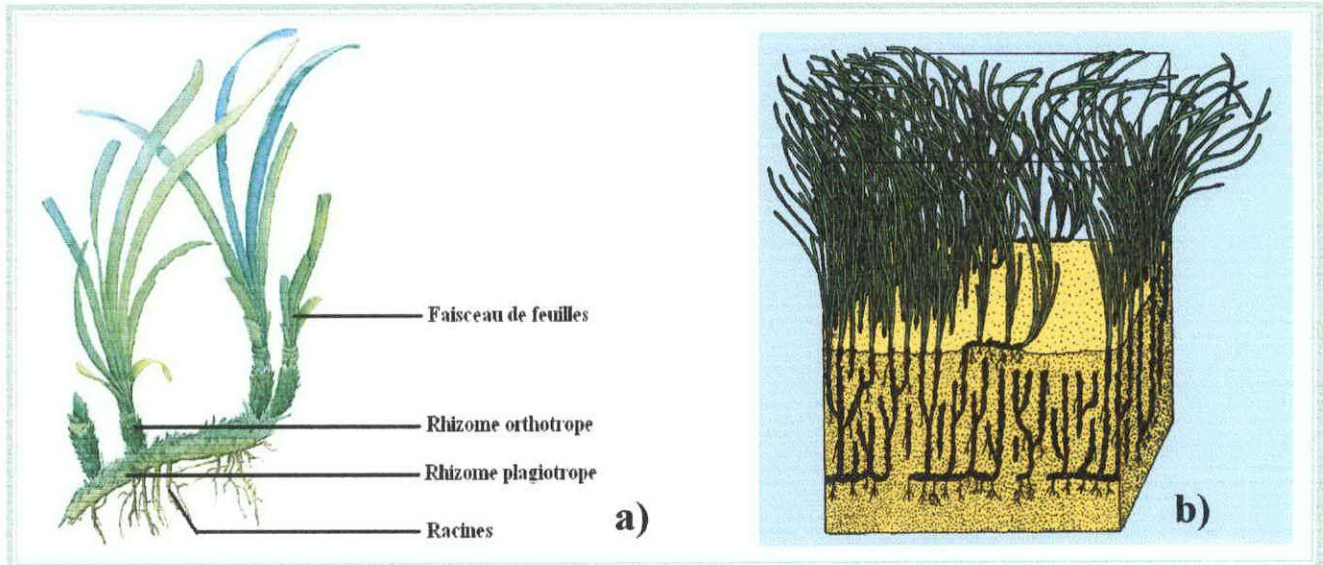


Figure 1 : a) Un rhizome plagiotrope de *Posidonia oceanica* portant des racines ainsi que des rhizomes orthotropes avec des faisceaux de feuilles à leurs extrémités (BOUDOURESQUE *et al.*, 2006 ; modifié).

b) Bloc diagramme montrant la structure d'une matte.

La reproduction de *Posidonia oceanica* est essentiellement végétative par bouturage, mais la présence de fleurs et de fruits est observée certaines années. RICO-RAIMONDINO (1995) a noté qu'il y avait une synchronisation de ce phénomène de floraison à l'échelle de toute la Méditerranée.

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

L'herbier de posidonie constitue l'écosystème le plus important des espaces littoraux de Méditerranée (MOLINIER et PICARD, 1952) et assume un rôle écologique de première importance :

- L'herbier intervient sur la qualité des eaux littorales, grâce à une importante production d'oxygène et sur leur transparence par le piégeage des particules en suspension (PERGENT, 1993).

- L'herbier représente un pôle de biodiversité : 20 à 25% des espèces animales et végétales connues en méditerranée y sont observées (BOUDOURESQUE *et al.*, 1994). Car, en plus du fait qu'il est à l'origine de nombreuses chaînes alimentaires (PERGENT, 1993), il offre des lieux de frayère, de nourricerie et d'abri vis-à-vis des prédateurs, à un grand nombre d'espèces (HARMELIN, 1983) et sa matre héberge une faune particulièrement riche et variée (PERGENT, 1993).
- La production primaire de biomasse végétale (feuilles et épiphytes) est très importante (LIBES, 1984). Une grande partie de cette production (près de 40%) est exportée vers d'autres milieux, sous forme de feuilles mortes (FRANCOUR, 1990 ; BOUDOURESQUE *et al.*, 1994). La production de biomasse animale est également considérable dans l'herbier. Ces productions végétale et animale ont pour effet d'attirer et de concentrer une faune variée, souvent d'intérêt économique et commercial (FRANCOUR, 1990).
- L'herbier joue également un rôle fondamental dans la protection hydrodynamique de la frange côtière et des plages, par l'atténuation de la puissance des vagues, de la houle et des courants. Les fonds sableux sont stabilisés par la fixation des sédiments dans le lacis des rhizomes constituant la matre (JEUDY de GRISSAC et BOUDOURESQUE, 1985).

1.2.2. L'herbier de *Posidonia oceanica* menacé

L'accroissement constant des activités humaines sur le littoral constitue un facteur de déstabilisation des écosystèmes littoraux (RAMADE, 1990). Les menaces qui pèsent sur les herbiers à *Posidonia oceanica* sont multiples ; elles ont une incidence à la fois sur la phanérogame elle-même et sur la biodiversité qu'elle renferme et/ou sur son habitat (BOUDOURESQUE *et al.*, 1996 ; PNUE-CAR/ASP, 2001) :

- La turbidité due soit aux apports en nutriments, en sédiment fin ou en matière organique constitue l'un des facteurs majeurs de la régression des herbiers,

- particulièrement au niveau de leur limite inférieure. En effet, la diminution de la transparence de l'eau a un effet direct sur les herbiers à *Posidonia oceanica* : la profondeur de compensation (profondeur à laquelle les pertes dues à la respiration s'équilibrent avec la production photosynthétique) remonte, et avec elle la limite inférieure de l'herbier de Posidonie.
- La pollution des eaux par les rejets en mer, action des détergents et des métaux (PERGENT-MARTINI, 1994). Des études sur la teneur en pigments des feuilles de *Posidonia oceanica* ont révélé que l'influence de la pollution par les métaux traces se manifeste par une diminution des taux de chlorophylle, de xanthophylle et de caroténoïdes ainsi qu'un déséquilibre intrinsèque de leurs proportions (AUGIER et MAUDINAS, 1977). Ces phénomènes se traduiraient par une perturbation de l'activité photosynthétique et des mécanismes qui président à la croissance et au développement de la plante (AMAROUCHE, 2005).
 - Les aménagements littoraux (endiguages, plages artificielles, ports) l'affectent également. Outre les herbiers ensevelis de façon irréversible, ces restructurations du rivage augmentent la turbidité de l'eau et entraînent par conséquent une régression des limites inférieure et supérieure (MEINESZ *et al.*, 1985).
 - Les engins de pêche tels les ganguis et les chaluts conduisent à une destruction irrémédiable des fonds essentiellement au niveau des herbiers et de leurs limites inférieures (FRANCOUR, 1994).
 - La compétition avec des espèces introduites telle la chlorophyte *Caulerpa taxifolia* qui colonise presque tous les types de substrats, en particulier la matte morte et les prairies à *Posidonia oceanica* ; notamment les herbiers stressés ou dégradés dont elle peut accentuer le recul (BOUDOURESQUE *et 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 *et al.*, 2004, PIAZZI *et al.*, 2005). En Algérie cette

dernière est signalée, depuis 2005, en divers points de la côte algéroise (SEMROUD et HADJ AISSA, comm. perso.).

1.2.3. *Posidonia oceanica* : indicateur biologique

La sensibilité des herbiers à *Posidonia oceanica* aux impacts humains fait de cet écosystème l'indicateur biologique par excellence en milieu côtier (PERGENT *et al.*, 1995 ; CHARBONNEL *et al.*, 2003). Il rend compte, par sa présence et sa vitalité de la qualité des eaux qui dérivent au-dessus de lui. 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. Cet indicateur global de la qualité des eaux fonctionne à différents niveaux (PERGENT, 1993 ; PERGENT, 1995) :

(i) Au niveau de la population

↳ La profondeur de la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* est un bon indicateur de la turbidité moyenne des eaux qui dérivent au-dessus de lui ; en effet, lorsque la turbidité augmente on assiste à une remontée de la limite inférieure. La limite supérieure de l'herbier à *Posidonia oceanica*, du fait de sa position à proximité des lignes de rivage est à même d'enregistrer très rapidement les conséquences des aménagements littoraux et des rejets d'origines urbaine et industrielle.

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

(ii) Au niveau de l'individu

↳ La biométrie foliaire de *Posidonia oceanica*, peut également apporter des renseignements quant à la qualité globale de l'eau. En effet, en milieu pollué, la longueur moyenne des feuilles peut subir une réduction importante. En outre, une biomasse importante d'épiphytes sur les feuilles matérialise la présence de fortes concentrations en matière organique et en nutriments dans le milieu.

↳ Au niveau anatomique, les cellules à tannin, 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.

↳ Grâce à la lépidochronologie, il est également possible de connaître l'évolution de différents paramètres caractéristiques du milieu sur de longues périodes de temps : turbidité, taux de sédimentation, température. La lépidochronologie apparaît donc comme un outil précieux pour les études portant sur le suivi temporel de pollutions, dans la mesure où elle pourrait permettre de comparer des teneurs anciennes aux teneurs actuelles de certains polluants (e.g. métaux lourds).

**MATERIEL ET
METHODES**

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Description du site d'étude

Le secteur étudié est situé au centre de la baie de Bou Ismail, au large du Front de mer de la ville de Bou Ismaïl, ville située à 45km à l'ouest d'Alger (Figure 2). Le balisage est mis en place dans une zone sensible, soumise à plusieurs aménagements et restructurations du littoral : les perrés et murs de soutènement au-dessus de la plage, la route du bord de mer et les nombreuses constructions le long de la côte auxquels il faut rajouter la construction des épis de protections perpendiculaires à la côte. A ces divers aménagements, s'ajoutent les nombreuses nuisances liées aux activités humaines : déversements des émissaires des eaux usées domestiques et industrielles, par petits fonds, sans traitement préalable. Ces eaux riches en matières organiques, détergents et colorants industriels atténuent la transparence des eaux et réduisent ainsi la pénétration de la lumière (BRAIK, 1989 ; BOUDJNAH, comm. Pers.). Il est à noter qu'en plus des rejets par le réseau collecteur de la ville, il existe le long de la côte des rejets sauvages provenant de déversements non contrôlés d'effluents domestiques (AMAROUCHE, 2005). Depuis peu, une ferme aquacole a été récemment implantée dans la partie orientale du site.

L'herbier à *Posidonia oceanica* occupe l'étage infralittoral de la partie occidentale du Front de mer de la ville de Bou Ismaïl, entre 5 et 25m de profondeur (Figure 3). Dans la partie orientale l'installation de l'herbier de Posidonie est contrariée par la présence du platier rocheux (donc absence de sédiment). L'extension de l'herbier de Posidonie vers le large est stoppée par les remaniements sous-marins auxquels sont soumises ces zones de fortes pentes (BRAIK, 1989). Le relevé bathymétrique réalisé par BRAIK (1989) montre le caractère très accidenté des fonds. Ces irrégularités sont liées à la présence d'affleurements rocheux nombreux et à la présence de chenaux et de cuvettes intermattes qui traversent l'herbier de Posidonie. Ces structures érosives témoignent de la présence d'un important hydrodynamisme ; en effet de par sa position, le secteur est très exposé aux vents dominants : ils sont de secteur NE et E, en période estivale et de secteur NW à NNW, en période hivernale. Ainsi, l'herbier à *Posidonia oceanica* est un herbier de site exposé selon la classification de BLANC et JEUDY de GRISSAC (1978).

Au total, ces aménagements, ces différentes sources de pollutions et la présence de fort hydrodynamisme sont à même de contribuer à la régression de l'herbier à *Posidonia oceanica*. A ce titre BRAĀK (1989) avait déjà signalé le caractère régressif de l'herbier de Posidonie du Front de mer de la ville de Bou Ismail.

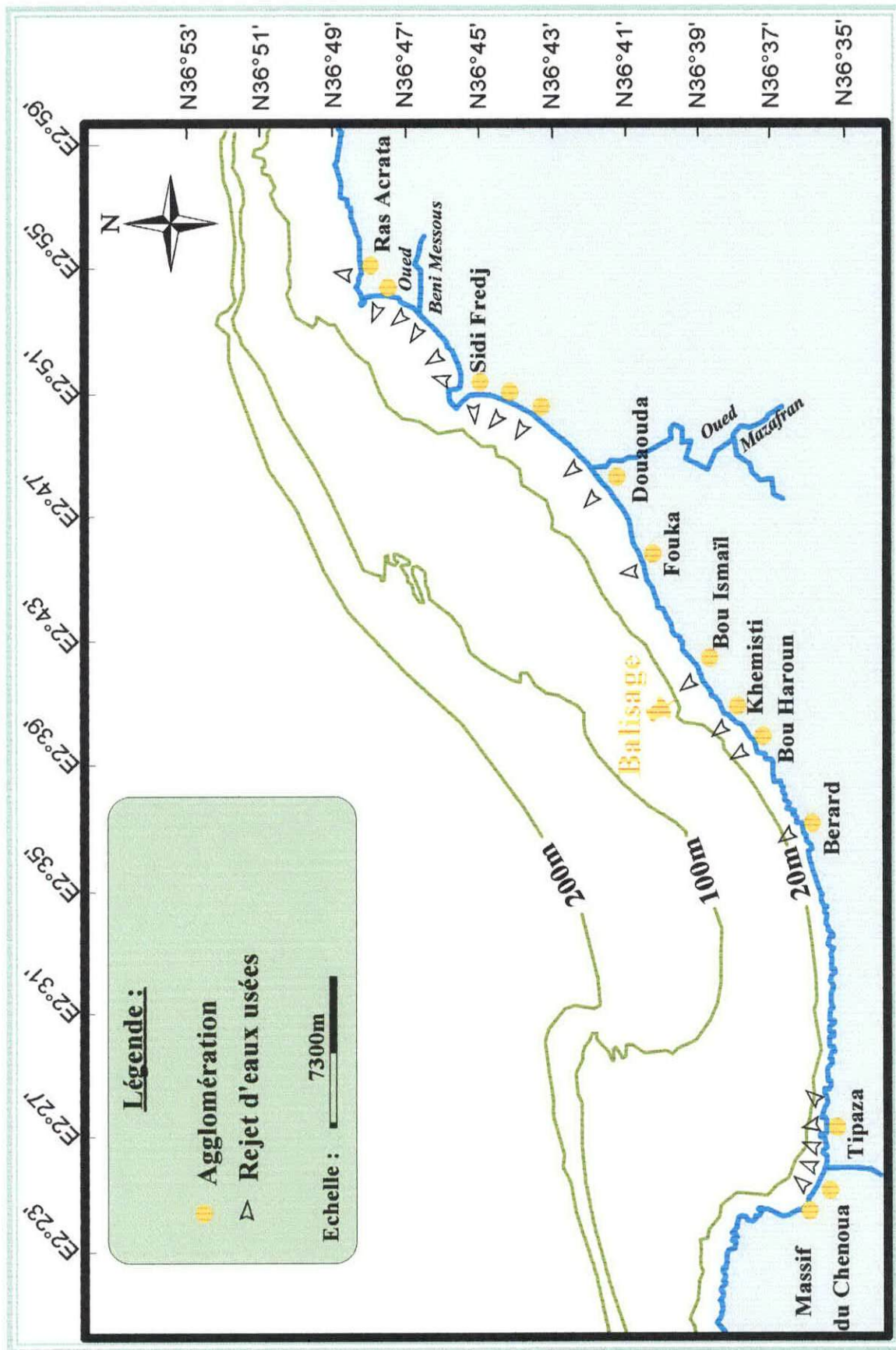


Figure 2 : Carte représentant la localisation du site de balisage de l'herbier à *Posidonia oceanica*, avec les principaux points de rejets d'eaux usées dans la baie de Bou Ismail (PAC 2005, modifiée).

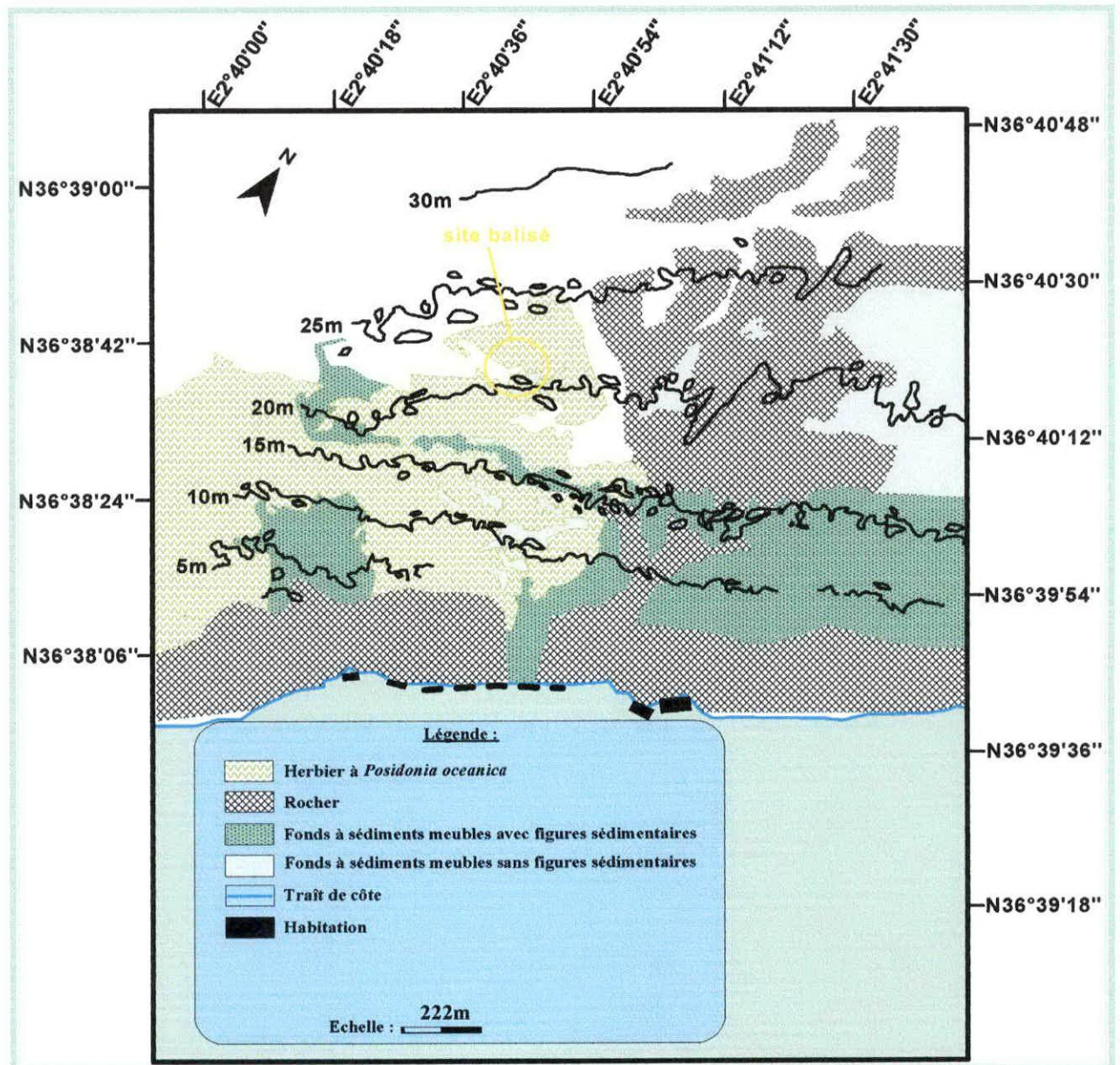


Figure 3 : Carte de répartition des faciès sédimentaires au large du Front de mer de la ville de Bou Ismail (BRAÏK, 1989 ; modifié).

2.2. Mise en place du balisage

2.2.1. Matériel

Les balises utilisées sont des blocs de béton de forme tronconique d'environ 23kg. Chaque balise, d'un diamètre moyen de 30cm et d'une hauteur de 17cm, est percée de trois orifices pour son ancrage sur le fond (Figure 4). Afin d'éviter tout déplacement (courants, mouillage...) les balises sont, en effet, fixées à l'aide de piquets métalliques d'1m de long et de 12mm de diamètre. Un anneau métallique permet de disposer un

flotteur et une plaque numérotés, pour faciliter le repérage de la balise. Le matériel nécessaire à la mise en place du balisage est composé de :

- ✓ 12 balises.
- ✓ 12 flotteurs numérotés.
- ✓ 12 plaques blanches en PVC numérotées.
- ✓ 48 piquets dont :
 - 12 piquets de 1.5m pour la prise des photographies.
 - 36 piquets de 1m pour l'ancrage des balises (3 pour chaque balise).

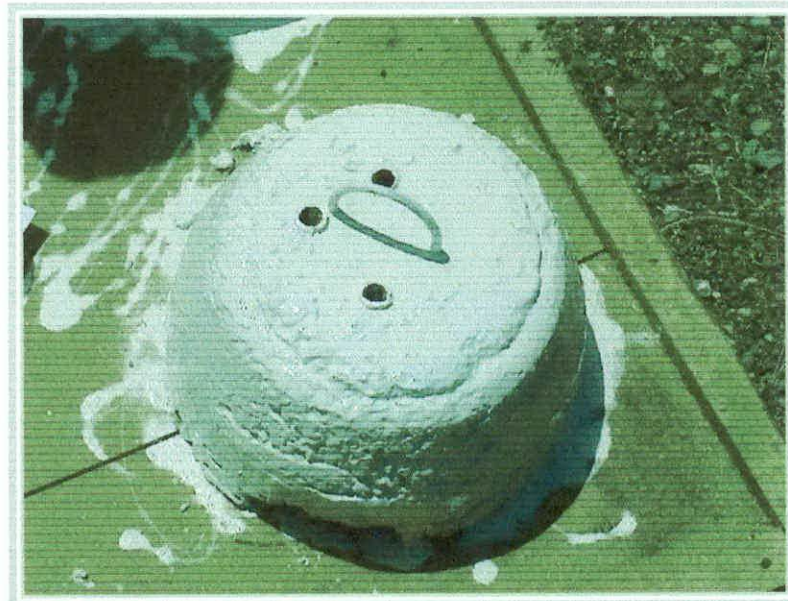


Figure 4 : Photographie d'une balise percée de trois orifices pour l'enfoncement des piquets d'ancrage.

2.2.2. Méthode

La mise en place du balisage s'effectue par des équipes de plongeurs en scaphandre autonome (Figure 5). Elle nécessite des équipements de plongée (tenues complètes, bouteilles d'air comprimé et compresseur) et le support d'un bateau accompagnateur distributeur de balises. L'opération se fait en plusieurs étapes qui sont les suivantes :

- La limite inférieure de l'herbier est repérée par des plongées ponctuelles *in situ* « vérités mer ».

- La localisation précise du site à baliser est réalisée à l'aide d'un système de positionnement par satellite (Global Positioning System ou GPS), à cet effet une bouée de signalisation est fixée à la verticale sur le fond à l'aide d'une corde lestée et sa position est enregistrée.
- Les balises sont ensuite descendues une à une à partir de l'embarcation ainsi que les piquets destinés à l'ancrage et les piquets-photos, qui serviront de repère pour les prises ultérieures de photographies.
- Une fois tout le matériel réceptionné au fond, les balises sont posées le long d'une portion de la limite inférieure en laissant 5m entre chacune d'elle, puis elles sont fixées en enfonçant les piquets d'encrage à l'intérieur de chaque orifice. En fonction de la nature du substrat sur lequel est placée la balise, la valeur d'enfoncement de ces piquets varie. Un flotteur et une plaque en PVC numérotés sont accrochés sur chaque balise afin de les distinguer les unes des autres.
- La profondeur mesurée à la base de chaque balise est enregistrée à l'aide d'un profondimètre électronique.
- Les piquets photographiques sont fixés à une distance de 1.5m des balises (côté large) et enfoncés aux deux tiers. Cette mesure permet de prendre des clichés des balises toujours à la même hauteur par rapport au substrat (50cm) et à la même distance.
- Enfin, trois photos par balise sont réalisées : une photo décentrée à droite de la balise, une photo centrée 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.

Le balisage de la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* a été mis en place entre le 15 et 20 juillet 2007 et l'état de la mer a été favorable au bon déroulement des différentes opérations. Toutefois, la profondeur moyenne des plongées (21m) a parfois suscité des difficultés chez les plongeurs pour l'organisation du travail sous l'eau. Onze plongées ont été effectuées par des équipes de 4 plongeurs, à raison de deux plongées par jour, soit une durée globale d'environ 5 heures passées sous l'eau. Afin de faciliter le repérage en surface du balisage tout au long de la mission, un flotteur a été fixé à l'aide

d'une corde sur la balise N°1, dès le premier jour, et sa position a été relevée à l'aide du GPS. Au total, 12 balises en béton ont été disposées le long d'une portion de la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* et les coordonnées géographiques des trois balises N°1, N°6 et N°12 ont été enregistrées à l'aide d'un GPS, après avoir fixé provisoirement une bouée de signalisation à l'aide d'une corde, en prenant soin de maintenir sa verticalité :

- Balise B1 : Latitude Nord 36° 39.437'
Longitude Est 02° 41.128'
- Balise B6 : Latitude Nord 36° 39.424'
Longitude Est 02° 41.131'
- Balise B12 : Latitude Nord 36° 39.431'
Longitude Est 02° 41.120'

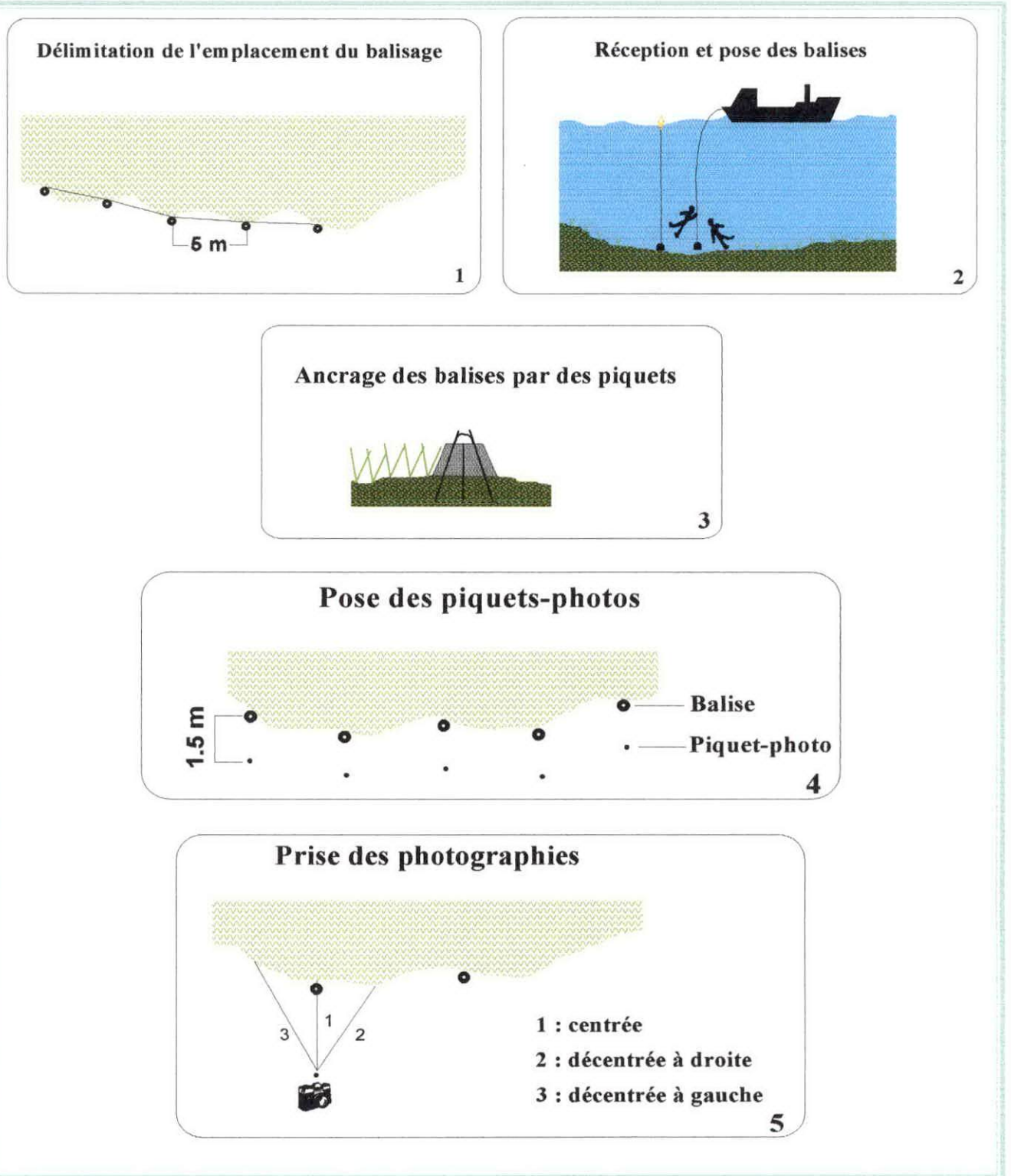


Figure 5 : Protocole de mise en place des balises le long de la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* (CHARBONNEL *et al.*, 1995 ; modifié).

2.3. Relevés et protocole d'observation

2.3.1. Position des balises

Les azimuts de balise à balise et de balise à piquet-photo sont relevés à l'aide d'un compas de plongée (Figure 6). La précision de la mesure d'orientation est estimée à $\pm 5^\circ$ près. Ces mesures permettront de réaliser un plan du balisage. En outre, ces mesures d'orientation et de distance permettront, lors des suivis ultérieurs du balisage de la limite inférieure, de repérer et de remettre en place la ou les balises qui auraient éventuellement été déplacées.

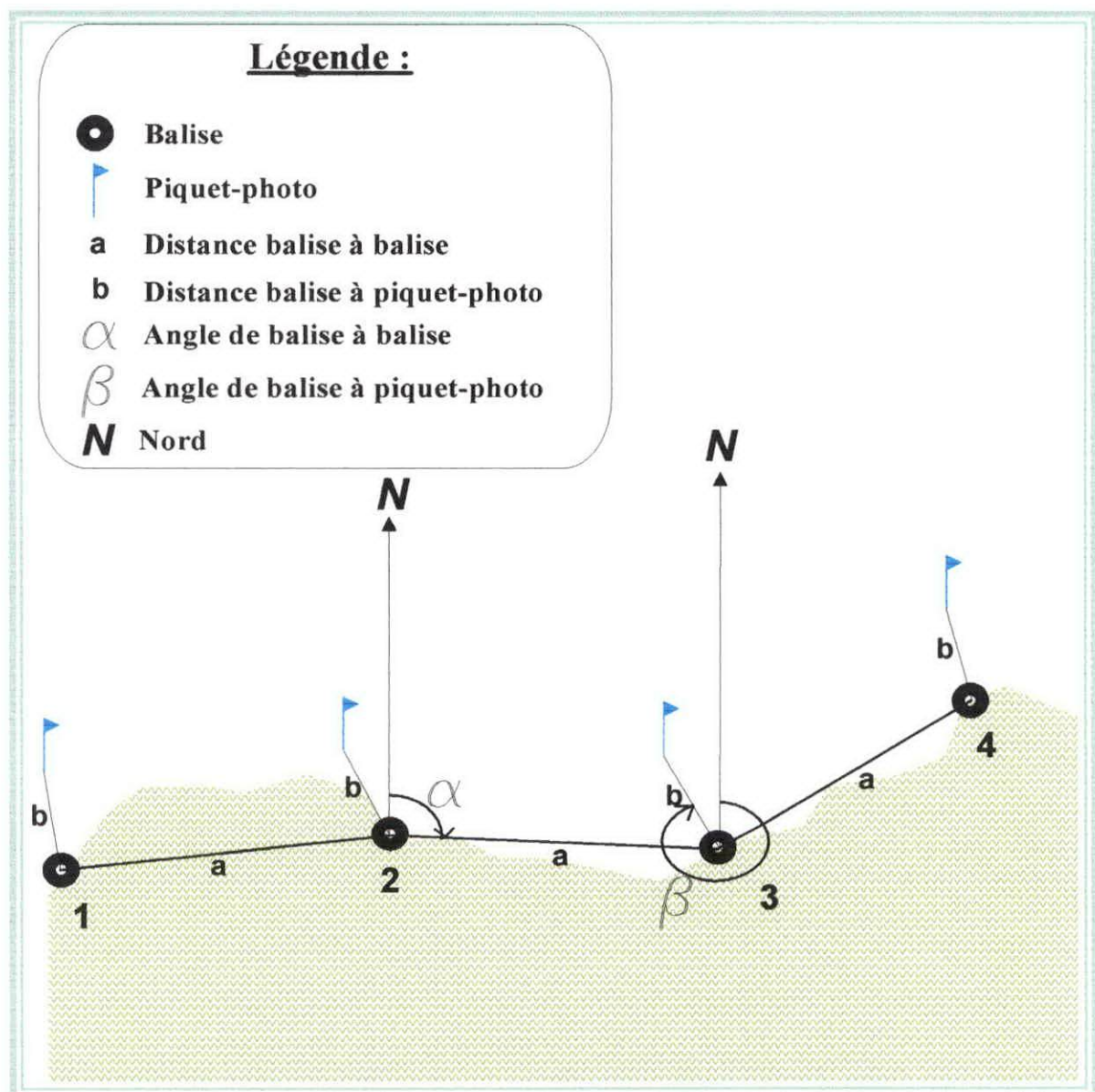


Figure 6 : Schéma montrant la mesure des angles de balise à balise et de balise à piquet-photo.

2.3.2. Observations et mesures

I. Type et état de la limite inférieure de l'herbier : en effet, il existe quatre types de limites (Figure 7) :

- 1) *Les limites progressives* : caractérisées par la présence de rhizomes horizontaux disposés horizontalement par rapport au sens de la pente. L'herbier n'édifie pas de matte mais la présence de ces rhizomes traduit une amélioration, au moins momentanée de la qualité des eaux.
- 2) *Les limites brusques* : caractérisées par la présence de rhizomes partiellement verticaux mais sans édification de matte et sans la présence de mattes mortes. Elles correspondent souvent à la stabilisation des conditions du milieu (transparence des eaux).
- 3) *Les limites érosives* : caractérisées par la présence de matte mortes. L'hydrodynamisme semble donc être à l'origine de cette limite et interdit toute progression.
- 4) *Les limites régressives* : présence de matte morte et de quelques faisceaux témoins en avant de cette limite. Elles traduisent ainsi une remontée de l'herbier, sont assez répandues et correspondent à une augmentation de la turbidité moyenne des eaux. (PERGENT *et al.*, 1995).

II. Nature du fond : la nature du fond en aval du balisage est également décrite : matte morte, présence de *ripplemarks* (indication de l'hydrodynamisme), sable coquillier, sable grossier, sable fin, sable vaseux.

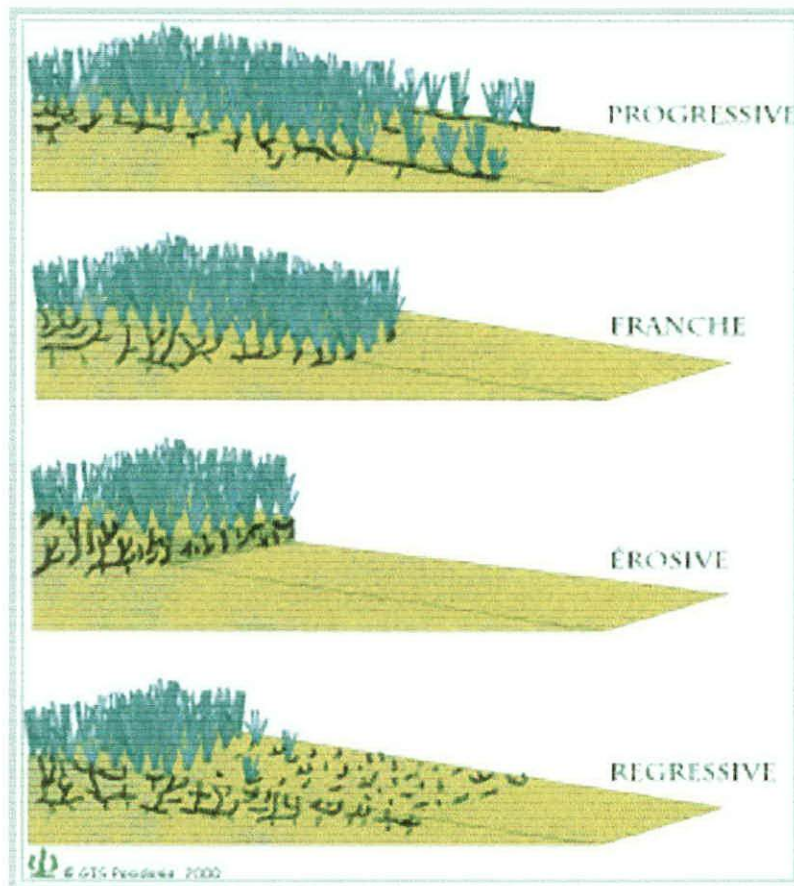


Figure 7 : Différents types de limites inférieures de l'herbier à *Posidonia oceanica* (d'après MEINEZ et LAURENT, 1978, modifié par BOUDOURESQUE).

- 1) Limite progressive
- 2) Limite brusque ou franche
- 3) Limite érosive
- 4) Limite régressive

II. Estimation du recouvrement de l'herbier : le recouvrement correspond au pourcentage de couverture du substrat par l'herbier de *Posidonia* vivant, par rapport aux zones non couvertes (sable, matte morte, roche). Les valeurs de recouvrement diminuent avec la profondeur, et lorsque l'herbier est soumis à des conditions de développement moins favorables (CHARBONNEL *et al.*, 2000). L'estimation du recouvrement est réalisée à l'aide d'un quadrat de 1m² divisé en quatre carrés et s'appuie sur la proportion de *Posidonia* présente sur chaque carré. Cette proportion est ensuite exprimée en pourcentage. Les valeurs obtenues seront interprétées en se basant sur le 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 (d'après CHARBONNEL *et al.*, 2000).

| Pourcentage de recouvrement | |
|-----------------------------|---------------------|
| Limite inférieure | Interprétation |
| Inférieur à 20 % | Faible recouvrement |
| 20 % à 50 % | Recouvrement moyen |
| Supérieur à 50 % | Fort recouvrement |

III. Mesure de la densité de l'herbier : c'est le nombre de faisceaux par unité de surface (Nombre de faisceaux/mètre carré). Selon les herbiers, leur densité varie en fonction de la profondeur et des conditions du milieu (PERGENT *et al.*, 1994). La densité est estimée au niveau de chacune des balises à partir de trois mesures successives à l'aide d'un quadrat de 20 x 20cm de coté déposé sur la couverture de l'herbier. Ce paramètre reste constant tout au long de l'année et dépend peu de la période à laquelle il a été réalisé. GIRAUD (1977a) a classé les herbiers en différents types, suivant leur densité (Tableau 2). Une autre classification a été proposée, qui en plus de la densité des faisceaux, intègre le paramètre profondeur (Tableau 3).

Tableau 2 : Classification de l'herbier de Posidonie selon la densité des faisceaux de feuilles au m², d'après GIRAUD (1977a).

| NB de faisceaux /m ² | Types 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 |

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

DA = densité anormale
DSI = densité sub-normale inférieure

DN = densité normale (en gras)
DSS = densité sub-normale supérieure

| 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 | → |

IV. Le déchaussement des rhizomes : il correspond, selon BOUDOURESQUE *et al.* (1995), à la distance entre le point végétatif du rhizome et la surface du sédiment. Ce paramètre n'a pas fait l'objet de mesure *in situ*, seules des observations sont réalisées au cours des différentes plongées. Le déchaussement des rhizomes traduit généralement l'existence d'un déficit sédimentaire au niveau de l'herbier. L'observation de ce paramètre nous donnera une appréciation de l'hydrodynamisme au niveau du site étudié.

2.4. Etudes associées

2.4.1. Echantillonnage des rhizomes

Trente faisceaux orthotropes sont prélevés au niveau de la limite inférieure balisée, ils sont distants de 50cm à 1m les uns des autres, pour éviter de récolter les individus rattachés à un même rhizome plagiotrope encore vivant (PERGENT, 1987). Les faisceaux sont conservés dans de l'eau formolée à 10% jusqu'à leur étude au laboratoire. Les rhizomes serviront à la fois à l'étude lépidochronologique, aux mesures de biométrie foliaire et à l'estimation de la biomasse.

2.4.2. Lépidochronologie

2.4.2.1. Définition

Quand les feuilles de *Posidonia oceanica* meurent, seule le limbe tombe, le pétiole reste attaché sur le rhizome, il est alors désigné sous le nom d'écaille. L'évolution, au cours du temps, de l'épaisseur de la dernière écaille apparue à l'apex du rhizome est un phénomène cyclique présentant une alternance de deux phases : ascendante et descendante. Ces cycles ont une périodicité annuelle avec un minimum d'épaisseur en février-mars, qui correspond à l'apparition d'écailles « fines » et un maximum d'épaisseur en septembre-octobre qui correspond à l'apparition d'écailles « épaisses » (CROUZET *et al.*, 1983 ; PERGENT *et al.*, 1989).

L'étude de ces variations cycliques (BOUDOURESQUE *et al.*, 1983) permet de retracer avec précision des événements passés et d'évaluer de façon précise la vitesse de croissance du rhizome, le nombre de feuilles formées par cycle et les anciennes floraisons ; mais également d'étudier l'évolution temporelle des impacts d'une pollution. Le terme « année lépidochronologique » est utilisé pour définir la période comprise entre deux minima d'épaisseur, ce terme permet d'éviter toute confusion avec les années calendaires (PERGENT, 1993 ; PERGENT-MARTINI, 1994).

2.4.2.2. Mode opératoire

- Après avoir réhydraté les faisceaux, les écailles sont détachées soigneusement, en respectant l'ordre d'insertion. Les écailles étant emboîtées les unes dans les autres, le prélèvement se fait des plus anciennes vers les plus récentes (PERGENT, 1987). Lorsque l'épaisseur de l'écaille est minimale, le rhizome est coupé au niveau de l'insertion de celle-ci (Figure 8).
- Chaque tronçon de rhizome est mesuré puis numéroté en fonction de l'année à laquelle il appartient.

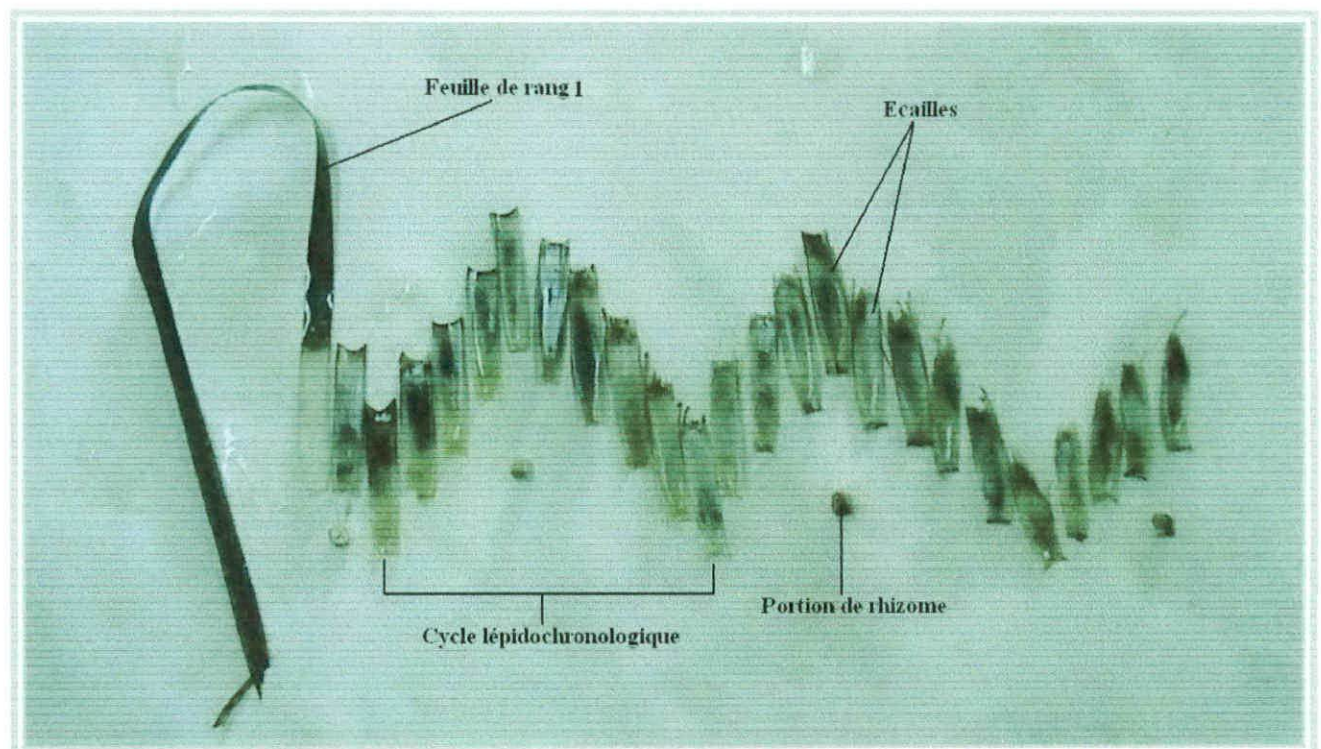


Figure 8 : photographie représentant des cycles lépidochronologiques avec le tronçon de rhizome correspondant à chaque cycle.

2.4.3. Phénologie

2.4.3.1. Analyse biométrique

Les faisceaux sont décortiqués en respectant l'ordre distique de l'insertion des feuilles (GIRAUD, 1977b). 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 (CAYE, 1980).

Dans un faisceau de *Posidonia oceanica*, trois catégories de feuilles sont rencontrées (GIRAUD, 1977b) :

- Les feuilles adultes sont pourvues de pétiole et ont plus de 50mm de long.
- Les feuilles intermédiaires sont dépourvues de pétiole et ont plus de 50mm de long.
- Les feuilles juvéniles sont également dépourvues de pétiole et mesurent moins de 50mm de long.

Chaque faisceau récolté fait l'objet d'une série de mesures sur les différentes catégories de feuilles : longueur totale de la feuille, longueur du pétiole (pour les feuilles adultes), largeur du limbe.

Aussi, différents paramètres sont calculés :

- Nombre moyen des feuilles adultes et intermédiaires par faisceau.
- Longueur moyenne des feuilles adultes et intermédiaires.
- Largeur moyenne des feuilles adultes et intermédiaires.
- Longueur moyenne des pétioles.
- Le coefficient A de Giraud, correspondant au pourcentage de feuilles ayant perdu leur apex. L'état des apex, paramètre purement descriptif, apporte des indications, pour un site donné, sur l'hydrodynamisme et le taux de broutage et par conséquent l'importance des populations herbivores, (ex. le poisson *Sarpa salpa* et l'oursin *Paracentrotus lividus*) (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982).
- La surface foliaire qui correspond à la surface des feuilles par faisceau, elle est exprimée en cm²/faisceau (DREW et JUPP, 1976).
- L'indice foliaire (IF) qui correspond à la surface de feuilles par m² est calculé en multipliant la surface foliaire par la densité pour chaque catégorie de feuilles (DREW, 1971).

2.4.4. Biomasse des feuilles et des épiphytes

Les feuilles sont soigneusement raclées au moyen d'une lame de rasoir tout le long de leurs deux faces pour en séparer tous les épiphytes (animaux, végétaux encroûtants et dressés). Après avoir été débarrassées de leurs épiphytes, elles sont rincées puis séchées dans l'étuve, ainsi que les produits de raclage, à 70°C pendant 48h. Le poids sec est alors stabilisé (BEDHOMME, 1981). La biomasse est alors exprimée en mgPs/faisceau puis rapportée en gPs/faisceau/m² (en multipliant par la densité).

2.4.5. Granulométrie :

2.4.5.1. Prélèvement

Les prélèvements de sédiments sont effectués à l'aide d'une boîte métallique cylindrique sans fond, enveloppée à l'une de ses extrémités par un sac en plastique retenu par un élastique. Trois réplicats sont effectués au niveau des balises B1, B6 et B12 et des piquets-photos P1, P6 et P12. Tout le sédiment récolté est soumis au même protocole d'analyse granulométrique.

2.4.5.2. Analyse granulométrique

Au laboratoire, les sédiments sont séchés à l'étuve (48 heures à 70° C), débarrassés des restes de *Posidonia oceanica* (rhizomes, écailles et racines). La première opération consiste à éliminer la fraction pélitique (pélite) par lessivage sous l'eau sur un tamis de maille égale à 50µm. La fraction restante est de nouveau séchée et pesée (poids final), sa granulométrie est analysée mécaniquement pendant 10 à 12mn, sur une colonne normalisée de maille AFNOR. La série utilisée est composée de tamis de diamètres 0.05mm, 0.125mm, 0.25mm, 0.5mm, 1mm, 2mm, 4mm et 10mm ; chaque refus de tamis est pesé. Les données sont consignées sur des fiches préalablement préparées.

Pour chaque échantillon analysé, une courbe granulométrique semi-logarithmique cumulative est établie avec en ordonnées les pourcentages des refus cumulés, et en abscisses la taille des mailles des tamis (voir annexes). Ces courbes permettent la mesure graphique des paramètres : Q₅, Q₁₆, Q₂₅, Q₅₀ (Médiane), Q₇₅, Q₈₄ et Q₉₅ (en mm) ; Φ₅, Φ₁₆,

etc. (dans l'échelle $\Phi = -1.4427 \log$ diamètre de la maille des tamis en mm) et donc le calcul d'un certains nombres d'indices significatifs (Tableau 4):

- La **taille moyenne** : des sédiments (TM) permet de discriminer : les pélites (0.050mm) ; les sables très fins (0.125mm) ; les sables fins (0.250mm) ; les sables moyens (0.500mm) ; les sables grossiers (1.00mm).
- La **symétrie** (SKI) : permet de distinguer trois catégories de sédiments (KRUMBEIN, 1957) :
 - SKI > 0 : asymétrie positive (il y a prédominance des particules grossières).
 - SKI < 0 : asymétrie négative (les particules fines prédominent).
 - SKI = 0 : distribution symétrique (les particules fines et grossières sont dans les mêmes proportions).
- L'**indice hydrodynamique** (FH) : les valeurs positives caractérisent le sédiment en cours de transport par les eaux, les valeurs négatives se rencontrent lors de l'analyse d'échantillons qui sont difficilement mis en mouvement (WEYDERT, 1973).
- Le **triai** (DFI) : permet de distinguer successivement des sédiments très bien triés (DFI < 0.35) ; bien triés (0.35 < DFI < 0.50) ; moyennement triés (0.50 < DFI < 1) ; peu triés (1 < DFI < 2) ; très peu triés (2 < DFI < 4) et pratiquement pas triés (DFI > 4).
- L'**acuité du mode** de l'histogramme (KG) : selon FOLK et WARD (1957) plus le KG est élevé plus l'histogramme de fréquence est pointu et plus les particules sont homogènes (du point de vue dimension).

Les paramètres suivants sont également calculés : le pourcentage de la fraction grossière (supérieure à 2mm), la fraction moyenne (de 2 à 0.5mm), le pourcentage de la fraction fine (de 0.5 à 0.050mm) et le pourcentage de la fraction pélitique.

Tableau 4 : Calcul à partir des valeurs de Φ , des six indices utilisés pour l'analyse sédimentologique (*in* SEMROUD, 1993)

| Indice | Formule | Références |
|--------------------------|---|--------------------|
| Taille moyenne | $TM = (Q_{16} + Q_{50} + Q_{84})/3$ | WEYDERT, 1973 |
| Triage | $DFI = (\Phi_{84} - \Phi_{16})/4 + (\Phi_{95} - \Phi_5)/6.6$ | RIVIERE, 1952 |
| Asymétrie | $SKI = (\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50})/2(\Phi_{84} - \Phi_{16}) + (\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50})/2(\Phi_{95} - \Phi_5)$ | KRUMBEIN, 1957 |
| Acuité des distributions | $KG = (\Phi_{95} - \Phi_5)/2.44 (\Phi_{75} - \Phi_{25})$ | FOLK et WARD, 1957 |
| Facteur hydrodynamique | $FH = KG - (\Phi_{75} - \Phi_{25})/2$ | WEYDERT, 1973 |
| Classement | $CL = (\Phi_{25} - \Phi_{75})/2$ | FOLK et WARD, 1957 |

RESULTATS ET DISCUSSIONS

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Localisation du balisage

Afin de localiser avec précision (à 2m près) le point de balisage sur une carte, le trait de côte de la zone du Front de mer de la ville de Bou Ismail a été établi en s'appuyant sur des techniques de cartographie à partir d'imagerie satellitaire (Figure 9). L'image brute est téléchargée à partir de Google Earth et le trait de côte est délimité par une classification supervisée avec le logiciel de télédétection ENVI 4.0, qui va différencier les objets en fonction de leurs longueurs d'ondes. Une fois l'image brute traitée, on procède à la cartographie de la zone en utilisant le logiciel Surfer 7.0. De plus, trois points de repère sur la côte ont été choisis et la distance du balisage par rapport à ces repères a été estimée. Les trois repères sont : l'épis de protection du littoral (R1), l'épis de protection numéro (R2) et la pointe de la digue principale du port de Khemisti (R3) et les distances sont : B1-R1 : 1.45km, B1-R2 : 1.54km, B1-R3 : 3.00km.

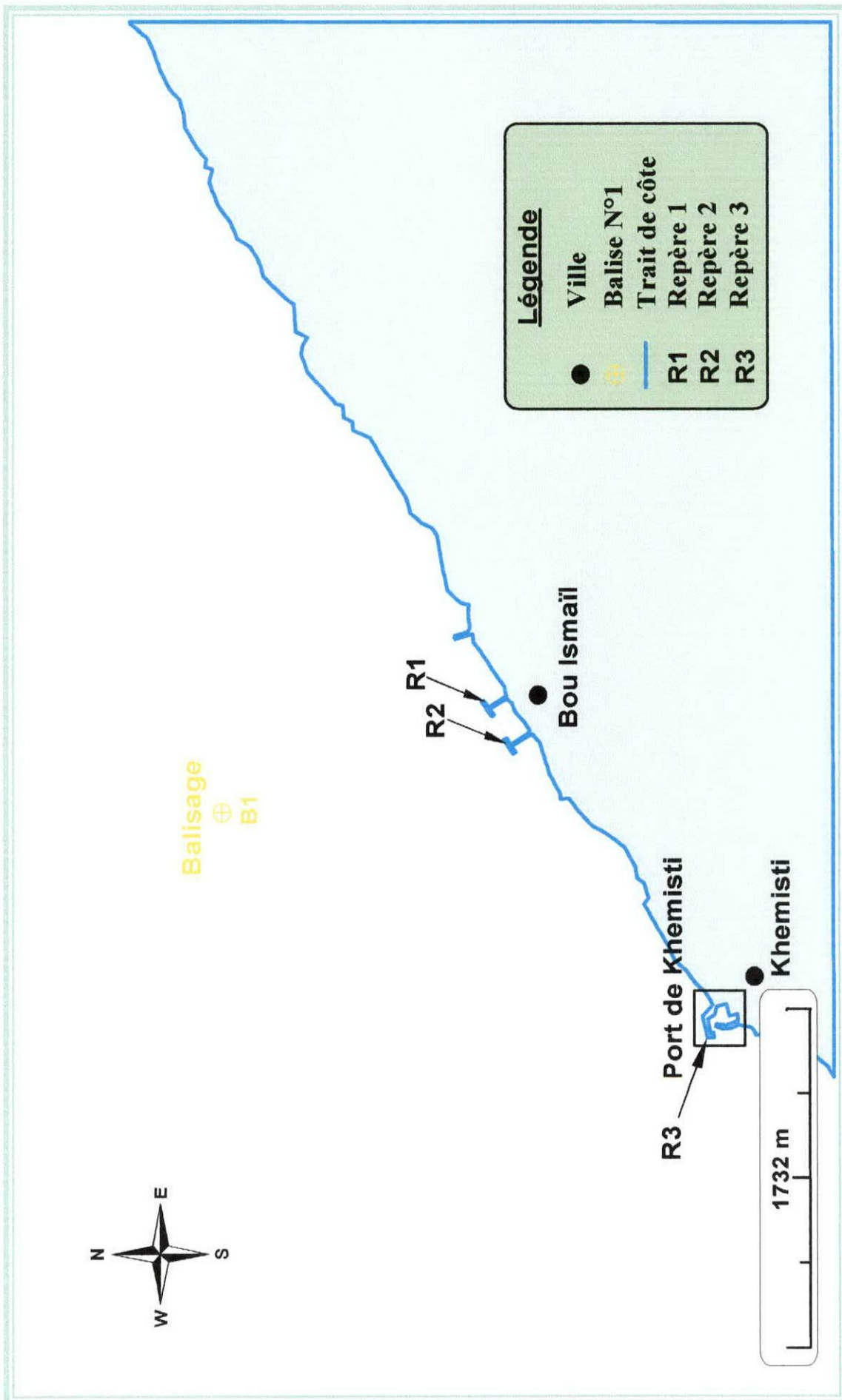


Figure 9 : Localisation du balisage.

3.1.1. Profondeur des balises

La profondeur moyenne du balisage a été estimée à partir des profondeurs mesurées, à l'aide d'un profondimètre, à la base de chacune des balises (Tableau 5). Les profondeurs seront systématiquement mesurées lors des suivis ultérieurs, de manière à quantifier les éventuels mouvements sédimentaires (apport ou départ) dans ce secteur.

Tableau 5 : Profondeurs relevées avec un profondimètre électronique pour chacune des balises (Bou Ismail, juillet 2007).

| Balise | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | B8 | B9 | B10 | B11 | B12 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Profondeur (m) | 21.2 | 21.2 | 21.1 | 20.8 | 20.9 | 20.9 | 20.9 | 20.7 | 20.6 | 20.9 | 20.8 | 20.7 |

On note une régularité dans la profondeur de la limite balisée avec des valeurs comprises entre 20.6m et 21.2m, soit une profondeur moyenne de 20.8m.

3.1.2. 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 6. Grâce à ces relevés et avec les distances de balise à balise (5m) et de balise à piquet photo (1.5m), on a pu établir un plan du balisage (Figure 10).

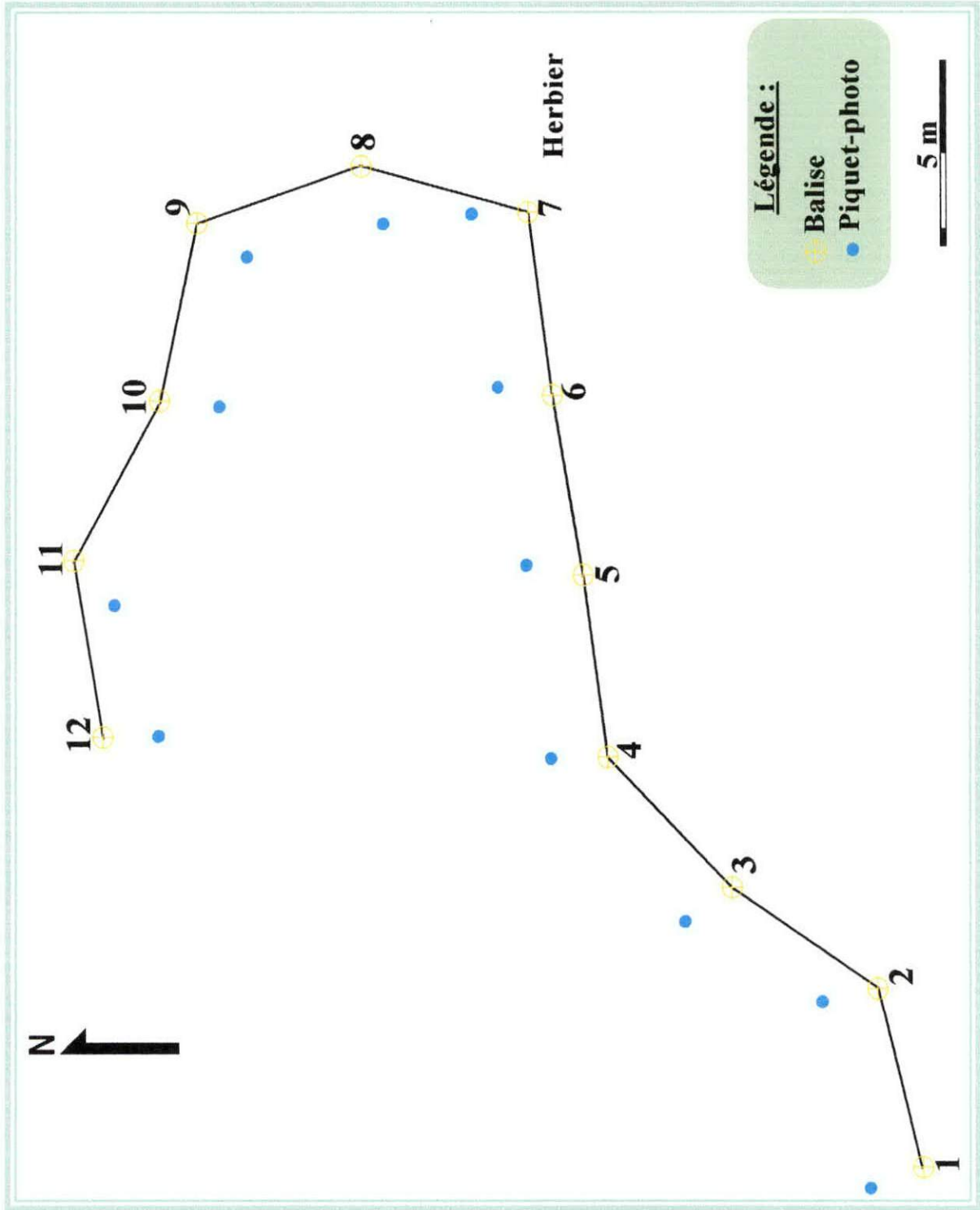


Figure 10 : plan du balisage et positions des 12 balises avec leurs piquets-photos.

Tableau 6 : Angles mesurés par rapport au Nord, de balise à balise (B à B) et de balise à piquet photo (B à P) (Bou Ismaïl, Juillet 2007).

| Balise à balise | Angle (α°) | Balise à piquet-photo | Angle (β°) |
|-----------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|
| B1 à B2 | 75° | B1 à P1 | 330° |
| B2 à B1 | 250° | B2 à P2 | 350° |
| B2 à B3 | 33° | B3 à P3 | 310° |
| B3 à B4 | 45° | B4 à P4 | 0° |
| B4 à B5 | 82° | B5 à P5 | 28° |
| B5 à B6 | 80° | B6 à P6 | 10° |
| B6 à B7 | 82° | B7 à P7 | 5° |
| B7 à B8 | 15° | B8 à P8 | 235° |
| B8 à B9 | 342° | B9 à P9 | 210° |
| B9 à B10 | 283° | B10 à P10 | 190° |
| B10 à B11 | 280° | B11 à P11 | 218° |
| B11 à B12 | 260° | B12 à P12 | 180° |
| B12 à B11 | 80° | - | - |

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

3.2. Mesures et observations *in situ*

3.2.1. Description de la limite inférieure de l'herbier au niveau du balisage

La portion de la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* balisée est continue, entrecoupée par un petit chenal de sable situé entre les Balises N°1 et N°2. Les balises décrivent une limite en forme de anse car elle se situe au niveau d'un chenal creusé dans l'herbier par un courant de direction WNW-ESE (Figure 10). Le positionnement de la zone de balisage s'est fait par superposition d'une image satellitaire et des cartes bathymétrique et de répartition des faciès sédimentaires réalisées par (BRAIK, 1989) devant Bou Ismaïl.

Le substrat sur lequel se développe l'herbier est principalement rocheux recouvert d'une couche de sable plus ou moins épaisse. D'ailleurs, la présence de roches sous-jacentes n'a pas permis d'enfoncer totalement les piquets d'ancrage des balises.

La limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* au niveau du balisage est qualifiée d'érosive selon la terminologie de MEINESZ et LAURENT (1978), l'hydrodynamisme semble être à l'origine de ce type de limite. Elle se caractérise par des rhizomes en majorité orthotropes mais sans édification de matrice ; en effet, la composition sédimentologique du substrat (sable grossier d'origine biogène et autochtone) au niveau de la limite, témoigne d'un

faible apport sédimentaire, surtout en sable fin, nécessaire à la constitution et à l'élévation de la matte. L'observation de l'herbier au niveau de sa limite montre des rhizomes qui présentent un déchaussement important. De plus, de nombreux rhizomes morts ont été observés le long de la limite et quelques faisceaux persistent, parfois groupés en îlots, en avant de cette limite (Figure 11), témoignant d'une régression de l'herbier dans ce secteur.

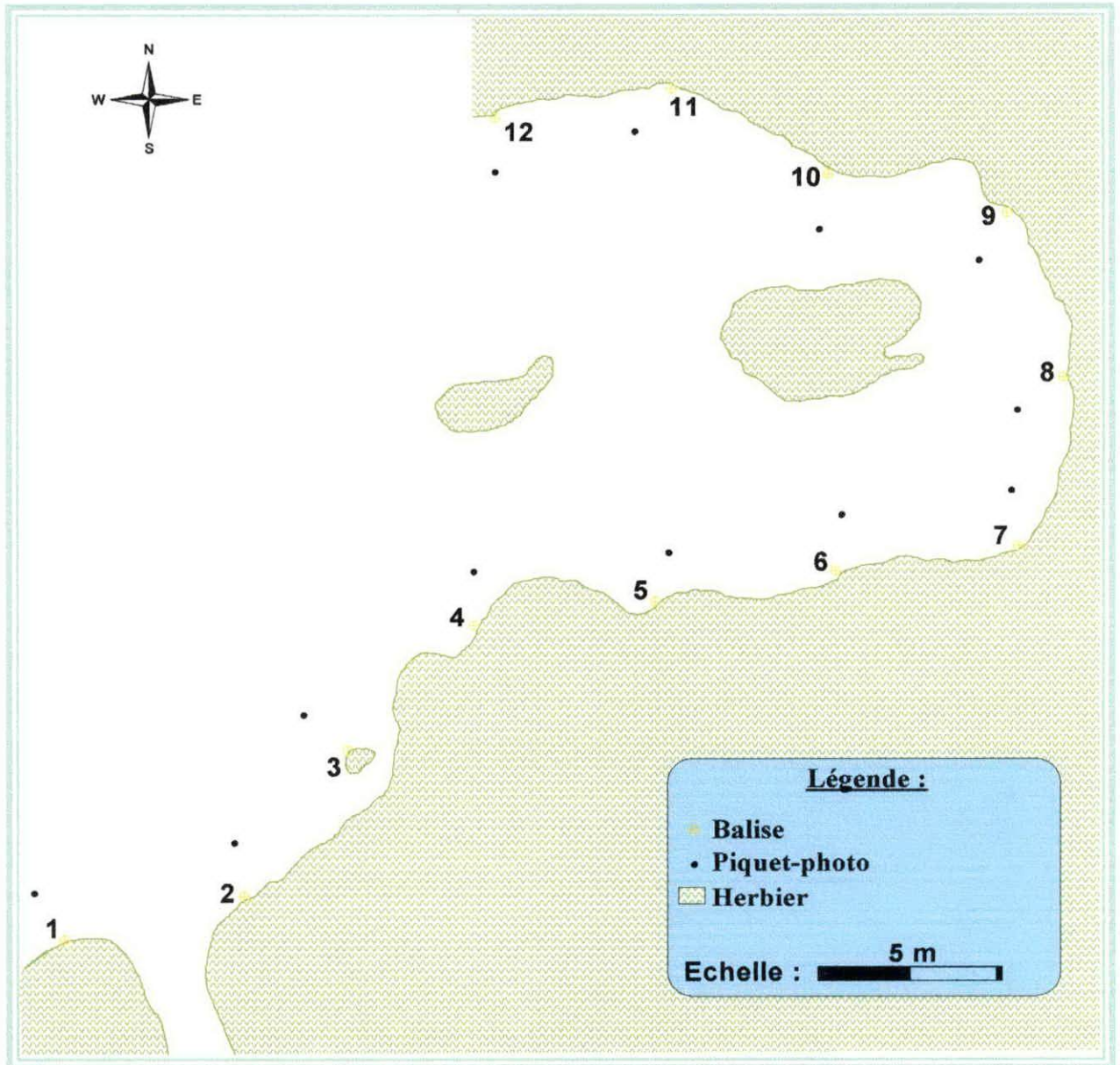


Figure 11 : Cartographie de la zone étudiée au niveau de la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* (Bou Ismail, juillet 2007).

3.2.2. Estimation du recouvrement

La valeur moyenne du pourcentage de recouvrement estimée en amont de chaque balise, à l'aide d'un quadrat de 1m de côté par 2 observateurs (Tableau 7) est de l'ordre de 11% ; il s'agit d'un recouvrement faible selon la classification de CHARBONNEL *et al.* (2000).

Tableau 7 : Estimation moyenne du recouvrement de l'herbier (en pourcentage) le long du balisage dans la baie de Bou Ismail.

| Balise | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | B8 | B9 | B10 | B11 | B12 |
|------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| Recouvrement moyen (%) | 20 | 10 | 5 | 25 | 15 | 5 | 15 | 5 | 5 | 5 | 10 | 15 |

Il est à noter, que ce paramètre dépend essentiellement de l'appréciation de l'observateur et de la saison durant laquelle les mesures sont effectuées. En effet, le recouvrement estimé présente des différences significatives selon deux observateurs, il y'a donc « un effet observateur », selon la terminologie de CHARBONNEL *et al.* (1995), qui vient biaiser l'estimation du recouvrement au niveau de cette limite.

Outre ces mesures, l'estimation visuelle du recouvrement, toujours en amont du balisage montre que l'herbier est plus clairsemé dans sa partie centrale (B5 à B10).

3.2.3. Densité de l'herbier

La densité moyenne a été estimée à partir de trois comptages réalisés en arrière de chaque balise. Les moyennes obtenues sont exprimées en nombre de faisceaux/m² (Tableau 8).

Tableau 8 : Densité moyenne des faisceaux par m² mesurée derrière chaque balise.

| Balise | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | B8 | B9 | B10 | B11 | B12 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Densité | 233 | 233 | 233 | 217 | 267 | 233 | 275 | 258 | 158 | 192 | 175 | 200 |

Pour l'ensemble du balisage, la densité moyenne est de 223 ± 47 faisceaux par mètre carré, ce qui correspond à un herbier très clairsemé de type IV, selon la classification de GIRAUD (1977a). Par ailleurs, en tenant compte de la classification proposée par PERGENT-MARTINI (1994) qui intègre le facteur profondeur, l'herbier présente une densité normale pour une profondeur de 21m où les valeurs fluctuent entre 160 et 384 faisceaux par mètre carré.

3.3. Paramètres Lépidochronologiques

3.3.1. Nombre d'écailles par cycle

Le nombre moyen d'écailles par cycle se situe entre 6 et 12, ce qui correspond aux valeurs généralement rencontrées dans la littérature (PERGENT-MARTINI et PERGENT, 1995).

Ces variations interannuelles (Figure 12) sont à la fois liées à des facteurs exogènes (lumière, température, hydrodynamisme, nutriments) et à des facteurs endogènes (floraison). Par ailleurs, le nombre moyen de feuilles produites annuellement est de 9.2 ± 1.3 , cette valeur est du même ordre de grandeur que celles enregistrées dans le même secteur par BOUDEFOUA et KADA (sous press.).

L'analyse lépidochronologique a permis de mettre en évidence une floraison ancienne datant de l'automne 2003. En effet, durant cette année une floraison a été enregistrée au niveau de différentes stations de Méditerranée (BOUMAZA, comm. perso.).

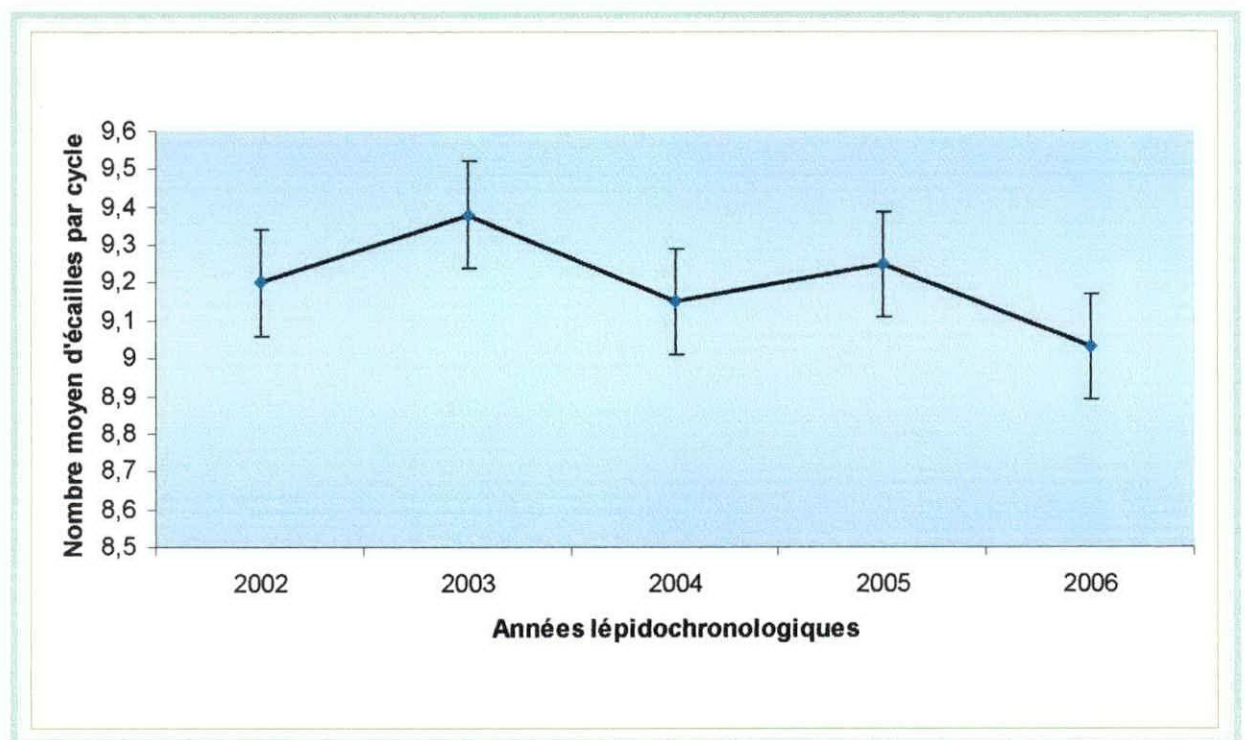


Figure 12 : Evolution du nombre d'écailles par cycle ou année lépidochronologique.

3.3.2. Vitesse de croissance des rhizomes

Grâce à la lépidochronologie, il a été possible de délimiter des tronçons de rhizomes, correspondant à un cycle, donc d'évaluer avec précision son allongement (croissance) pour une année donnée.

Les vitesses de croissance sont très variables aussi bien d'une année à l'autre (Figure 13) que d'un rhizome à l'autre. Ces variabilités interannuelle et d'un rhizome à l'autre ont déjà été mises en évidence par de nombreux auteurs (BOUMAZA, 1995 ; AMAROUCHE, 2005). La vitesse de croissance moyenne est de 6.9 ± 2.5 mm/an. Cette valeur correspond à l'intervalle de croissance annuelle généralement admis en Méditerranée (PERGENT-MARTINI *et al.*, 1999). Selon BOUDOURESQUE et JEUDY de GRISSAC (1984), un allongement inférieur à 7mm/an traduit une croissance d'origine endogène, autrement dit, elle n'est pas sous l'influence d'un apport sédimentaire (facteur exogène) trop important qui pourrait ensevelir le point végétatif des rhizomes. Ce faible allongement annuel des rhizomes paraît normal vu l'importance du déchaussement des rhizomes observé au niveau du balisage. En effet, la composition sédimentologique, principalement constituée de sable grossier, interdit toute édification de la matre, donc protection des rhizomes contre le déchaussement.

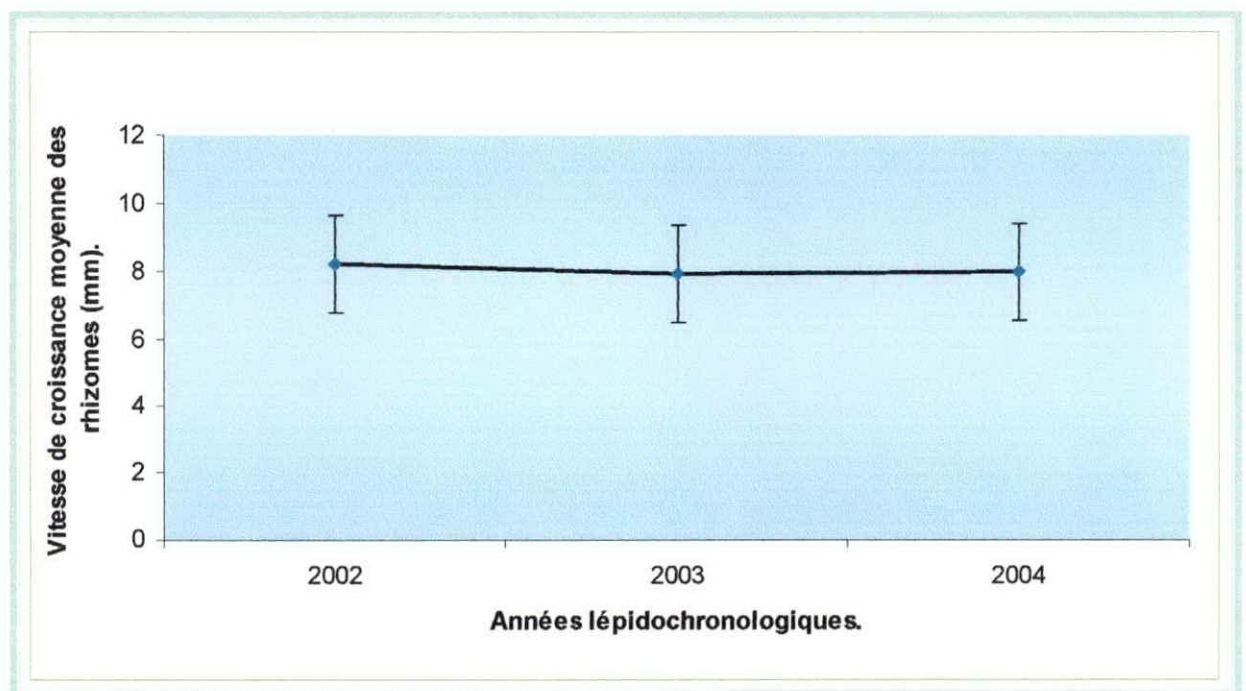


Figure 13 : Evolution de la vitesse de croissance moyenne des rhizomes en fonction des années lépidochronologiques.

3.4. Paramètres biométriques

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 9 et sont comparés à ceux de BOUDEFOUA et KADA (sous press.), car effectués à la même période de l'année et à la même profondeur.

3.4.1. Nombre de feuilles par faisceau

Le nombre moyen de feuilles globales (adultes et intermédiaires) est de 5.9 ± 1.4 feuilles par faisceau. Cette valeur reste inférieure à celles enregistrée par BOUDEFOUA et KADA (sous press.). En effet, ce paramètre présente une variabilité interannuelle importante liée au rythme de chute et de formation des feuilles, lui même lié au rythme des saisons et à l'hydrodynamisme.

3.4.2. Longueur des feuilles

La longueur moyenne des feuilles globales (adultes et intermédiaires) est de 475.4 ± 274.8 mm, cette valeur est du même ordre de grandeur que celle obtenue par BOUDEFOUA et KADA (sous press.) dans la même localité et à la même période. En Méditerranée, pour des profondeurs similaires les longueurs des feuilles de *Posidonia oceanica* sont du même ordre de grandeur (CHARBONNEL *et al.*, 1995).

3.4.3. Largeur des feuilles

La largeur moyenne des feuilles globales (adultes et intermédiaires) est de 10.23 ± 0.6 mm. BOUDEFOUA et KADA (sous press.) signalent qu'au niveau de la même localité les feuilles de Posidonie présentent une variabilité de leur largeur en fonction des saisons, avec une largeur minimale en été ; ce qui expliquerait cette valeur.

3.4.4. Le coefficient A

Le coefficient A correspond au pourcentage des feuilles ayant perdu leurs apex (broutage par les herbivores, hydrodynamisme). Ce coefficient est particulièrement élevé pour les feuilles adultes du fait de leur position à la périphérie du faisceau, subissant ainsi l'action directe des

consommateurs et/ou celle de l'hydrodynamisme, favorisé par la présence des épiphytes (MAZZELLA *et al.*, 1983). Pour les feuilles globales (adultes intermédiaires), la valeur du coefficient A est de 52.27%, elle traduit la présence d'un fort hydrodynamisme vu que les extrémités des feuilles étaient brisées.

3.4.5. Surface foliaire

La surface foliaire des feuilles globales exprimée en cm²/faisceau intègre la longueur moyenne, la largeur moyenne et le nombre moyen de feuilles. La surface foliaire des feuilles globales est de 287.79 ± 68.5 cm²/faisceau, cette valeur est relativement importante compte tenu de la profondeur. Toutefois, elle reste inférieure à celle enregistrée par BOUDEFOUA et KADA (sous press.), vu le nombre de feuille enregistré, moins important que celui des échantillons prélevés en 2002.

3.5.6. Indice foliaire

L'indice foliaire dépend de la surface foliaire et de la densité. L'indice foliaire des feuilles globales est de 11.14. Cette valeur reste faible du fait de la faible densité enregistrée au niveau du balisage.

Tableau 9 : Les différents paramètres biométriques des feuilles de *Posidonia oceanica* prélevées en limite inférieure de l'herbier dans la localité de Bou Ismail en juillet 2002 (BOUDEFLOU et KADA, sous press.) et en juillet 2007 (le présent travail).

| Paramètre | Feuilles adultes | | Feuilles intermédiaires | | Feuilles globales (adultes + intermédiaires) | |
|--|------------------------|---------------|-------------------------|---------------|--|---------------|
| | Localité de Bou Ismail | | | | | |
| | 2002 | 2007 | 2002 | 2007 | 2002 | 2007 |
| Nombre de feuilles / faisceau | 4.4 ± 0.1 | 3.3 ± 0.7 | 2.6 ± 0.01 | 2.6 ± 0.7 | 7 ± 0.1 | 5.9 ± 1.4 |
| Longueur des feuilles (mm) | 629.4 ± 195.4 | 583.9 ± 198.1 | 200.6 ± 11.1 | 339.1 ± 237.4 | - | 475.4 ± 247.8 |
| Longueur de la base de la feuille de rang 1 (mm) | 38.6 ± 13.9 | 42.5 ± 13.3 | - | - | - | - |
| Largeur des feuilles (mm) | 10.7 ± 0.4 | 10.4 ± 0.6 | 10.5 ± 0.1 | 10.0 ± 0.6 | - | 10.2 ± 0.6 |
| Coefficient A (%) | 34.8 | 84.7 | - | 11.7 | - | 52.3 |
| Surface foliaire (cm ² /faisceau) | 299.4 ± 20.6 | 199.2 ± 67.4 | 57.1 ± 3.4 | 88.6 ± 63.5 | 354.4 ± 9.6 | 287.8 ± 68.5 |
| Indice foliaire | - | 16.8 ± 11.1 | - | 5.5 ± 3.6 | - | 11.1 ± 9.9 |

3.5. Biomasse des feuilles et des épiphytes des feuilles

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 10 et sont comparés à ceux obtenus par KADA et BOUDEFOUA (sous presse) dans la même localité en 2002.

La biomasse moyenne des feuilles et des épiphytes des feuilles enregistrée en 2002 est plus élevée qu'en 2007 ; à l'exception de la biomasse des feuilles intermédiaires. En effet, leur longueur est plus importante (Tableau 9).

Tableau 10 : Biomasse moyenne des feuilles et des épiphytes des feuilles (Bou Ismaïl, Juillet 2007).

| | | Biomasse des épiphytes | | Biomasse des feuilles | |
|------------------------------------|--------------|------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| | | mg Ps/fsc. | g Ps/m ² | mg Ps/fsc. | g Ps/m ² |
| Feuilles adultes | Juillet 2007 | 131.8 ± 87.2 | 29.3 ± 19.4 | 932.7 ± 292.3 | 207.9 ± 65.1 |
| | Juillet 2002 | 136.6 ± 23.31 | - | 1121.82 ± 36.03 | - |
| Feuilles intermédiaires | Juillet 2007 | 13.5 ± 16.6 | 3.0 ± 3.71 | 234.8 ± 115.0 | 52.3 ± 25.65 |
| | Juillet 2002 | 77.44 ± 24.24 | - | 135.3 ± 9.21 | - |
| Feuilles adultes et intermédiaires | Juillet 2007 | 145.4 ± 88.7 | 32.4 ± 19.8 | 1167.5 ± 315.7 | 260.3 ± 70.4 |
| | Juillet 2002 | 214.04 | - | 1257.12 | - |

3.6. Analyse granulométrique du sédiment

L'analyse granulométrique des différents échantillons de sédiment prélevés au niveau du balisage a permis d'obtenir des courbes de fréquences cumulatives (annexes). Les courbes granulométriques montrent des allures sigmoïdes et unimodales et sont assez comparables. On note une prédominance des sédiments biogènes autochtones sur l'ensemble des prélèvements.

3.6.1. Analyse des fractions

- La fraction grossière (> à 2mm) : avec une moyenne de 13.31% pour le sédiment prélevé au niveau des balises, elle présente des teneurs assez importante pour atteindre au niveau des piquets photos, une valeur moyenne de 32.79%. On note que cette fraction est principalement constituée de sédiment biogène autochtone (coquilles de Gastéropodes, de Bivalves, tests d'Oursins... etc.).

- La **fraction moyenne** (entre 0.5 et 2mm) : c'est la fraction prédominante sur l'ensemble des prélèvements avec une valeur maximale au niveau de la balise B1 (présence d'un petit chenal de sable) et une moyenne de 66.40% pour le prélèvement au niveau du balisage et de 55.22% pour le prélèvement au niveau des piquets photos. Il s'agit, là aussi, d'un sédiment principalement composé de sable coquiller.
- La **fraction fine** (entre 0.05 et 0.5mm) : elle est faiblement représenté (18.42% pour les balises et 10.46% en aval des balises). Ceci traduit la présence d'hydrodynamisme de fond qui empêcherait ces éléments de se déposer en quantité suffisante, ce qui explique d'ailleurs le fort taux de déchaussement des rhizomes à ce niveau et l'absence d'édification de la matre.
- La **fraction pélitique** (< à 0.05mm) : d'un point de vue écologique, cette fraction est très importante car elle peut mettre en évidence des aires préférentielles de dépôt (JEUDY de GRISSAC et LE FUR, 1983). D'une manière générale, en l'absence d'herbier à *Posidonia oceanica*, la fraction pélitique est faible au niveau du littoral en raison de l'action de l'hydrodynamisme, mais elle croit progressivement vers le large. Concernant nos prélèvements, cette fraction est faiblement représentée, mais il y a une légère augmentation du taux de pérites en allant des piquets-photos vers les balises (de 3.87% à 5.54% en moyenne), et ceci est probablement dû à l'effet de ralentissement de la houle et des courants provoqué par les feuilles de *Posidonia oceanica* et les épiphytes qu'elles portent, ce qui influe sur le dépôt de cette fraction.

3.6.2. Caractéristiques des sédiments

- Au niveau des balises : le sédiment est composé de sable grossier pour B1, de sable moyen pour B6 et de granules pour B12. Il est très homogène, avec une asymétrie négative sauf pour la balise B6 où il y a prédominance des fractions grossières. L'indice de classement diminue en allant de B12 vers B1 ce qui signifie que le classement va de bien classé au niveau de B12 et B6 à très bien classé au niveau de B1. Le facteur hydrodynamique positif indique que le sédiment présente une aptitude au transport et qu'il est facilement mobilisable (Tableau 11).
- Au niveau des piquets-photos : le sédiment est principalement composé de sable grossier dont le diamètre va augmenté pour atteindre la dimension de granules au niveau du piquet-photo P12. Il est moyennement homogène au niveau de P1 et P12 et

homogène à P6 avec une tendance qui va vers les particules fines sauf pour le piquet P12 où il y a une asymétrie positive signifiant une prédominance des particules grossières. Le sédiment est globalement bien classé sauf pour P12 où le classement est moyen. Quant au facteur hydrodynamique, il est positif traduisant une bonne mobilité du sédiment sauf au niveau du piquet P12 où il présente une valeur négative, cela est probablement dû à la taille relativement importante des particules composées principalement de granules (Tableau 12).

Tableau 11 : Calcul des principaux indices granulométriques pour le sédiment prélevé au niveau des balises.

| Indice | Balise 1 | Balise 6 | Balise 12 |
|-------------------------------|----------|----------|-----------|
| TM (mm) | 1.00 | 0.96 | 3.31 |
| DFI | 0.96 | 1.63 | 2.11 |
| SKI | -0.24 | 0.18 | -0.27 |
| KG | 1.92 | 1.71 | 1.75 |
| CL | 0.30 | 0.70 | 0.75 |
| FH | 1.56 | 1.01 | 0.99 |
| Fraction grossière (%) | 6.86 | 13.42 | 19.67 |
| Fraction moyenne (%) | 79.24 | 62.61 | 57.36 |
| Fraction fine (%) | 12.63 | 21.71 | 20.92 |
| Fraction pélitique (%) | 6.09 | 5.33 | 5.66 |

Tableau 12 : Calcul des principaux indices granulométriques pour le sédiment prélevé au niveau des piquets-photos.

| Indice | Piquet-photo 1 | Piquet-photo 6 | Piquet-photo 12 |
|-------------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| TM (mm) | 1.75 | 1.34 | 3.05 |
| DFI | 1.26 | 1.32 | 1.89 |
| SKI | -0.37 | -0.14 | 0.22 |
| KG | 0.98 | 1.42 | 1.01 |
| CL | 0.85 | 0.73 | 1.29 |
| FH | 0.13 | 0.68 | -0.28 |
| Fraction grossière (%) | 27.58 | 20.68 | 50.13 |
| Fraction moyenne (%) | 65.37 | 66.73 | 33.58 |
| Fraction fine (%) | 5.91 | 10.72 | 14.76 |
| Fraction pélitique (%) | 2.08 | 4.81 | 4.73 |

En conclusion, on note que le sédiment au niveau du balisage est relativement homogène, constitué principalement de sable grossier d'origine biogène. On note aussi une quantité anormalement faible de particules fines et pélitiques ce qui démontre une assez forte action hydrodynamique, surtout au niveau du chenal. L'indice hydrodynamique est positif traduisant une bonne aptitude au transport du sédiment sauf au niveau du piquet P12 où la mobilité est légèrement entravée par la composition en granules du sédiment.

3.7. Prise et description des photographies

Les photographies prises depuis les piquets photos sont, après numérisation, traitées avec le logiciel ArcSoft PhotoStudio 5. Ainsi, on a pu obtenir des prises de vue pour chaque balise avec un cadre plus large et un champ panoramique beaucoup plus grand entourant la balise. Toutefois, l'observation de ces photographies fournit quelques renseignements malgré la dominance de la longueur d'onde de couleur bleue qui résulte du manque de pénétration de lumière à cette profondeur et de la qualité des clichés. Ces photos seront utiles pour les suivis ultérieurs de l'herbier à *Posidonia oceanica* au niveau de la zone balisée.

Balise N°1 : Il y a une discontinuité de l'herbier avec la présence d'un petit chenal de sable entre B1 et B2. On note la présence d'une tâche de sable recouvert de litière.

Balise N°2 : L'herbier est plus ou moins continu et légèrement discontinu à gauche de la balise.

Balise N°3 : La balise est placée en aval de la limite au niveau d'une touffe de faisceaux de Posidonie. La limite franche et continue de l'herbier se trouve en arrière de la touffe. Il y a des macroalgues et une litière au tour de cette touffe et entre la touffe et la limite de l'herbier. Présence d'*Eunicella singularis* (gorgone) à gauche et devant de la balise.

Balises N°4 et N°5 : Ces balises se trouvent au contact d'une limite continue où l'herbier présente la densité la plus élevée. On note la présence d'algues en aval des balises.

Balise N°6 : La balise est positionnée au contact d'une limite d'herbier continu mais où il est moins dense par rapport à la balise précédente. On note la présence d'une zone à droite de la balise occupée par des macroalgues.

Balise N°7 : La limite est discontinue, avec présence d'une tâche de sable à droite de la balise.

Balise N°8 : La balise est placée au contact d'une limite continue. Le substrat dur en aval et à droite de la balise est fortement colonisé par les algues.

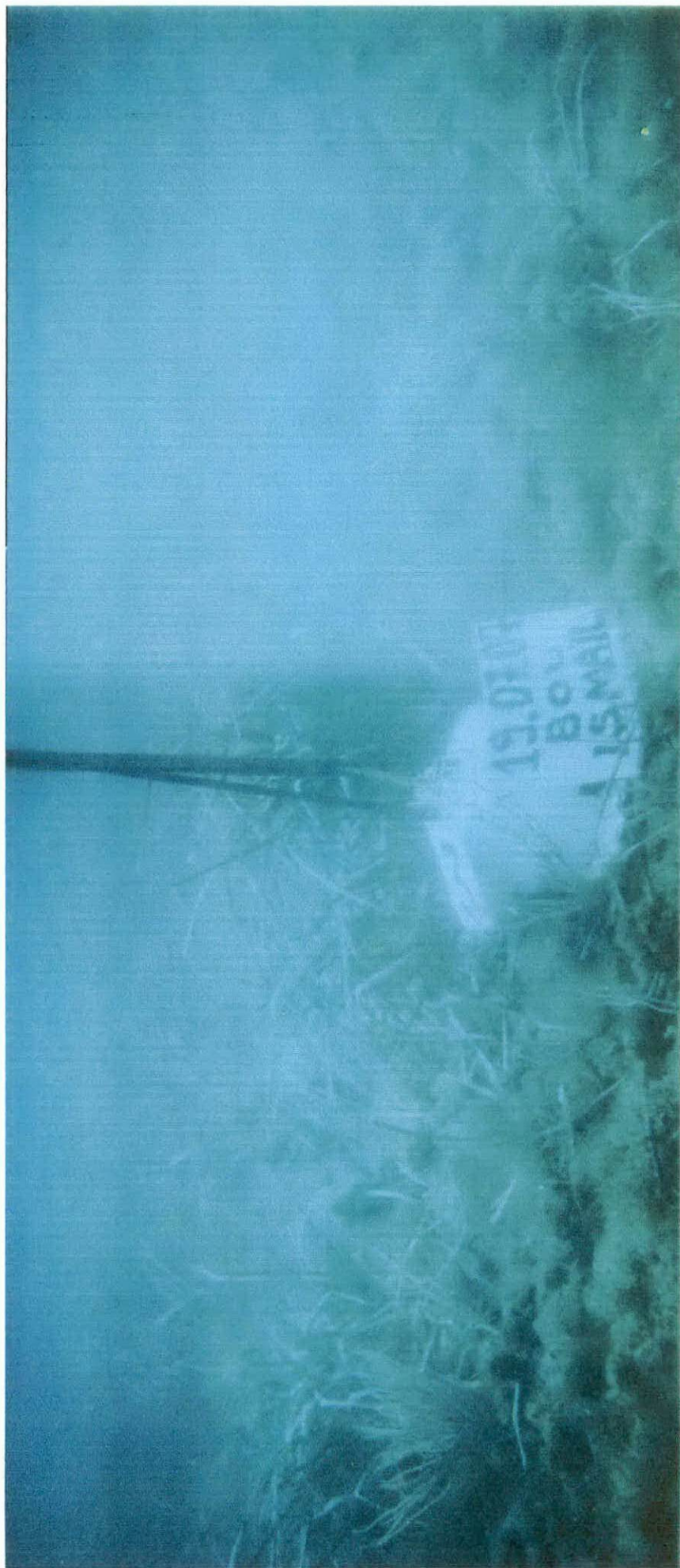
Balises N°9, N°10, N°11 et N°12 : Les balises sont au contact d'une limite continue. Le substrat est couvert par des macroalgues le long de la limite. On note la présence d'une population de gorgones (*Eunicella singularis*) importante.



BALISE N°1



BALISE N°2



BALISE N°3



BALISE N°4



BALISE N°5



BALISE N°6



BALISE N°7



BALISE N°8



BALISE N°9



BALISE N°10



BALISE N°11



BALISE N°12

CONCLUSION

CONCLUSION

Ce travail a permis de mettre en place un réseau de surveillance de l'herbier à *Posidonia oceanica* devant le littoral de Bou Ismaïl. Ce site correspond à une zone sensible, soumise à une anthropisation de plus en plus croissante.

Ce réseau comprend la mise en place d'un balisage le long d'une portion de la limite inférieure de l'herbier et l'étude d'un certain nombre de descripteurs de sa vitalité. Il constitue donc un état de référence (juillet 2007) et le suivi à long terme de ce réseau permettra d'appréhender l'état du milieu marin dans ce secteur. En effet, l'efficacité de cette technique est conditionnée par la visite régulière (au minimum tous les trois ans) des structures mises en place. Par ailleurs, l'intérêt de ce système de surveillance réside dans la simplicité de sa mise en œuvre d'une part, et de son faible coût d'autre part.

L'herbier à *Posidonia oceanica* de Bou Ismaïl se développe sur un substrat dur, sans édification de matte, et sa limite inférieure se situe à une profondeur moyenne de 20.8m. Cette limite correspond à une limite érosive et la présence de quelques vestiges de rhizomes de Posidonie traduit ponctuellement une légère régression de cette limite. L'herbier présente un recouvrement faible avec une moyenne de 11% et une densité normale, estimée à 223 faisceau/m². L'analyse des paramètres biométriques montre que l'herbier présente une bonne vitalité sans tendance à la progression (rhizomes majoritairement orthotropes). Un déchaussement important des rhizomes, confirmé par la mesure de la vitesse de croissance des rhizomes, est noté au niveau de cette limite. Il résulte d'une part de l'absence de matte, et d'autre part de l'importance des courants de fond qui règnent dans ce secteur (BRAIK, 1989).

La dynamique évolutive de l'herbier est sous l'influence simultanée de trois causes essentielles susceptible d'entraîner sa régression : (1) La pollution par les effluents des émissaires, (2) les conditions hydrodynamiques qui entraînent une remobilisation constante du sédiment existant et une non sédimentation des apports terrigènes en transit (quand ils existent), (3) la réduction des apports terrigènes qui ne favorisent pas la croissance verticale de la matte.

Le suivi de ce système de surveillance, par rapport à la période de sa mise en place, permettra d'appréhender l'état de la limite inférieure et l'évolution des paramètres liés à la vitalité de l'herbier. Par conséquent, la surveillance de cette limite permettra de veiller sur la qualité

globale du milieu marin. En effet, toute altération se traduira par la régression de l'herbier de Posidonie et toute amélioration par sa progression.

BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMAROUCHE N., 2005. *Contribution à l'étude de l'accumulation et de la mémorisation des métaux traces (Hg, Zn et Cu) par Posidonia oceanica (L.) Delile dans la baie de Bou Ismaïl*. Thèse de Magister, Océanographie spécialité écologie marine, USTHB, Alger : 139 + annexes.
- AUGIER H. et MAUDINAS B., 1977. Variation de la croissance et de la teneur en pigments de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* dans le Port-Cros en fonction de la profondeur et de la pollution. Etude préliminaire des paramètres physiologiques et biochimiques susceptibles de caractériser le degré d'impact de la pollution sur l'herbier de *Posidonies*. *Trav. Sci. Parc nation. Port-Cros*, 3 : 39-55.
- 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, Fr. : 1-43.
- BLANC J.J., JEUDY DE GRISSAC A., 1978. Recherches de géologie sédimentaire sur les herbiers à *Posidonies* du littoral de la Provence. *Contrat CNEXO 76/4043, 77/4074. Centre nat. Exploit. Océans publ.*, Fr.: 1-185, i-vii, 42 pl. h.t.
- BOUDOURESQUE C.F., et MEINESZ A., 1982. Découverte de l'herbier de *Posidonies*. *Cahier Parc National de Port-cros*, 4 : 1-79.
- BOUDOURESQUE C.F., 2003. The erosion of Mediterranean biodiversity. In *Rodríguez-Prieto C., Pardini G. edits. The Mediterranean Sea: an overview of its present state and plans for future protection*. Service de Publ. de la Universitat de Gerona: 53-112.
- 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., JEUDY DE GRISSAC A., MEINESZ A., 1984 ; Relations entre la sédimentation et l'allongement des rhizomes orthotropes de *Posidonia oceanica* dans la baie d'Elbu (Corse). In : *Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. édit. International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 185-191.
- BOUDOURESQUE C.F., VAN KLAVEREN M.C., VAN KLAVEREN P., 1996. Proposal for a list of threatened or endangered marine and brackish species (plants, invertebrates, fish, turtles and mammals) for inclusion in appendices I, II and III of the Bern Convention. *Council of Europe, Document S/TPVS96/TPVS48E, 96A*: 1-138.
- BOUDOURESQUE C-F., MEINESZ A., LEDOYEN M., VITIELLO P., 1994. Les herbiers à Phanérogames marines. In les Biocénoses Marines et Littorales de Méditerranée : Synthèse, menaces et perspectives. *Bellan-Santini D., Lacaze J-C., Poizat C., édit. Collection Patrimoines Naturels – Volume N°19. Série Patrimoine Écologique*, Paris : 98-118.
- BOUDOURESQUE C-F., RIBERA M., 1995. Les espaces protégés marins en Méditerranée : Situation actuelle, problèmes et priorités. *Colloque international « Les zones protégées en Méditerranée »*. 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. Surveillance de l'herbier à *Posidonia oceanica* d'El Djamilia (Algérie). *Proceedings of the first Mediterranean symposium on marine vegetation*. RAC/SPA publ., Tunis : 1-114.
- BRAÏK D., 1989. *Etude de la dynamique sédimentaire devant Bou Ismail : Sédimentologie – Morphologie – problème d'érosion littorale – Aménagement*. Thèse magistère, option géologie marine, USTHB, Alger : p38 p41 p74.
- CAYE G., 1980. Analyse du polymorphisme caulinaire chez *Posidonia oceanica* (L.) Delile. (2) *Bull. Soc. Bot. Fr. Lett. Bot.*, 127 (3) : 257-262.*
- CHARBONNEL E., BONHOMME P., BERNARD G., CADIOU G., BOUDOURESQUE C.F., 2002. Projet d'aménagement du port de la Madrague de Giens. Cartographie et état de vitalité des herbiers et du récif-barrière de Posidonie. Conseil Général du Var & GIS Posidonie, GIS Posidonie publ., Fr. : 1-62.
- CHARBONNEL E., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., BONHOMME P., BERNARD G., PATRONE J., KRUCZEK R., COTTALORDA J.M., BERTRANDY M.C., FORET P., BRICOUT P., RAGAZZI M., MARRO C., SERRE C., LE DIREAC'H L., 2001. *Le Réseau de Surveillance Posidonies de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Résultats du suivi 2001*. Région PACA, Agence de l'Eau, DDE & GIS Posidonie, GIS Posidonie publ., Fr.: 1-119.
- CHARBONNEL 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., GRAVEZ V., ABELLARD O., BOUDOURESQUE C-F., REMONNAY L., 1995. Surveillance de l'herbier à *Posidonia oceanica* du golf de Giens (Var – France). *Second suivi. Contrat Syndicat Intercommunal Hyères – Carqueiranne pour l'assainissement de la baie de Giens et GIS Posidonie publication*, Marseille, France : 1-106 + Annexes.
- CROUZET A., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., PERGENT G., 1983. Evidence of the annual character of cyclic changes of *Posidonia oceanica* scale thickness (erect rhizomes). *Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.* 28 (3) : 113-114.
- DREW E.A., 1971. *Botany Underwater science. An introduction to experiments by divers*. Woods et lithogoe edit., London : 1-59.
- DREW E.A., JUPP B.P., 1976. Some aspects of the growth of *Posidonia oceanica* in Malta. In: *Underwater Research*. Academic Press publ., London : 357-367.
- FOLK R.L., WARD W.C., 1957. Brazos river bar : a study in significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.*, 27 : 3-26.

- FRANCOUR P., 1990. Dynamique de l'écosystème à *Posidonia oceanica* dans le Parc Naturel de Port-Cros : Analyse des compartiments mat, litière, faune végétale, Echinodermes et Poissons. Thèse doctorat. Université de Paris VI. France : 1-40.
- FRANCOUR P., 1994. Impact du mouillage sur l'herbier à *Posidonia oceanica* dans la baie de Port-Cros (Var, Méditerranée nord-occidentale). GIS Posidonie publication, Marseille, France : 1-19.
- GIRAUD G., 1977a. Essai de classement des herbiers de *Posidonia oceanica* (Linné) Delile. *Bot. Mar.* 20(8): 487-491
- GIRAUD G., 1977b. Contribution à la description et à la phénologie quantitative des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse doctorat 3^{ème} cycle, Univ. Aix-Marseille II, France : 1-150.
- HARMELIN-VIVIEN M.L., 1983. Ichtyofaune des herbiers de Posidonies des côtes provençales françaises. *Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.* 28 (3) : 161-163.
- JEUDY DE GRISSAC A., BOUDOURESQUE C-F., 1985. Rôle des herbiers à *Posidonia oceanica* sur la dynamique et la sédimentologie littorale. *International Workshop Posidonia oceanica beds*, Boudouresque C-F., Jeudy de Grissac A. et Olivier J. édit., GIS Posidonie publ., France : 437-443.
- JEUDY DE GRISSAC A., LE FUR C., 1983. Condition de dépôt et nature du sédiment des fonds de la rade Sud de Marseille avant les travaux d'aménagement de la plage du Prado. *Ecologia Mediterranea, Tome IX (fascicule 1)* : 1-17.
- KRUMBIEN W.C., 1957. Size frequency distribution of sediments. *J. Sediment. Petrol.*, 4 : 65-77.
- LIBES M., 1984. Production primaire d'un herbier à *Posidonia oceanica* mesurée in situ par la méthode du carbone 14. Thèse Doctorat Spécialité Ecologie, Univ. Aix-Marseille II, Fr.: 1-199.
- MAZZELLA L., GAMBI M.C., RUSSO G.F., WITTMAN J.K., 1983. Flowering in *Posidonia oceanica* (L.) Delile prairies around the Island of Ischia (Gulf of Naples). *Rapp. P.V. Réun. Commiss. Internat. Explor. Sci. Médit.* 28 (3) : 117-119.
- MEINESZ A., BOUDOURESQUE C-F., JEUDY de GRISSAC A., LAMAR J-P., LEFEVRE J-R., MANCHE A., 1985. Aménagement et préservation du milieu littoral en région Provence-Alpes-Côte d'Azur : bilan et perspectives. *Rés. Comm. Coll. Fr-Japon. Océanogr., Marseille, Fr.*, 16-21 Sept. 85 : p16.
- MEINESZ A., LAURENT R., 1978. Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-Maritimes. *Campagne Poséidon 1976. Bot. mar.* 21 (8) : 513-526.
- MOLINIER R., PICARD J., 1952. Recherche sur les herbiers de Phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Ann. Inst. Océanographie*, France : 157-234.
- PAC, 2005. Lutte contre la pollution liée aux déchets solides – diagnostic –. Programme d'Aménagement Côtier (PAC) « Zone Côtière Algéroise ». PAP-PAC. ALG/DS/04-04.

- PASQUALINI V., PERGENT-MARTINI C., CLABAUT P., PERGENT G., 1998. Mapping of *Posidonia oceanica* using aerial photographs and side-scan sonar: application of the island of Corsica (France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47: 359-367.
- 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., 1987. *Recherche lépidochronologique chez Posidonia oceanica (Potamogetonaceae) : fluctuation des paramètres anatomiques et morphologiques des écailles des rhizomes*. Thèse doctorat, Océanographie. Université Aix-Marseille II, France : 21-45.
- 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. France : 1-145.
- PERGENT G., BEN MAIZ N., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., 1989. The flowering of *Posidonia oceanica* over the past fifty years : a lepidochronological study. In: Boudouresque, C-F., Meinesz A., Fresi E., Gravez V. édit. *International workshop on Posidonia beds. GIS Posidonie publ.*, Fr., 2 : 69-76.
- PERGENT G., ROMERO J., PERGENT-MARTINI C., MATEO M.A., BOUDOURESQUE C-F., 1994. Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 106: 139-146.
- 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 doctorat. Faculté de Corse, France : 16-25.
- 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.
- PERGENT-MARTINI C., PASQUALINI V., PERGENT G., 1995. Monitoring of *Posidonia oceanica* meadows near the outfall of the sewage treatment plant at Marseilles (Mediterranean – France). *EARSeL Advances in Remote Sensing* 4(1): 128-134.
- PERGENT-MARTINI C., PASQUALINI V., PERGENT G., FERRAT L., 2002. Effect of a newly set up wastewater-treatment plant on a marine Phanerogam seagrass bed – a medium term monitoring program. *Bull. mar. Sci.* 71(3): 1227-1236.
- PIAZZI L., CECCHERELLI G., MEINESZ A., VERLAQUE V., AKÇALI 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-CAR/ASP, 2001. Rapport sur la 5^{ème} réunion des points focaux nationaux pour les aires spécialement protégées. *UNEP (DEC) Med. WG. 177/9.*
- RAMADE F., 1990. Conservation des écosystèmes méditerranéens – Enjeux et perspectives. *Les fascicules du Plan Bleu. PNUE / PAM, 3 : 1-144.*
- RICO-RAIMONDINO V., 1995. *Contribution à l'étude des stocks et flux d'éléments dans les herbiers à Posidonia oceanica.* Thèse doctorat en Ecologie. Université Aix-Marseille II, France : 2-16.
- RIVIERE A., 1952. Expression analytique générale de la granulométrie des sédiments meubles. Indices caractéristiques et interprétation géologique : Notion de faciès granulométrique. *Bull. Soc. Géol. de France, Paris. Série 6-II-1-3 : 155-167.*
- SEMROUD R., 1993. *Contribution à la connaissance de l'écosystème à Posidonia oceanica (L.) Delile dans la région d'Alger : Etude de quelques compartiments.* Thèse doctorat océanologie option Ecologie marine, USTHB, Alger : 1-214 + Annexes.
- SEMROUD R., BOUMAZA S., BOUKORTT R., 1998. Surveillance de l'herbier à Posidonia oceanica au large de la Grande Plage d'El-Djamila (Baie de Bou Ismaïl, Algérie). *Rapport 1998, Secrétariat s'Etat à l'Environnement. Direction Générale de l'Environnement. Laboratoire de Biologie et d'Ecologie du Phytobenthos, ISMAL, Alger : 11-44.*
- 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.*
- WEYDERT P., 1973. Morphologie et sédimentologie de la partie méridionale du Grand Récif de Tuléar (Madagascar). Les ensembles sédimentaires de la pente interne. *Téthys, suppl. 5 : 133-156.*

OUVRAGES CONSULTÉS

- AID F., GAUMER G., SAMSON-KECHACHA F-L., 1982. Évolution saisonnière de la pollution des plages de l'Ouest algérois. 6^{ème} journée d'étud. *Pollution, Cannes, CIESM* : 609-613.
- AMARA R., 1988. *Contribution à l'étude de la dynamique de la pollution en zone côtière (cas de Bou Ismail, ex-Castiglione)*. Mémoire DES, ISMAL, Alger : 1-48.
- ASTIER J-M., 1984. Impact des aménagements littoraux de la rade de Toulon, liés aux techniques d'endiguage, sur les herbiers à *Posidonia oceanica*. *International Workshop Posidonia oceanica beds, Boudouresque C-F., Jeudy de Grissac A. et Olivier J. édit., GIS Posidonie publ., France, 1* : 255-259.
- AUGIER H., MONNIER-BESCOMBES G., SIGOILLOT G., 1984. Influence des détergents sur *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *International Workshop Posidonia oceanica beds, Boudouresque C-F., Jeudy de Grissac A. et Olivier J. édit., GIS Posidonie publ., France, 1* : 407-418.
- AUGIER H., NIERI M., 1988. Cartographie, balisage et dynamique du récif-barrière à *Posidonia oceanica* de la baie de Port-Cros (Parc national). *Sc. Rep. Port-Cros nat. Park, 14* : 29-40 + 1 pl. h. t.
- BAY D., 1978. Etude de la production primaire d'un herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile de la baie de Calvi, Corse. *Progr. Rep. Stn. Océanogr. Stareso, Univ. Liège, Belgique, 18* : 6 p non num. + 1-251.
- BELLAN-SANTINI D., LACAZE J-C., POIZAT C., 1994. Les Biocénoses Littorales en Méditerranée : Synthèse, menaces et perspectives. *Secrétariat de la Faune et de la Flore. Muséum National d'Histoire Naturelle. Paris, France* : p99 p100 p101 p102 p108 p112 p113.
- BEN ALAYA H., 1972. Répartition et conditions d'installation de *Posidonia oceanica* Delile et *Cymodocea nodosa* Ascherson dans le golfe de Tunis. *Bull. Inst. Océanogr. Pêche Salammbô, 2* (3) : 331-416.
- BERTRANDY M-C., BOUDOURESQUE C-F., BOULADIER E., FORET P., GRAVEZ V., LEFEVRE J-R., MEINESZ A., PERGENT G., 1988. Réseau de surveillance Posidonie. *Rapport 2^{ème} année. GIS Posidonie publ., Marseille, France* : 1-81.
- BERTRANDY M-C., BOUDOURESQUE C-F., BOULADIER E., FORET P., GRAVEZ V., LEFEVRE J-R., MEINESZ A., PERGENT G., 1989. Réseau de surveillance Posidonie. *Rapport 3^{ème} année. GIS Posidonie publ., Marseille, France* : 1-65.
- BERTRANDY M-C., BOUDOURESQUE C-F., FORET P., LEFEVRE J-R., MEINESZ A., 1986. Réseau de surveillance Posidonie. *Rapport 1985 - 1^{ère} année. GIS Posidonie publ., France* : 1-61.
- BONHOMME D., CADIOU G., BONHOMME P., BOUDOURESQUE C-F., 2005. Rapport d'activité du GIS Posidonie dans le cadre du Programme INTERREG IIIB Posidonie. *GIS Posidonie, Groupement d'Intérêt Scientifique pour l'étude de l'environnement marin. Parc Scientifique et Technologique de Luminy, Marseille. France* : 1-22.

- BONHOMME P., 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. *SIVOM du littoral des Maures. GIS Posidonie*. Parc Scientifique et Technologique de Luminy. France : 14-53.
- BOUDJELLAL B., FREHAT N., DJILLALI M., AZZOUZ M., 1995. Heavy metals in the superficial sediment of Bou Ismaïl bay. *Rapp. Comm. int. Mer Médit., Malt*, 34 : 134-134.
- BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., PANAYOTIDIS P., 1981. Mise en place d'un carré permanent dans un herbier de Posidonies. *Rapp. Commiss. Internat. Médit.* 27(9): 245-246.
- BOUDOURESQUE C-F., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONNEL E., DIVIACCO G., MEINESZ A., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S., TUNESI L., 2006. Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. *RAMOGE pub.* : 1-202 N°ISBN 2-905540-30-3, France : 9-34.
- BOUDOURESQUE C-F., THELIN I., 1985. Floraison et Fructification de *Posidonia oceanica* : un protocole d'étude standardisé. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit., Monaco*, 29-5 : 177-179.
- BOUMOULA Z., HADJ AISSA R., 1998. *Surveillance de la limite inférieure de l'herbier à Posidonia oceanica (L.) Delile de la région d'El-Djamila*. Mémoire de fin d'étude d'ingénieur, option Aménagement du littoral, ISMAL, Alger : 1-69 + Annexes.
- BURBAN L., GUECHI Z., AID F., SAMSON F., 1979. Contribution à l'étude de la pollution microbiologique du littoral algérois. 2^{ème} journée d'étud. *Pollution, Antalya, CIESM*(1978) : 525-533.
- 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.
- CROUZET A., 1981. Mise en évidence de variations cycliques dans les écailles de *Posidonia oceanica* (Potamogetonacea). *Trav. sci. Parc nation. Port-Cros, Fr.* 7 : 129-135.
- DEBARD S., 2005. *Réalisation d'un Système de Gestion de Base de données et d'information géographique dédié à la surveillance de l'herbier de Posidonies en Méditerranée*. Master 2 option SIG et gestion de l'espace. Université Jean MONNET, St Etienne. France : 18-37.
- DJERAF, YAHI, LARDJANE, 2005. Travaux de dragage du port de Bouharoune. *Mémoire d'ingénieur*. ISMAL.
- GIRAUD G., 1977. Recensement des floraisons de *Posidonia oceanica* (L.) Delile en Méditerranée. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 24 (4) : 126-130.
- GOBERT S., 2002. *Variations spatiale et temporelle de l'herbier à Posidonia oceanica (L.) Delile (Baie de La Revellata-Calvi-Corse)*. Thèse doctorat. Faculté des Sciences Département des Sciences de la Vie Océanographie Biologique. Université de Liège. Belgique : 23-32.

- GRAVEZ V., NIERI M., BOULANDIERE E. et CARLER S., 1989. Surveillance de l'herbier à *Posidonia oceanica* de la baie de Prado (Marseille). *Suivi 1988. Direction Générale des Services Techniques, Ville de Marseille et GIS Posidonie, Marseille, France* : 1-40.
- GRENIER C., 1860. Recherches sur *Posidonia caulini* Koenig. *Bull. Soc. Bot. Fr.* 7 (5-6): 362-367.
- KADARI-MEZIANE Y., 1994. *Contribution à l'étude de l'impact de la pollution sur la distribution spatio-temporelle des peuplements phytobenthiques dans la baie de Bou Ismaïl.* Thèse magistère en Biologie végétale. ENS Kouba. Algérie : 9-16.
- KANTIN R., PERGENT G., 2004. Gestion des écosystèmes littoraux méditerranéens. *Groupement De Recherche. Ifremer, France* : 24-27.
- Le GALL J-Y., 1969. Étude de l'endofaune des pelouses de Zostéracées superficielles de la baie de Castiglione (côte d'Algérie). *Téthys*, 1 (2) : 395-420.
- MEINESZ A., LAURENT R., 1980. Cartes de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-Maritimes (France). *Campagne Poséidon 1976. Ann. Inst. Océanogr.* 56 (1) : 45-54.
- MOLINIER R., PICARD J., 1953. Etudes biologiques sur les herbiers de Phanérogames marines à l'Ouest d'Alger. *Bull., stn, Aquiculture Pêche Castiglione, Alger*, 4 : 7-34.
- NIERI M., 1991. *Contribution à la surveillance et à la cartographie biocénotique des fonds littoraux des Bouches-Du-Rhône et du Var (France).* Thèse doctorat. Laboratoire de biologie marine. Université Aix-Marseille II. France : 38-61.
- PANAYOTIDIS P., GIRAUD G., 1981. Sur un cycle de renouvellement des feuilles de *Posidonia oceanica* (L.) Delile dans le golfe de Marseille. *Vie et milieu, France*, 31 : 129-136.
- PASQUALINI V., PERGENT G., 1993. Mise en place d'un câble sous-marin entre Piantarella et Cala Di Greco (Corse du Sud). *Contrat CODIL/GIS Posidonie, GIS Posidonie édit., France* : 1-23 + Annexes.
- PASQUALINI V., PERGENT-MARTINI C., PERGENT G., 1995. Etude de la formation récifale de St-Florent (Haute Cors) – cartographie et évolution. *Contrat DIREN/GIS Posidonie – Centre de Cors édit., France* : 1-49.
- PERES J-M., PICARD J., 1964. Nouveau Manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Rec. Trav. Stn. Mar. Endoume, France*, 31 (47) : 5-131.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 1990. Some applications of lepidochronological analysis in the seagrass *Posidonia oceanica*. *Bot. mar.* 33: 299-310.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., FRANCOUR P., 1988. Cortiou état zéro : Reconnaissance des herbiers – Mise en place des balisages. *D.E.T.S.E. et GIS Posidonie, Marseille, France* : 1-107.
- PERGENT-MARTINI C., 1996. Impact de la station d'épuration de la ville de Marseille sur l'herbier à *Posidonia oceanica*. *Contrat Ville de Marseille/ADER PACA N°950121, Eq. E.L. édit., France* : 1-55.
- PERGENT-MARTINI C., CENTENEL L., FERNANDEZ C., PERGENT G., 1992. Etude de sites dans le cadre de l'installation des canalisations d'Exhaure et de rejets d'eau de mer d'un

- centre thalassothérapie à Piantarella (Corse du Sud). *Contrat Domaine de Spérone/GIS Posidonie*, GIS Posidonie édit., France : 1-57.
- PERGENT-MARTINI C., PERGENT G., 1990. Suivi de l'évolution de l'herbier à *Posidonia oceanica* après la mise en service de la station d'épuration de Marseille. *Contrat Ville de Marseille/Université Aix-Marseille II* N° 9261, LBMEB et GIS Posidonie édit., France : 1-58.
- PICARD J., 1978. Impact sur le benthos marin de quelques grands types de nuisances liés à l'évolution des complexes urbains et industriels de la Provence occidentale. *Oceanis*, Fr. 4 (3) : 214-251.
- REBOUH M., 1997. *Contribution à l'étude qualitative et quantitative de la flore épiphyte des feuilles de Posidonia oceanica (L.) Delile de l'anse de Kouâli (Tipaza)*. Mémoire de fin d'étude, laboratoire d'écologie marine, ISMAL, Alger : 18-27.
- RICO V., PERGENT G., 1990. Evolution de la production primaire de l'herbier à *Posidonia oceanica* de la baie de Porto Conte (Sardaigne) par la méthode lépidochronologique. GIS Posidonie, Marseille, France : 1-136.
- SELLALI B., 1996. *La pollution par les hydrocarbures pétroliers en Méditerranée sud-occidentale : niveau de contamination de l'eau et du sédiment superficiel des régions littorales Centre et Ouest de l'Algérie*. Thèse de Magister, ISMAL, Alger : 1-118.
- SELLALI B., HADJ-AMAR S., BOUDJELLAL B., CHOUIKHI A., 1995. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHS) in the nearshore superficial sediment of Bou Ismaïl's bay (Algeria). *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 34 : 147-147.
- SEMROUD R., VERLAQUE M., CROUZET A., BOUDOURESQUE C.F., 1992. On a broad-leaved form of the seagrass *Posidonia oceanica* (Posidoniaceae) from Algiers. *Aquat. Bot.* 43 : 181-198.
- VIDEAU C., MERCERON M., 1992. Impact de la pisciculture marine intensive sur l'environnement. *Revue bibliographique. Direction de l'Environnement et de l'aménagement littoral, Ifremer publ.*, Fr. : 1-106.
- ZEGHDOUDI E., 2006. *Modélisation bioéconomique des pêcheries méditerranéennes : Application aux petits pélagiques de la baie de Bou Ismaïl (Algérie)*. Master, Université de Barcelone. Espagne : 57.

ANNEXES

Liste des abréviations

| Abréviation | signification |
|-------------|---|
| A | Adulte |
| EFA | Epiphyte des feuilles adultes |
| EFI | Epiphyte des feuilles intermédiaires |
| EFT | Epiphyte des feuilles totales |
| FA | Feuille adulte |
| FA de R1 | Feuille adulte de Rang 1 |
| FI | Feuille intermédiaire |
| FT | Feuilles totales (adultes + intermédiaires) |
| I | Intermédiaire |
| L | Largeur de la feuille |
| LB | Longueur de la base |
| LT | Longueur totale (base + limbe) |
| Rh | Rhizome |

Biomasse des feuilles et des épiphytes (g)

| N° Faisceau | Base | FA de RI | FA | FI | FT | EFA | EFI | EFT |
|-------------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 0,0855 | 0,1767 | 0,8535 | 0,2339 | 1,3496 | 0,0766 | 0,0046 | 0,0812 |
| 2 | 0,0484 | 0,1735 | 0,6342 | 0,4166 | 1,2727 | 0,0553 | 0,0233 | 0,0786 |
| 3 | 0,0682 | 0,1008 | 0,4954 | 0,0936 | 0,758 | 0,072 | 0,0014 | 0,0734 |
| 4 | 0,0697 | 0,1813 | 0,3844 | 0,0148 | 0,6502 | 0,0986 | 0,0001 | 0,0987 |
| 5 | 0,0654 | 0,2522 | 0,6016 | 0,3577 | 1,2769 | 0,0833 | 0,014 | 0,0973 |
| 6 | 0,0738 | 0,1406 | 1,1642 | 0,3581 | 1,7367 | 0,1906 | 0,0096 | 0,2002 |
| 7 | 0,0598 | 0,1077 | 0,2506 | 0,1695 | 0,5876 | 0,0194 | 0,0065 | 0,0259 |
| 8 | 0,0702 | 0,1269 | 0,6034 | 0,4536 | 1,2541 | 0,1346 | 0,0212 | 0,1558 |
| 9 | 0,0766 | 0,062 | 1,0443 | 0,2368 | 1,4197 | 0,181 | 0,0084 | 0,1894 |
| 10 | 0,0848 | 0,1348 | 0,8287 | 0,1293 | 1,1776 | 0,0475 | 0,0015 | 0,049 |
| 11 | 0,0696 | 0,0634 | 0,7953 | 0,167 | 1,0953 | 0,1647 | 0,0067 | 0,1714 |
| 12 | 0,0849 | 0,1839 | 0,7619 | 0,2426 | 1,2733 | 0,1091 | 0,0052 | 0,1143 |
| 13 | 0,0778 | 0,3184 | 0,7328 | 0,306 | 1,435 | 0,2556 | 0,0142 | 0,2698 |
| 14 | 0,0649 | 0,155 | 1,1327 | 0,175 | 1,5276 | 0,0493 | 0,0038 | 0,0531 |
| 15 | 0,0554 | 0,0761 | 0,705 | 0,4224 | 1,2589 | 0,1276 | 0,0291 | 0,1567 |
| 16 | 0,0598 | 0,1274 | 0,4586 | 0,1728 | 0,8186 | 0,0804 | 0,0027 | 0,0831 |
| 17 | 0,073 | 0,19 | 0,5715 | 0,2533 | 1,0878 | 0,0905 | 0,014 | 0,1045 |
| 18 | 0,0882 | 0,126 | 0,8348 | 0,1262 | 1,1752 | 0,1229 | 0,0029 | 0,1258 |
| 19 | 0,0793 | 0,2314 | 1,4685 | 0,2524 | 2,0316 | 0,4736 | 0,0115 | 0,4851 |
| 20 | 0,0445 | 0,1008 | 0,4104 | 0,3222 | 0,8779 | 0,1046 | 0,032 | 0,1366 |
| 21 | 0,0692 | 0,007 | 0,6846 | 0,3573 | 1,1181 | 0,1013 | 0,0095 | 0,1108 |
| 22 | 0,0794 | 0,3471 | 0,6865 | 0,1801 | 1,2931 | 0,1808 | 0,0065 | 0,1873 |
| 23 | 0,0593 | 0,1563 | 0,5293 | 0,1887 | 0,9336 | 0,1408 | 0,0799 | 0,2207 |
| 24 | 0,0637 | 0,1626 | 0,5284 | 0,0962 | 0,8509 | 0,0687 | 0,0036 | 0,0723 |
| 25 | 0,0628 | 0,1852 | 0,5072 | 0,306 | 1,0612 | 0,1307 | 0,0121 | 0,1428 |
| 26 | 0,0709 | 0,1275 | 0,999 | 0,1568 | 1,3542 | 0,2735 | 0,0029 | 0,2764 |
| 27 | 0,0788 | 0,0872 | 0,8663 | 0,2771 | 1,3094 | 0,1723 | 0,0186 | 0,1909 |
| 28 | 0,0503 | 0,1913 | 0,3704 | 0,1074 | 0,7194 | 0,1143 | 0,0059 | 0,1202 |
| 29 | 0,0799 | 0,1612 | 0,384 | 0,3909 | 1,016 | 0,0754 | 0,0508 | 0,1262 |
| 30 | 0,0837 | 0,2206 | 0,9218 | 0,0814 | 1,3075 | 0,1599 | 0,0052 | 0,1651 |

Densité des faisceaux (nbfaisceau/0.04m²)

| N° balise | 1 ^{er} comptage | 2 ^{ème} comptage | 3 ^{ème} comptage | Moyenne | Ecartype |
|-----------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------|----------|
| 1 | 9 | 10 | 9 | 9,3 | 0,7 |
| 2 | 11 | 8 | 9 | 9,3 | 2,1 |
| 3 | 9 | 8 | 11 | 9,3 | 2,1 |
| 4 | 6 | 8 | 12 | 8,7 | 4,2 |
| 5 | 10 | 11 | 11 | 10,7 | 0,7 |
| 6 | 8 | 9 | 11 | 9,3 | 2,1 |
| 7 | 16 | 5 | 12 | 11,0 | 7,8 |
| 8 | 8 | 10 | 13 | 10,3 | 3,5 |
| 9 | 8 | 6 | 5 | 6,3 | 2,1 |
| 10 | 8 | 6 | 9 | 7,7 | 0,7 |
| 11 | 10 | 5 | 6 | 7,0 | 2,8 |
| 12 | 10 | 6 | 8 | 8,0 | 1,4 |

Estimation du recouvrement

| N° balise | Pourcentage du recouvrement (%) | | |
|-----------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | 1 ^{er} observation | 2 ^{ème} observation | 3 ^{ème} observation |
| 1 | 25 | 15 | 25 |
| 2 | 15 | 10 | 10 |
| 3 | 10 | 5 | 5 |
| 4 | 35 | 10 | 25 |
| 5 | 15 | 10 | 15 |
| 6 | 5 | 5 | 5 |
| 7 | 30 | 5 | 5 |
| 8 | 5 | 5 | 0 |
| 9 | 5 | 5 | 10 |
| 10 | 5 | 5 | 5 |
| 11 | 15 | 5 | 10 |
| 12 | 5 | 10 | 30 |

Lépidochronologie

Nombre moyen des écailles par cycle

| | | Année lépidochronologique | | | | |
|-------------------|----------------|---------------------------|-------------|------------|---------------|------------|
| | | 2006 | 2005 | 2004 | 2003 | 2002 |
| Numéro du rhizome | Rh 1 | 9 | 9 | | | |
| | Rh 2 | 9 | 12 | | | |
| | Rh 3 | 9 | 7 | 10 | 9 | 10 |
| | Rh 4 | 9 | 12 | 9 | 10 | 10 |
| | Rh 5 | 10 | 13 | 9 | | |
| | Rh 6 | 11 | 10 | 10 | | |
| | Rh 7 | 8 | 7 | 6 | 6 | |
| | Rh 8 | 8 | 10 | 8 | 12 | 9 |
| | Rh 9 | 9 | 7 | | | |
| | Rh 10 | 9 | 9 | 8 | 9 | |
| | Rh 11 | 9 | 9 | 11 | | |
| | Rh 12 | 10 | 8 | 8 | 8 | |
| | Rh 13 | 9 | | | | |
| | Rh 14 | 8 | 7 | 8 | 10 | 8 |
| | Rh 15 | 11 | 8 | 11 | | |
| | Rh 16 | 8 | 8 | 11 | 9 | |
| | Rh 17 | 7 | 10 | 11 | | |
| | Rh 18 | 10 | 9 | | | |
| | Rh 19 | 8 | 8 | 9 | 7 | |
| | Rh 20 | 9 | 11 | | | |
| | Rh 21 | 10 | 8 | 8 | | |
| | Rh 22 | 10 | 9 | | | |
| | Rh 23 | 7 | | | | |
| | Rh 24 | 9 | 8 | 9 | 10 | |
| | Rh 25 | 10 | 10 | 9 | | |
| | Rh 26 | 10 | 10 | | | |
| | Rh 27 | 10 | 10 | 9 | 11 | |
| | Rh 28 | 9 | 9 | 10 | 9 | 9 |
| | Rh 29 | 8 | 9 | 8 | 11 | |
| | Rh 30 | 9 | 12 | | | |
| | moyenne | 9,0667 | 9,25 | 9,1 | 9,3077 | 9,2 |

Longueur des rhizomes produits par cycle lépidochronologique (mm)

| | | Année lépidochronologique | | | | |
|-------------------|----------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 2006 | 2005 | 2004 | 2003 | 2002 |
| Numéro du rhizome | Rh 1 | 6 | 7 | | | |
| | Rh 2 | 3 | 8 | | | |
| | Rh 3 | 4 | 3 | 5 | 8 | 10 |
| | Rh 4 | 6 | 11 | 8 | 7 | 9 |
| | Rh 5 | 5 | 8 | 9 | | |
| | Rh 6 | 7 | 7 | 8 | | |
| | Rh 7 | 2 | 5 | 3 | 4 | |
| | Rh 8 | 3 | 6 | 6 | 7 | 6 |
| | Rh 9 | 6 | 8 | | | |
| | Rh 10 | 9 | 10 | 9 | 8 | |
| | Rh 11 | 7 | 10 | 12 | | |
| | Rh 12 | 5 | 7 | 8 | 5 | |
| | Rh 13 | 6 | | | | |
| | Rh 14 | 3 | 6 | 5 | 11 | 9 |
| | Rh 15 | 6 | 5 | 10 | | |
| | Rh 16 | 4 | 8 | 7 | 15 | |
| | Rh 17 | 5 | 7 | 8 | | |
| | Rh 18 | 7 | 8 | | | |
| | Rh 19 | 5 | 6 | 6 | 7 | |
| | Rh 20 | 4 | 7 | | | |
| | Rh 21 | 5 | 10 | 11 | | |
| | Rh 22 | 9 | 6 | | | |
| | Rh 23 | 6 | | | | |
| | Rh 24 | 3 | 5 | 6 | 11 | |
| | Rh 25 | 10 | 10 | | | |
| | Rh 26 | 5 | 8 | | | |
| | Rh 27 | 5 | 6 | 7 | 6 | |
| | Rh 28 | 2 | 10 | 8 | 6 | 7 |
| | Rh 29 | 6 | 10 | 16 | | |
| | Rh 30 | 5 | 7 | | | |
| | moyenne | 5,30 | 7,46 | 8,00 | 7,92 | 8,20 |

Phénologie

| 1 | LB | LT | L | 2 | LB | LT | L | 3 | LB | LT | L | 4 | LB | LT | L | 5 | LB | LT | L |
|---|----|-----|------|---|----|-----|----|---|----|-----|---|---|----|-----|----|---|----|-----|----|
| A | 53 | 445 | 10,5 | A | 45 | 450 | 10 | A | 53 | 315 | 9 | A | 58 | 530 | 10 | A | 48 | 663 | 10 |
| | 50 | 685 | 10,5 | | 44 | 730 | 10 | | 46 | 488 | 9 | | 48 | 530 | 9 | | 46 | 765 | 10 |
| | 23 | 882 | 10,5 | | 41 | 784 | 10 | | 32 | 761 | 9 | | 6 | 479 | 9 | | 40 | 545 | 10 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | | 444 | 10,5 | I | | 859 | 9 | I | | 272 | 9 | I | | 774 | 9 | I | | 684 | 10 |
| | | 242 | 10 | | | 443 | 9 | | | 127 | 9 | | | | | | | 372 | 9 |
| | | 86 | 10 | | | 117 | 9 | | | | | | | | | | | 169 | 9 |

| 6 | LB | LT | L | 7 | LB | LT | L | 8 | LB | LT | L | 9 | LB | LT | L | 10 | LB | LT | L |
|---|----|-----|----|---|----|-----|----|---|----|-----|----|---|----|-----|----|----|----|-----|------|
| A | 51 | 325 | 11 | A | 46 | 287 | 10 | A | 50 | 340 | 9 | A | 60 | 170 | 10 | A | 51 | 345 | 11,5 |
| | 46 | 690 | 11 | | 38 | 574 | 10 | | 45 | 570 | 10 | | 54 | 285 | 11 | | 48 | 453 | 11,5 |
| | 43 | 850 | 11 | | | | | | 43 | 725 | 10 | | 53 | 882 | 11 | | 32 | 757 | 11,5 |
| | 26 | 800 | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | | 616 | 11 | I | | 500 | 10 | I | | 732 | 10 | I | | 868 | 11 | I | | 642 | 11 |
| | | 880 | 10 | | | | | | | 383 | 10 | | | 424 | 11 | | | 301 | 11 |
| | | 124 | 10 | | | | | | | 228 | 9 | | | 262 | 11 | | | 146 | 10 |
| | | | | | | | | | | 79 | 9 | | | 91 | 10 | | | | |

| 11 | LB | LT | L | 12 | LB | LT | L | 13 | LB | LT | L | 14 | LB | LT | L | 15 | LB | LT | L |
|----|----|-----|------|----|----|-----|------|----|----|-----|------|----|----|-----|-----|----|----|-----|------|
| A | 58 | 225 | 10 | A | 53 | 410 | 11 | A | 53 | 762 | 10,5 | A | 45 | 415 | 10 | A | 52 | 201 | 11 |
| | 50 | 480 | 10 | | 48 | 658 | 11 | | 51 | 901 | 10,5 | | 48 | 937 | 10 | | 49 | 580 | 10,5 |
| | 50 | 702 | 10,5 | | 26 | 929 | 11 | | 29 | 746 | 10,5 | | 20 | 698 | 10 | | 43 | 768 | 10,5 |
| | 18 | 758 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | | 386 | 10 | I | | 421 | 11 | I | | 705 | 10 | I | | 461 | 10 | I | | 865 | 10,5 |
| | | 165 | 10 | | | 280 | 10,5 | | | 205 | 10 | | | 135 | 9,5 | | | 283 | 10 |
| | | 61 | 9,5 | | | 59 | 10 | | | 61 | 10 | | | | | | | 75 | 10 |

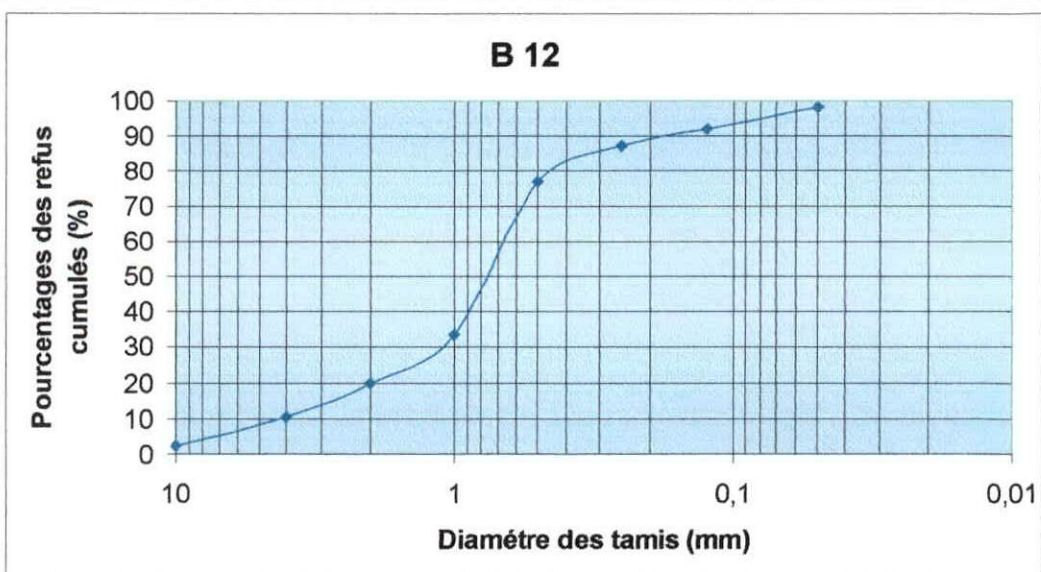
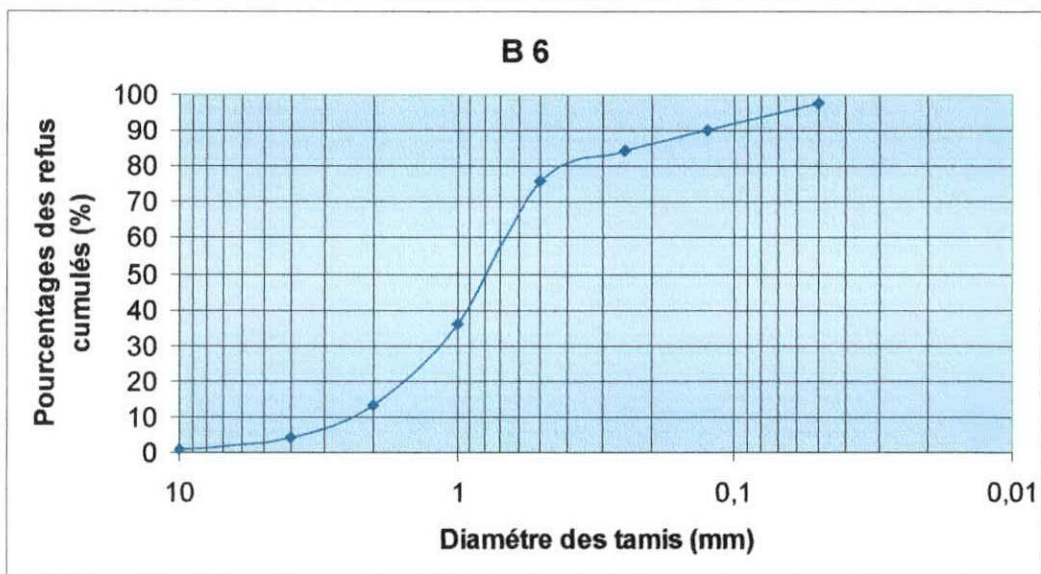
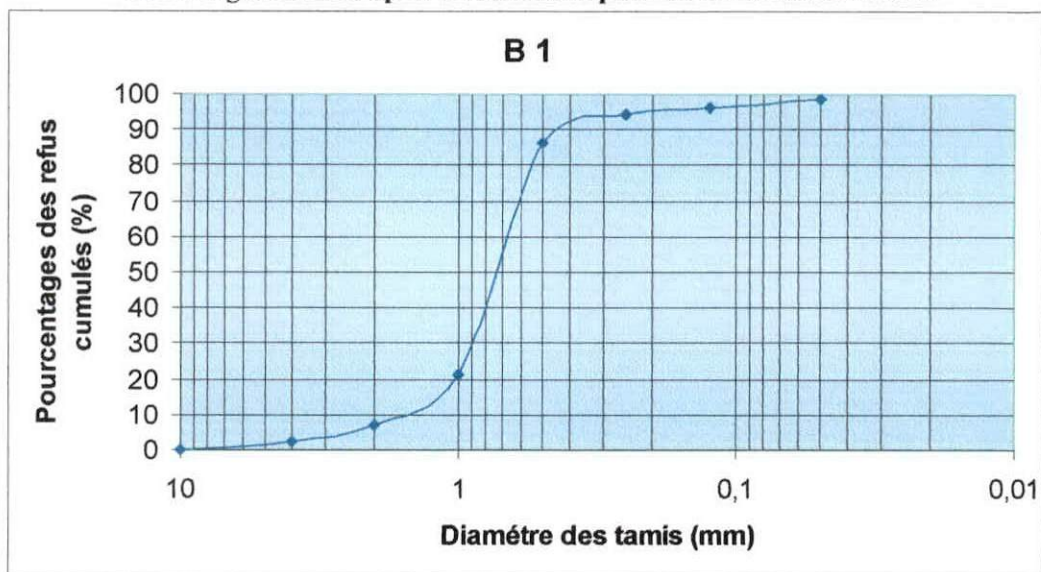
| 16 | LB | LT | L | 17 | LB | LT | L | 18 | LB | LT | L | 19 | LB | LT | L | 20 | LB | LT | L |
|----|----|-----|-----|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|-----|----|
| A | 46 | 400 | 10 | A | 51 | 490 | 11 | A | 49 | 344 | 11 | A | 56 | 575 | 11 | A | 48 | 305 | 10 |
| | 44 | 575 | 10 | | 48 | 648 | 11 | | 44 | 500 | 11 | | 54 | 787 | 11 | | 46 | 457 | 10 |
| | 26 | 670 | 10 | | 22 | 620 | 11 | | 40 | 760 | 11 | | 50 | 840 | 11 | | 42 | 626 | 10 |
| | | | | | | | | | 9 | 540 | 11 | | 43 | 804 | 11 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 18 | 679 | 11 | | | | |
| I | | 491 | 10 | I | | 653 | 11 | I | | 301 | 11 | I | | 429 | 11 | I | | 687 | 10 |
| | | 210 | 9,5 | | | 161 | 10 | | | 130 | 10 | | | 267 | 11 | | | 322 | 10 |
| | | | | | | | | | | | | | | 131 | 10 | | | 144 | 9 |

| 21 | LB | LT | L | 22 | LB | LT | L | 23 | LB | LT | L | 24 | LB | LT | L | 25 | LB | LT | L |
|----|----|-----|------|----|----|-----|------|----|----|-----|-----|----|----|-----|----|----|----|-----|-----|
| A | 52 | 62 | 11 | A | 52 | 928 | 10,5 | A | 49 | 439 | 10 | A | 55 | 459 | 11 | A | 45 | 445 | 10 |
| | 49 | 544 | 11 | | 50 | 710 | 10,5 | | 49 | 570 | 9,5 | | 50 | 510 | 11 | | 44 | 665 | 10 |
| | 42 | 795 | 10,5 | | 19 | 853 | 10,5 | | 4 | 848 | 9,5 | | 8 | 808 | 11 | | 40 | 438 | 10 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | | 618 | 10,5 | I | | 464 | 10,5 | I | | 590 | 9,5 | I | | 265 | 11 | I | | 710 | 10 |
| | | 307 | 10,5 | | | 167 | 10 | | | 93 | 9 | | | 123 | 10 | | | 296 | 10 |
| | | 120 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | 109 | 9,5 |

| 26 | LB | LT | L | 27 | LB | LT | L | 28 | LB | LT | L | 29 | LB | LT | L | 30 | LB | LT | L |
|----|----|-----|------|----|----|-----|------|----|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|-----|------|
| A | 58 | 400 | 11 | A | 54 | 255 | 11 | A | 58 | 493 | 10 | A | 53 | 420 | 11 | A | 50 | 565 | 11 |
| | 53 | 549 | 11 | | 48 | 604 | 10,5 | | 53 | 435 | 10 | | 44 | 850 | 10,5 | | 48 | 475 | 11 |
| | 46 | 832 | 11 | | 45 | 674 | 10 | | 45 | 460 | 9 | | | | | | 46 | 339 | 11 |
| | 34 | 846 | 11 | | 34 | 693 | 10 | | | | | | | | | | 34 | 540 | 11 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | 580 | 10,5 |
| I | | 187 | 11 | I | | 570 | 10 | I | | 303 | 9 | I | | 836 | 10,5 | I | | 270 | 10,5 |
| | | 249 | 10,5 | | | 252 | 10 | | | 148 | 9 | | | 328 | 10 | | | 158 | 10 |
| | | 100 | 10 | | | 133 | 9,5 | | | | | | | 100 | 10 | | | | |

Sédimentologie

Courbes granulométriques des sédiments prélevés au niveau des balises



Courbes granulométriques des sédiments prélevés au niveau des piquets-photos

