

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



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

OPTION : Environnement

Thème :

Caractérisation des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile de la baie de Bou Ismaïl

Présenté par :

- Mr MISRAOUI Ali
- Mlle SENGOUGA Amina

Soutenu le 29/ 9/ 2011, devant le jury composé de :

Mr HAMDY B.	Professeur (E.N.S.S.M.A.L)	Président
Mr KACHER M.	Maître de conférences A (E.N.S.S.M.A.L)	Examineur
Mr SEMROUD R.	Professeur(E.N.S.S.M.A.L)	Examineur
Mme BOUMAZA S.	Maître-assistante A (E.N.S.S.M.A.L)	Promotrice
Mr BOUKORTT R.	Assistant (E.N.S.S.M.A.L)	Co-Promoteur

Promotion : 2010 / 2011

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier les membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger ce travail, et tout particulièrement le professeur **SEMROUD R.** qui nous a chaleureusement accueilli au sein de son laboratoire. Nous le remercions pour sa disponibilité, ses conseils judicieux et son implication par rapport à ce travail.

Le professeur **HAMDJ Boualem**, a spontanément accepté de présider ce jury. Qu'il trouve ici toute notre gratitude.

Le docteur **Mr KACHER Mohamed**, a bien voulu examiner ce travail. Qu'il en soit remercié.

Nous exprimons notre profonde gratitude à **Mme. BOUMAZA Salima**, qui a inspiré ce travail. Ses précieux conseils, sa disponibilité, son sens critique et les nombreuses relectures ont grandement amélioré la qualité de ce mémoire. Nous tenons encore à lui témoigner notre reconnaissance.

Nous remercions **Mr BOUKORTI Redouane**, pour sa lourde contribution au travail de terrain, ses remarques judicieuses, sa disponibilité, son aide et ses encouragements. Qu'il trouve ici toute notre gratitude.

Nous remercions l'équipage de **BABA ARROUDJ** pour leur accueil, leur assistance et leur aide.

Merci à **Youcef** pour ton aide, ta disponibilité et ta bonne humeur.

Nous remercions tout le personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL pour sa disponibilité.

Nous adressons également nos remerciements à tous ceux qui nous ont soutenus et contribués de près comme de loin, à l'élaboration de ce mémoire.

Nous adressons une pensée particulièrement affective à nos amis de la promotion. Merci **Makdia, Chakra, Dalila, Malik** et **Mohamed**. Merci d'avoir rendu agréables nos longues années d'études.

Nous terminons enfin en remerciant nos parents, qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours. Merci pour votre compréhension, votre confiance et votre soutien dans les moments les plus difficiles.

Sommaire

Sommaire

1. Introduction.....	1
2. Généralités	3
2.1. Présentation de <i>Posidonia oceanica</i>	3
2.2. Caractéristiques morphologiques de <i>Posidonia oceanica</i>	3
2.3. Exigences écologiques de <i>Posidonia oceanica</i>	4
2.4. Importance de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i>	6
2.5. Menaces sur l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i>	7
2.6. <i>Posidonia oceanica</i> : indicateur écologique de la qualité du milieu marin.....	7
3. Matériel et méthodes	9
3.1. Les stations d'étude.....	9
3.1.1. Baie de Bou Ismaïl	9
3.1.2. La baie de Zemmouri	11
3.2. Prélèvements	15
3.3. La densité	16
3.4. Analyse des échantillons au laboratoire	17
3.4.1. Analyse lépidochronologique.....	17
3.4.1.1. Protocole d'analyse	18
3.4.2. Biométrie foliaire	19
3.4.3. Biomasse des feuilles et des épiphytes des feuilles.....	21
3.5. Traitements statistiques	21
4. Résultats et discussion.....	22
4.1. Densité des faisceaux	22
4.2. Biométrie foliaire	23
4.2.1. Nombre de feuilles par faisceau	23
4.2.2. Longueur des feuilles	24

4.2.3. La largeur des feuilles	25
4.2.4. Longueur des bases	27
4.2.5. Coefficient A	27
4.2.6. Surface foliaire	28
4.3. Biomasse des feuilles	29
4.4. Indice épiphytique	30
4.5. Paramètres lépidochronologiques.....	32
4.5.1 Nombre d'écailles par cycle.....	32
4.5.2. Croissance des rhizomes	33
4.5.3. Production des rhizomes	34
5. Conclusion	37
Références bibliographiques	40
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Annexes	

Introduction

1. Introduction

La gestion de l'environnement marin littoral, nécessite de disposer d'informations permettant d'apprécier de manière fiable et rapide la qualité globale du milieu, et de suivre son évolution sur de longues périodes de temps (PERGENT-MARTINI, 2000). Le recours à des indicateurs biologiques est un moyen adapté, dans la mesure où ils fournissent des informations intégrées et synthétiques (BLANDIN, 1986 ; PERGENT, 1991 ; PERGENT-MARTINI, 2000).

Les herbiers *Posidonia oceanica* présentent les potentialités nécessaires pour cette utilisation, du fait de leur large répartition en zone littorale (PASQUALINI *et al.*, 1998 ; PROCACCINI *et al.*, 2003), leur abondance et leur facilité de collecte (PERGENT-MARTINI *et al.*, 1995), leur capacité à accumuler les polluants stables (AUGIER *et al.*, 1977 ; PERGENT-MARTINI *et al.*, 2000) et leur sensibilité aux agressions liées aux activités humaines (ARDIZONNE et PELUSI, 1984 ; PERGENT-MARTINI et GUERRINI, 1995 ; RUIZ et ROMERO, 2003 ; LEONI *et al.*, 2006). La capacité de *Posidonia oceanica* à enregistrer les conditions du milieu peut se mesurer à la fois au niveau de sa population (densité, recouvrement, présence de structures régressives, type de limite...), de sa biométrie foliaire et de la communauté épiphyte associée (PERGENT, 1991 ; PERGENT *et al.*, 1995 ; LEONI *et al.*, 2006 ; PERGENT-MARTINI *et al.*, 2006). Récemment, des indices biotiques, basés sur ces différents descripteurs sont utilisés pour déterminer le statut écologique des eaux côtières en Méditerranée (SILVESTRI *et al.*, 2006 ; ROMERO *et al.*, 2007 ; FERNANDEZ TORQUEMADA *et al.*, 2008 ; LOPEZ Y ROYO, 2008 ; GOBERT *et al.*, 2009).

Par ailleurs, toute tentative de gestion nécessite l'établissement d'un état de référence du milieu marin, permettant d'apporter la connaissance nécessaire pour la prise de décision en matière d'aménagement de l'espace et de protection du milieu littoral (PERGENT-MARTINI, 2000). C'est dans cette optique que différents paramètres permettant d'apprécier la vitalité des herbiers à *Posidonia oceanica* de la baie de Bou Ismaïl seront analysés, afin d'évaluer l'impact réel de diverses perturbations sur le milieu littoral marin. Ils seront le point de départ de l'établissement d'un indice biotique basé sur les descripteurs considérés comme les plus pertinents. A ce titre, ce travail s'inscrit dans une problématique générale, destinée à mieux cerner le rôle des herbiers à *Posidonia oceanica* dans la gestion intégrée des zones côtières algérienne, initiée dans le cadre d'un « Projet National de Recherche, 2011 » (PNR, code 2/ u 163/ 431). En effet, cet indice permettra de fournir aux élus de la région, aux collectivités

locales ainsi qu'aux administrations concernées par la gestion du littoral un outil performant permettant d'apprécier globalement la qualité de l'environnement marin, comme le stipule GOBERT *et al.* (2009).

Dans le présent travail, nous nous sommes attachés à caractériser dix herbiers à *Posidonia oceanica* situés dans la baie de Bou Ismaïl soumise à différentes pressions anthropiques : rejets d'effluents urbains et industriels, station de dessalement de l'eau de mer, activités aquacoles, structures portuaires. Cette caractérisation est effectuée à la fois au niveau de la structure (densité), de la biométrie foliaire et de la communauté associée (brouillage, couverture épiphytique). Par ailleurs, une étude lépidochronologique est mise en œuvre, afin d'évaluer les fluctuations au cours du temps de la production foliaire et de celle des rhizomes.

Généralités

2. Généralités

2.1. Présentation de *Posidonia oceanica*

En Méditerranée, cinq espèces de magnoliophytes marines peuvent se rencontrer en mer ouverte : *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson, *Zostera noltii* Hornemann, *Zostera marina* Linnaeus et l'immigrante lessepsienne *Halophila stipulacea* (Forsskal) Ascherson (BOUDOURESQUE *et al.*, 1994). Seule *Posidonia oceanica*, appartenant à la classe des *Liliopsida* et à la famille des *Posidoniaceae*, est endémique méditerranéenne stricte. Elle constitue des herbiers au niveau de l'étage infralittoral, entre la surface et 30-40 m de profondeur (MEINESZ et LAURENT, 1978 ; DUARTE, 1991). Ces derniers constituent un liseré presque continu le long des côtes européennes et nord-africaines, sans s'étendre à la mer Noire (DEN HARTOG, 1970). Cette distribution s'interrompt au niveau des estuaires suite aux trop fortes variations de salinité et à la faible disponibilité en lumière (GOBERT, 2002). La surface occupée par les herbiers à *Posidonia oceanica* est estimée entre 25000 et 50000 km² (PASQUALINI *et al.*, 1998). Ils constituent une des formations les plus caractéristiques, les plus riches et les plus productives du domaine benthique méditerranéen (AUGIER et MAUDINAS, 1977).

2.2. Caractéristiques morphologiques de *Posidonia oceanica*

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

Les rhizomes plagiotropes, à croissance horizontale, permettent la colonisation des espaces vides, en bordure de l'herbier, alors que la croissance verticale des rhizomes orthotropes permet à la plante de lutter contre l'enfouissement (PERGENT-MARTINI et LE RAVALLEC, 2007) (Figure 2.1). En outre, les rhizomes plagiotropes peuvent se transformer en orthotropes et réciproquement, et ce, en fonction de l'espace disponible et de la lumière (CAYE, 1989a). Le lacs de rhizomes et le sédiment qui colmate les interstices constituent un ensemble très caractéristique désigné sous le nom de matte (PERGENT-MARTINI et LE RAVALLEC, 2007). Le système racinaire est constitué de racines épaisses (plus de 2 mm),

relativement courtes, lignifiées et peu nombreuses (PERGENT-MARTINI et LE RAVALLEC, 2007). Ces racines descendent à au moins 70 cm de profondeur (BOUDOURESQUE *et al.*, 1994 ; 2006).

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

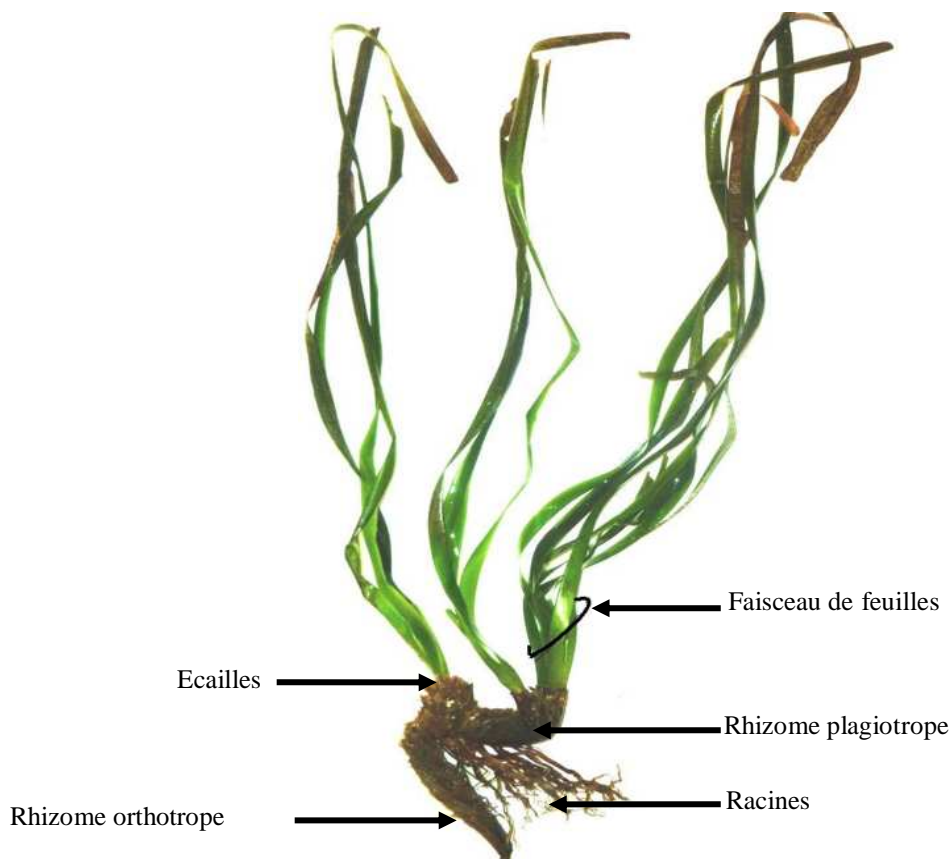


Figure 2.1 Structure de la magnoliophyte marine *Posidonia oceanica* et illustration d'une croissance orthotrope devenant plagiotrope.

2.3. Exigences écologiques de *Posidonia oceanica*

(i) La lumière constitue l'un des facteurs déterminant de la répartition et de la densité de *Posidonia oceanica* (EL KALAY *et al.*, 2003). Elle contrôle aussi son extension bathymétrique maximale (limite inférieure) qui dépend essentiellement de la quantité de lumière reçue sur le fond et donc de la transparence moyenne des eaux (MEINESZ et LAURENT, 1978 ; BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982). Dans des secteurs où la

turbidité des eaux est importante (rejets en mer d'émissaires ou embouchure de fleuves côtiers), la lumière est absorbée rapidement et la position de cette limite se rapproche de la surface (MEINESZ et LAURENT, 1978 ; PERGENT *et al.*, 1995). La productivité augmente proportionnellement à la quantité d'énergie lumineuse incidente (novembre et mars), puis atteint une valeur maximale à partir de laquelle le taux d'assimilation du carbone devient constant : c'est la phase de saturation (mai). Enfin, dans une troisième phase, pour des éclaircissements encore plus élevés, une décroissance du taux de productivité est notée : c'est la phase de photoinhibition (juin) (LIBES *et al.*, 1988).

(ii) La température est le facteur dominant la détermination du mode de croissance des plantes profondes (HELMUT, 1983). La température optimale pour la photosynthèse serait de 20-24°C et les températures létales sont de 9-10°C et 29-30°C (BOUDOURESQUE, 2010a). En plus du mode de croissance, la température pourrait influencer la profondeur de la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* (MAYOT *et al.*, 2005 ; BOUDOURESQUE *et al.*, 2006) et la floraison, déclenchée par des températures élevées (GIRAUD, 1977a ; MAZZELLA *et al.*, 1984).

(iii) *Posidonia oceanica* dépérit immédiatement dans les eaux ayant une salinité inférieure à 33‰ (BEN ALAYA, 1972), par conséquent les herbiers s'interrompent au voisinage des embouchures de fleuves et au niveau des résurgences de nappes phréatiques. C'est la faible salinité qui l'élimine de la mer de Marmara (21-27‰) (BOUDOURESQUE *et al.*, 2006). L'espèce semble mieux résister aux salinités élevées avec une limite supérieure de tolérance de 41‰ (BEN ALAYA, 1972). Cependant, des études récentes ont démontré la faible tolérance de cette espèce à l'augmentation de la salinité du milieu (FERNANDEZ-TORQUEMADA et SANCHEZ-LIZASO, 2005 ; MARIN-GUIRAO *et al.*, 2011)

(iv) Un hydrodynamisme trop intense peut arracher des faisceaux de feuilles et éroder la matte, ce qui fragilise les herbiers à *Posidonia oceanica* (BLANC et JEUDY DE GRISSAC, 1989). C'est la raison pour laquelle, en mode battu, l'herbier ne s'approche pas à plus de 1 ou 2 m de la surface (BOUDOURESQUE *et al.*, 2006). En effet, dans les secteurs exposés, la montée du fond est stoppée à un ou plusieurs mètres de la surface : le lessivage par les vagues de la partie supérieure de la matte provoque le départ du sédiment ; les rhizomes se cassent et l'herbier est démantelé, il se forme des intermatte dont la confluence formera des chenaux (MOLINIER et PICARD, 1952). Par contre dans les baies abritées, la lente surélévation du fond peut amener l'herbier au voisinage de la surface. Dans certains cas, la dynamique de croissance de *Posidonia oceanica* conduit à l'édification de récifs-barrières séparés de la côte par un lagon (MOLINIER et PICARD, 1952 ; BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982).

(v) L'azote et le phosphore ne constituent pas des facteurs limitant en raison de leur approvisionnement par les racines, leur recyclage à partir des feuilles sénescents et la présence de bactéries fixatrices de N₂ (BOUDOURESQUE, 2010a). Par contre des apports de substances polluantes, chroniques ou accidentels, et un enrichissement excessif en azote et en phosphore sont des causes majeures du déclin des herbiers, en modifiant notamment le ratio en azote et en phosphore (IFREMER *et al.*, 2007).

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

L'herbier à *Posidonia oceanica* est considéré comme l'écosystème côtier le plus important de Méditerranée (BOUDOURESQUE *et al.*, 1987 ; PERGENT-MARTINI et LE RAVALLEC 2007), et ce, pour diverses raisons :

(i) L'importance de sa production primaire (BOUDOURESQUE *et al.*, 1987 ; PERGENT *et al.*, 1994). Une large partie de sa production primaire est exportée vers d'autres écosystèmes (BOUDOURESQUE *et al.*, 1987 ; PERGENT *et al.*, 1994; BOUDOURESQUE, 2010b) : soit vers les hauts niveaux avec éventuellement un dépôt sur les plages sous forme de banquettes, soit en profondeur. Dès lors, elle constitue une source de nourriture considérable pour les organismes des étages profonds, quand la plate-forme continentale est suffisamment étroite (PERGENT-MARTINI et LE RAVALLEC 2007).

(ii) L'importance de sa production d'oxygène (AUGIER *et al.*, 2000) (jusqu'à 14 l/jour/m² d'herbier) (BAY, 1978). L'oxygénation des eaux par les herbiers contribue à l'assainissement des pollutions organiques (AUGIER *et al.*, 2000).

(iii) L'importance de la richesse de sa faune et de sa flore (BOUDOURESQUE et JEUDY DE GRISSAC, 1983 ; AUGIER *et al.*, 2000 ; GANTEAUME *et al.*, 2005) ; BOUDOURESQUE, (2010a) a recensé plus de 50 espèces caractéristiques. L'herbier constitue un lieu de refuge et d'habitat (AUGIER *et al.*, 2000, MAGGI *et al.*, 1977), mais également un lieu privilégié de fraie et de nourriture pour beaucoup d'espèces d'importance commerciale (BOUDOURESQUE, 2010b). En outre, les rhizomes et les feuilles de *Posidonia oceanica* représentent une augmentation de la surface disponible pour la fixation des végétaux et l'installation des espèces animales sessiles et sédentaires, correspondant à un enrichissement du plateau continental (PÉRÈS, 1977).

(iv) L'herbier joue un rôle capital dans la fixation des sédiments meubles (MAGGI *et al.*, 1977 ; PÉRÈS, 1977 ; JEUDY DE GRISSAC, 1984) et donc dans la diminution de la matière en suspension (TERRADOS et DUARTE, 2000), dans la stabilisation des fonds marins (AUGIER *et al.*, 2000), 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 (BOUDOURESQUE et JEUDY DE GRISSAC, 1983 ; JEUDY DE GRISSAC, 1984), et par accumulation de feuilles mortes sur les plages (BOUDOURESQUE, 2010b).

2.5. Menaces sur l'herbier à *Posidonia oceanica*

De par leur répartition littorale, les herbiers à *Posidonia oceanica* sont vulnérables vis-à-vis des impacts anthropiques, et les régressions qu'ils subissent sont particulièrement significatives aux abords des centres urbains et portuaires (BOUDOURESQUE, 2010c).

Les aménagements du littoral sont parmi les principales causes de régression des herbiers : d'une part ils font augmenter la turbidité de l'eau (durant leur construction), ce qui réduit la lumière disponible en profondeur, et d'une autre part, ils modifient les flux sédimentaires en influant sur les courants marins, engendrant soit un déficit sédimentaire, qui cause le déchaussement des rhizomes, ou un excès de sédiment, qui ensevelit les faisceaux de posidonies. En outre, les chalutages, la pêche aux explosifs, l'ancrage des bateaux et la pose de canalisations et de câbles sous-marins sont responsables de nombreuses régressions des herbiers (BOUDOURESQUE, 2010c).

La pollution (rejets urbains, boues, produits de dragage, déchets industriels...), y compris la pollution générée par l'aquaculture, constituent une menace sur la vitalité des herbiers (CANCEMI *et al.*, 2003; PERGENT-MARTINI, 2006 ; BOUDOURESQUE, 2010c ; PERGENT *et al.*, 2011). En effet, l'eutrophisation des eaux côtières provoque une croissance anormale des algues épiphytes, qui bloquent la lumière et diminuent ainsi la photosynthèse (BURKHOLDER *et al.*, 2007). Ainsi, un fort enrichissement des eaux en matières organiques entraînera le remplacement de l'herbier par d'autres biocénoses (MAGGI *et al.*, 1977). Par ailleurs, ces herbiers peuvent aussi subir les effets de la compétition avec des espèces introduites (ex. *Caulerpa taxifolia*) (PERGENT *et al.*, 2008) et le surpâturage par les brouteurs consommateurs (ex. *Sarpa salpa*) (BOUDOURESQUE, 2010c).

2.6. *Posidonia oceanica* : indicateur écologique de la qualité du milieu marin

L'herbier à *Posidonia oceanica* est un puissant intégrateur de la qualité globale des eaux marines en raison de (i) sa sensibilité à la pollution et aux nuisances engendrées par l'activité humaine (CHARBONNEL *et al.*, 1983 ; PERGENT *et al.*, 1995), (ii) sa large distribution sur tout le littoral méditerranéen, (iii) la facilité de son identification, (iv) sa simplicité de récolte (CAMPANELLA *et al.*, 2001; PERGENT-MARTINI *et al.*, 2005), (v) sa sédentarité, (vi) son exposition à la pollution côtière (PERGENT, 1991 ; PERGENT-MARTINI *et al.*, 2005), (vii) sa forte longévité (SEMROUD, 1993 ; PERGENT-MARTINI *et al.*, 2005).

L'aptitude de l'herbier à enregistrer les conditions ambiantes du milieu peut se mesurer à différents niveaux :

(i) La position de sa limite inférieure est souvent considérée comme un indice de la qualité et de la transparence des eaux : si les eaux littorales sont claires, cette limite est profonde; si elles sont turbides, la limite est plus élevée (AUGIER et BOUDOURESQUE, 1979 ; CHARBONNEL *et al.*, 1983 ; PERGENT, 1991 ; BALLESTA *et al.*, 2000). Sa limite supérieure est également une zone sensible, car elle est directement exposée aux agressions engendrées par les aménagements littoraux et les rejets d'origine urbaine ou industrielle (MEINESZ et LEFEVRE, 1978 ; ASTIER, 1984 ; MEINESZ *et al.*, 1985). Toutefois, l'extension de cette limite peut être freinée lorsque la salinité du milieu diminue, ou si les mouvements sédimentaires sont trop importants (BOUDOURESQUE et JEUDY DE GRISSAC ; 1983 ; BOUDOURESQUE *et al.*, 1984).

(ii) La biométrie foliaire peut apporter des renseignements sur la qualité globale de l'eau. En milieu pollué, la longueur moyenne des feuilles peut subir une réduction importante (MAGGI *et al.*, 1977).

(iii) La biomasse des épiphytes des feuilles peut témoigner quant à elle de la richesse de l'eau en nutriments (LEONI *et al.*, 2006).

(iv) La lépidochronologie permet de détecter et de dater des événements chimiques anciens enregistrés dans les écailles (PERGENT *et al.*, 1989). En outre, elle peut refléter la turbidité et la température de l'eau et le taux de sédimentation (PERGENT *et al.*, 1989 ; PERGENT, 1991).

(v) La mesure de la concentration en métaux trace. En effet, *Posidonia oceanica* présente des teneurs proportionnelles aux teneurs en métaux trace présents dans le milieu (AUGIER, 1985 ; PERGENT *et al.*, 2011) et une bonne résistance à la contamination métallique (PERGENT-MARTINI, 1998). Au sein de ses tissus, les teneurs anciennes, alliées aux possibilités de datation offertes par la lépidochronologie (CALMET *et al.*, 1988 ; PERGENT-MARTINI, 1998 ; PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1999) permettent de disposer de véritables archives biologiques à même de renseigner sur l'évolution temporelle d'une pollution (BOUDOURESQUE *et al.*, 2006). Elle peut même refléter à la fois des contaminations dans la colonne d'eau et dans le sédiment (LAFABRIE, 2007).

(vi) L'abondance des cellules à tannin, cellules spécialisées dans la production des composés phénoliques (CARRIELLO et ZANETTI, 1979 ; PELLEGRINI et PELLEGRINI, 1993), est considérée comme un indicateur de stress de la plante, elle augmente dans les zones polluées (PERGENT, 1988 ; HAMOUL et MOKEDDEM, 2002).

Matériel et méthodes

3. Matériel et méthodes

3.1. Les stations d'étude

La localisation des stations sur les cartes est élaborée à l'aide de MapInfo Professional Version 8.0 (logiciel pour SIG). Le trait de côte, les isobathes et le réseau hydrographique sont dessinés à partir d'une carte marine (Service Hydrographique des Forces Navales, 1998). Les agglomérations, les rejets et les stations d'épuration des eaux usées sont relevées à partir de cartes déjà établies (PAC, 2005 ; APPL, 2010). Les cartes sont représentées par secteur pour une meilleure lisibilité (Figures 3.1 ; 3.2 ; 3.3). Quant à la description des herbiers, elle est effectuée *in situ*, en plongée autonome. Elle permet de préciser la morphologie générale et particulièrement le recouvrement sur le substrat, la présence de structures érosives (tombants de matte, intermattes, chenaux...), la nature du substrat (sable grossier, sable fin, sable vaseux, matte morte, roche...) et apporte des indications sur l'hydrodynamisme, (matérialisé par la présence de ripple-marks). La profondeur et le type de limite, selon la typologie de MEINESZ et LAURENT (1978), sont également précisés pour certaines stations.

Par ailleurs, des plongées de prospection ont été réalisées dans divers stations de la baie de Bou Ismaïl et de la baie d'Alger, qui ont permis la signalisation des herbiers à *Cymodocea nodosa* (Figures 3.1 ; 3.2 ; 3.3). Quant aux herbiers à *Posidonia oceanica* rencontrés dans la baie d'Alger [Perouse (Pr), Jean Bart (JB)] et à Sidi Fredj (SF), dans la baie de Bou Ismaïl, leur extension bathymétrique maximale est inférieure à -15m (Figures 3.2 ; 3.3). Leurs descriptions sont présentées en annexes. En effet, afin de s'affranchir de l'impact de la profondeur sur les différents descripteurs étudiés, une seule bathymétrie est considérée (-15m).

Au total, le travail sur terrain nous a nécessité de faire: 12 sorties durant lesquelles 25 plongées ont été effectuées ; 13 pour le prélèvement et 12 pour la prospection. La durée totale des plongées est estimée à 7 h 45min. La palanquée se composait généralement de 4 à 5 plongeurs. Au cours de ces plongées, des photos ont été prises à l'aide d'un appareil Canon Powershot- Boitier Ikelite.

3.1.1. Baie de Bou Ismaïl

Dix stations situées dans la baie de Bou Ismaïl et soumises à différentes sources de pressions anthropiques, sont choisies :

La station Cap El Hamouche (CH) ($36^{\circ} 38.533' N - 02^{\circ} 23.508' E$; Figure 3.1) se situe au pied du mont Chenoua. C'est une zone menacée par les eaux usées d'une agriculture intensive pratiquée sur la frange littorale, l'urbanisation anarchique, l'évacuation des rejets en mer, l'extraction de sable de plage et la pêche sur les herbiers (PAC, 2005). L'herbier est implanté sur des roches métriques subhorizontales et s'étend jusqu'à 17 m de profondeur avec un limite franche (Figure 3.4). Les rhizomes, majoritairement orthotropes, présentent un fort déchaussement avec un faible recouvrement, estimé à 20%.

La station de Kouâli (AK) ($36^{\circ} 35.677' N - 02^{\circ} 29.707' E$; Figure 3.1) se situe à Tipasa, à l'est du village touristique (CET). La zone se caractérise par une faible pression anthropique (BEGHOURA, 2009). L'herbier se développe sur du substrat dur et s'étend de 0.3 à 20 m de profondeur, il est l'un des plus productifs de Méditerranée (BOUMAZA et SEMROUD, 2000). A 15 m de profondeur, le recouvrement est estimé à 100% et l'herbier se caractérise par une limite franche liée à la nature du substrat. Au-delà de cette limite, l'algue verte *Caulerpa cylindracea* colonise le substrat meuble, jamais signalée à ce jour au niveau de cet herbier (Figure 3.5).

La station Berrard (Br) ($36^{\circ} 36.977' N - 02^{\circ} 37.489' E$; Figure 3.1) se situe à proximité des filières de mytiliculture de la ferme de Aïn Tagouraït (SEAM). L'herbier se développe sur substrat dur, avec un recouvrement estimé à 100%. La limite inférieure de l'herbier se trouve à 19 m de profondeur et est dite franche en raison de la nature du substrat. Au-delà de cette limite, le substrat est meuble. Les rhizomes au niveau de cette limite sont particulièrement enfouis dans le sédiment. L'eau présente une forte turbidité du fait d'une teneur importante de matière en suspension.

La station Khemisti (Kh) ($36^{\circ} 38.579' N - 02^{\circ} 40.098' E$; Figure 3.1) se situe à proximité du port de pêche de Khemisti, caractérisé par un fort ensablement et une pollution organique et inorganique par les métaux lourds (BACHOUICHE *et al.*, 2010). L'herbier se développe sur substrat dur, le recouvrement est estimé à 30% et les rhizomes sont déchaussés. L'absence de faisceau foliaire a été observée au niveau de certains rhizomes.

La station de Bou Ismail 1 (Bsm) ($36^{\circ} 39.250' N - 02^{\circ} 41.161' E$, Figure 3.1) se situe au large du Front de mer de la ville de Bou Ismaïl, la ville la plus industrialisée de la wilaya de Tipasa. C'est un site sensible, car soumis à de nombreux aménagements littoraux et aux rejets domestiques et industriels, sans traitement préalable. L'herbier se développe sur un substrat dur recouvert d'une couche de sable grossier avec un recouvrement de 60%. Il se caractérise par de grandes taches de sable grossier tapissé par une litière (Figure 3.6). Sa limite inférieure

se rencontre à 21 m, elle est de type érosive, caractérisée par des rhizomes orthotropes déchaussés, sans édification de matte (BENGRINE et GUELMAMI, 2007).

La station de Bou Ismail 2 (Tnc) (36° 39.363' N - 02° 41.529' E ; Figure 3.1) se situe au large du réseau collecteur de la ville qui draine une pollution domestique et industrielle, dont la source la plus importante est celle apportée par les rejets de la société Tonic, société opérationnelle depuis les années 80, spécialisée dans l'industrie d'emballage, et dont les rejets se déversent dans le milieu marin. L'herbier se développe sur roche, avec un recouvrement de 50%. Il se caractérise par des faisceaux déchaussés et groupés (distribution hétérogène). Il présente de grandes tâches de sable grossier avec des ripple-marks et une litière. Sa limite inférieure est située à 18 m de profondeur et est de type érosif (Figure 3.7).

La station de Bou Ismail 3 (SD) (36° 39.609' N 02° 42.070' E ; Figure 3.1) se situe à proximité d'une station de dessalement, opérationnelle depuis 2004. Sa capacité est de 5000 m³ par jour et la saumure est rejetée directement à proximité de la côte. L'herbier se développe sur roche recouverte par du sable grossier, les faisceaux marquent un déchaussement important, et l'eau se caractérise par une forte turbidité. Le recouvrement est estimé à 60%.

La station La Madrague (LP) (36° 48.035' N - 02° 53. 428' E ; Figure 3.2) se situe devant la digue du port de pêche et de plaisance de La Madrague. De nombreuses nuisances caractérisent cette station : extension du port, aménagement d'une plage artificielle et construction d'un parking sur la mer, depuis 2004. En outre, l'évacuation des eaux usées domestiques se fait de façon anarchique. L'herbier se présente sous forme de touffes sur un substrat meuble (sable vaseux). Les rhizomes sont groupés et le recouvrement est faible, estimé à 10%. L'eau est caractérisée par une forte turbidité, et un courant très intense est enregistré lors de notre plongée. Notons également la présence de *Caulerpa cylindracea*.

La station Aïn Benian (AB) (36° 48.553' N - 02° 55.195' E ; Figure 3.2) se situe dans la partie est du Cap Acrata. La région est marquée par une forte urbanisation qui se concentre sur la marge littorale, en arrière de laquelle s'étendent des terres agricoles. L'herbier se développe sur roche, auquel se mêle l'algue verte *Caulerpa cylindracea*. Le recouvrement est estimé à 40%. La limite inférieure se trouve à une profondeur de 22 m, elle est dite franche, liée à la nature du substrat, qui est meuble au-delà de cette limite (Figure 3.8).

3.1.2. La baie de Zemmouri

Une seule station est prise en compte dans ce secteur :

La station île Aguelli (AG) (36° 47.527' N - 03° 21.252' E, Figure 3.3) se situe face à l'embouchure du lac de Réghaïa, à 900 m de la côte. C'est un site menacé par les activités de

la zone industrielle de Rouiba-Réghaïa (rejets en mer sans traitement préalable et extraction illégale et abusive de sable de plage) et une urbanisation anarchique (PAC, 2005). L'herbier s'implante sur roche recouverte par du sable grossier, entrecoupé de chenaux de sable grossier marqué par des ripple-marks (Figure 3.9), témoignant du fort hydrodynamisme qui caractérise la région. Le recouvrement de l'herbier est estimé à 80%.



Figure 3.1. Localisation des stations prospectées et de prélèvements dans la partie Ouest de la baie de Bou Ismaïl.

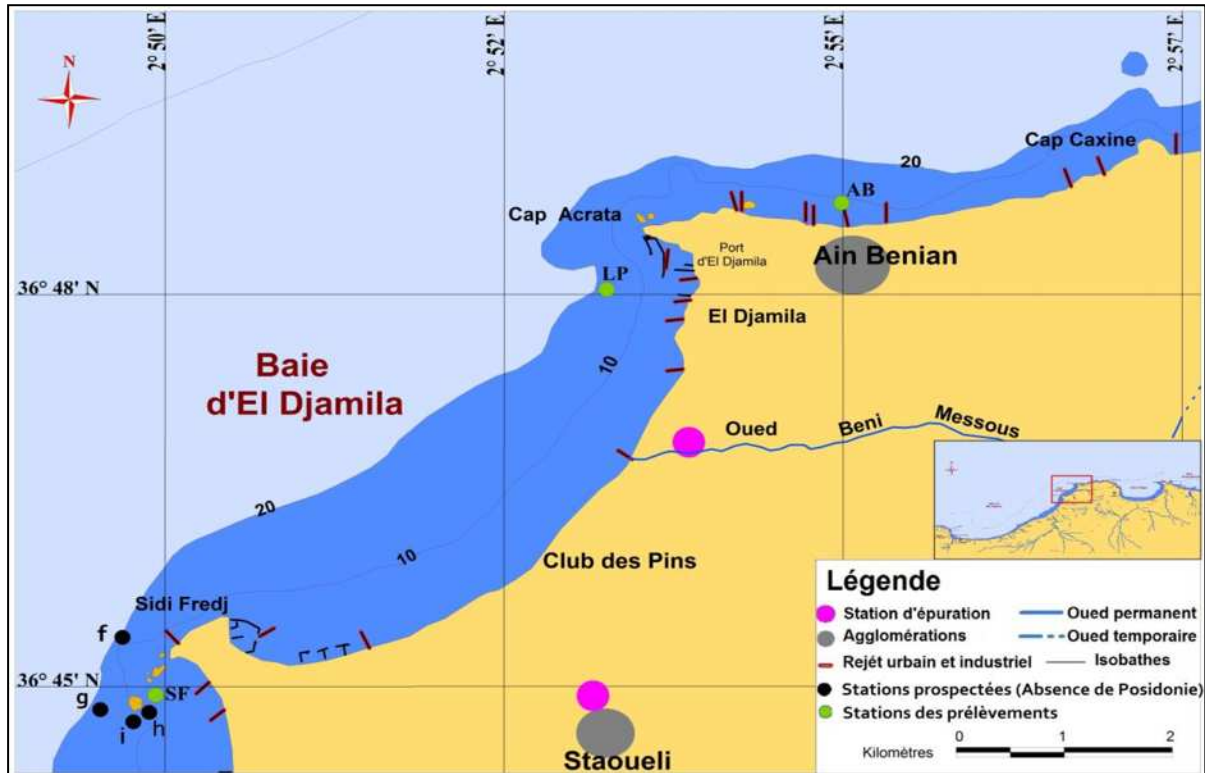




Figure 3.4. Photographie de la limite inférieure de l'herbier à CH (-17m).

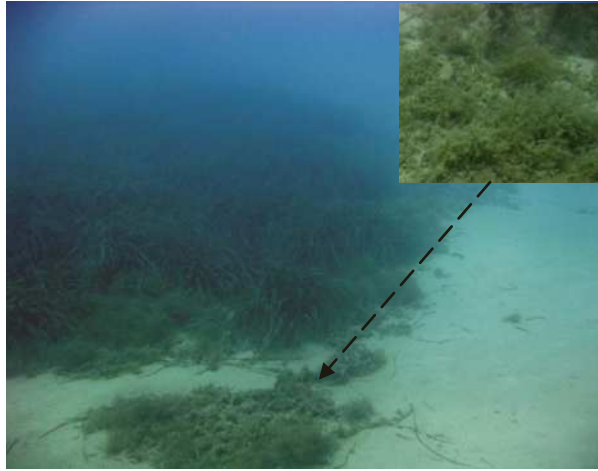


Figure 3.5. Photographie de la limite inférieure de l'herbier à AK avec *Caulerpa cylindracea* (-18m).



Figure 3.6. Taches de sable tapissées par une litière à Bsm (-15m).



Figure 3.7. Photographie de la limite inférieure de l'herbier à Tnc (-18m).



Figure 3.8. Photographie de la limite inférieure de l'herbier à AB avec *Caulerpa cylindracea* (-22 m).



Figure 3.9. Chenaux de sable grossier avec des ripple-marks au sein l'herbier à AG (-15 m).

3.2. Prélèvements

Les prélèvements des faisceaux de *Posidonia oceanica* sont effectués en plongée, avec scaphandre autonome (Figure 3.10), et ce durant une période très courte, afin de s'affranchir de l'impact saison sur les différents paramètres étudiés (Tableau 3.1). 20 ± 5 faisceaux orthotropes sont récoltés, ils sont distants de 50 cm à 1 m les uns des autres afin d'éviter de récolter des rhizomes appartenant au même individu, c'est-à-dire rattachés à un même rhizome plagiotrope encore vivant (PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1988). Pour faciliter l'étude lépidochronologique, les rhizomes prélevés sont les plus longs possible et choisis peu déchaussés, pour éviter une détérioration des écailles résultant de l'impact des brouteurs (VERLAQUE, 1987). Les faisceaux sont conservés dans de l'eau de mer formolée à 10%, dans des sachets en plastique bien fermés et étiquetés (station, date, profondeur et point GPS).



Figure 3.10. Récolte des faisceaux de Posidonie en plongée.

Tableau 3.1. Calendrier des prélèvements et des comptages *in situ* pour les différentes stations.

Station	Profondeur (m)	Date
Cap El Hamouche (CH)	15	12/07/2011
Kouâli (AK)	15	12/07/2011
Bérard (Br)	15	11/07/2011
Khemisti (Kh)	15	17/07/2011
Bou Ismaïl (Bsm)	15	11/07/2011
Tonic (Tnc)	15	16/07/2011
Station de dessalement (SD)	15	16/07/2011
La Madrague (LP)	15	18/07/2011
Aîn Benian (AB)	15	19/07/2011
Ile Agueli (AG)	15	26/07/2011

3.3. La densité

La densité de l'herbier est un bon indicateur de la turbidité de l'eau (PERGENT-MARTINI *et al.*, 1999), elle correspond au nombre de faisceaux par unité de surface (m²). Elle est déterminée par des comptages *in situ*, au moyen d'un carré de 40 cm de côté (PERGENT-MARTINI *et al.*, 2005) (Figure 3.11). Pour chaque station, 10 mesures sont effectuées au hasard dans l'herbier afin de prendre en compte la structure globale de l'herbier (PANAYOTIDIS *et al.*, 1981). Lorsque l'herbier est discontinu, les comptages sont réalisés à l'intérieur des taches d'herbier (PERGENT *et al.*, 2008). Les types d'herbiers sont ensuite définis selon les classements établis par Giraud (1977*b*) (Tableau 3.2), PERGENT *et al.* (1995) (Tableau 3.3) et PERGENT-MARTINI (2006) (Tableau 3.4).



Figure 3.11. Comptage *in situ* de la densité avec un carré de 40 cm de côté.

Tableau 3.2. Classification de l'herbier de posidonie selon la densité des faisceaux des feuilles au m² (Giraud, 1977*b*).

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

Tableau 3.3. Classification de la densité des herbiers en fonction de la profondeur (de 12 à 18 m) (PERGENT *et al.*, 1995). DA = densité anormale, DN = densité normale, DSI = densité subnormale inférieure, DSS = densité subnormale supérieure.

Profondeur (m)	DA	DSI	DN	DSS
12	← 191	↔	303 ↔ 527	→
13	← 170	↔	282 ↔ 506	→
14	← 151	↔	263 ↔ 487	→
15	← 134	↔	246 ↔ 470	→
16	← 117	↔	229 ↔ 453	→
17	← 102	↔	214 ↔ 438	→
18	← 88	↔	200 ↔ 424	→

Tableau 3.4. Evaluation de la qualité écologique de l'herbier à *Posidonia oceanica* à partir de la densité des faisceaux (en m²) selon PERGENT-MARTINI (2006).

Profondeur (m)	Densité de l'herbier et qualité écologique				
	Très Bonne	Bonne	Normale	Médiocre	Mauvaise
1	>1133	1133 à 930	930 à 727	727 à 524	<524
5	>892	892 à 709	709 à 526	526 à 343	<343
10	>662	662 à 513	513 à 364	364 à 214	<214
15	>492	492 à 372	372 à 253	253 à 134	<134
20	>365	365 à 271	271 à 177	177 à 83	<83

3.4. Analyse des échantillons au laboratoire

3.4.1. Analyse lépidochronologique

Lorsque les feuilles de *Posidonia oceanica* meurent, seul le pétiole reste attaché sur le rhizome, il porte le nom d'« écaille » (BOUDOURESQUE *et al.*, 1989). L'épaisseur des écailles varie de façon cyclique en fonction de leur rang d'insertion sur le rhizome. La lépidochronologie permet d'étudier les variations cycliques de l'épaisseur des écailles le long de rhizomes orthotropes de *Posidonia oceanica* (CROUZET, 1981 ; PERGENT, 1990). Ces variations cycliques sont annuelles, avec un maximum et un minimum d'épaisseur par an, mais ne respectent pas les années calendaires (PERGENT *et al.*, 1989). L'analyse lépidochronologique permet de mesurer la vitesse de croissance des rhizomes, le nombre de feuilles formées chaque année, la production annuelle des rhizomes, la dynamique d'édification des herbiers, la production primaire passée, le rythme de chute des feuilles et les teneurs anciennes en polluants (PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1990 ; PERGENT-MARTINI, 1998, PERGENT *et al.*, 2008). Elle permet également la datation des anciennes floraisons (PERGENT *et al.*, 1989).

3.4.1.1. Protocole d'analyse

Les faisceaux récoltés sont réhydratés et nettoyés de façon à retirer le sédiment présent entre les écailles ainsi que les épiphytes et les épibiontes macroscopiques du rhizome. Les écailles de chaque rhizome sont très soigneusement détachées en respectant l'ordre distique de leur insertion sur le rhizome. Les écailles étant emboîtées les unes sur les autres, la dissection se fait des plus anciennes vers les plus récentes (PERGENT, 1987). L'épaisseur des écailles est appréciée au toucher (RICO et PERGENT, 1990) Les écailles sont classées par rang en fonction de leur position sur le rhizome : l'écaille se trouvant juste après la première feuille vivante a le rang 1. Le rang des écailles augmente donc en s'éloignant du point végétatif. Lorsque l'écaille d'épaisseur minimale est rencontrée, le rhizome est coupé au niveau de l'insertion de cette écaille. Une série d'écailles correspondant à un tronçon de rhizome et à une année lépidochronologique est obtenue. L'année lépidochronologique correspond au temps écoulé entre deux minima d'épaisseur (Figure 3.12). Les tronçons de rhizomes sont ensuite placés dans une étuve (72 h à 70°C), puis pesés à l'aide d'une balance (Denver instrument M-220 D, précision 0,1 mg). Si au cours de la dissection des restes de pédoncules floraux sont retrouvés, leur position est précisée. Ils occupent la place d'une écaille, mais sont bien différents des écailles, plus étroits, plus épais avec une nervure centrale bien distincte, et sont entourés d'une préfeuille (Figure 3.13) (GIRAUD, 1979).

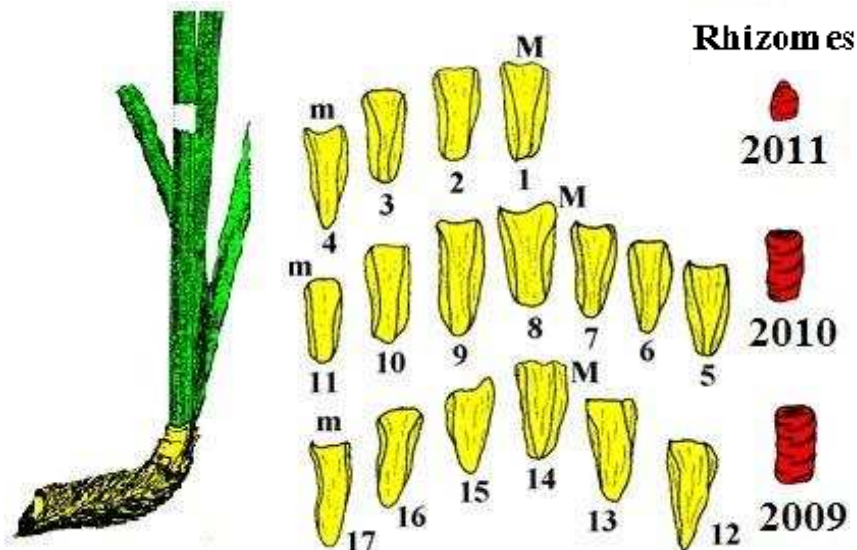


Figure 3.12. Dissection lépidochronologique de *Posidonia oceanica* (D'après PERGENT, 1987).
M : maximum. m : minimum.

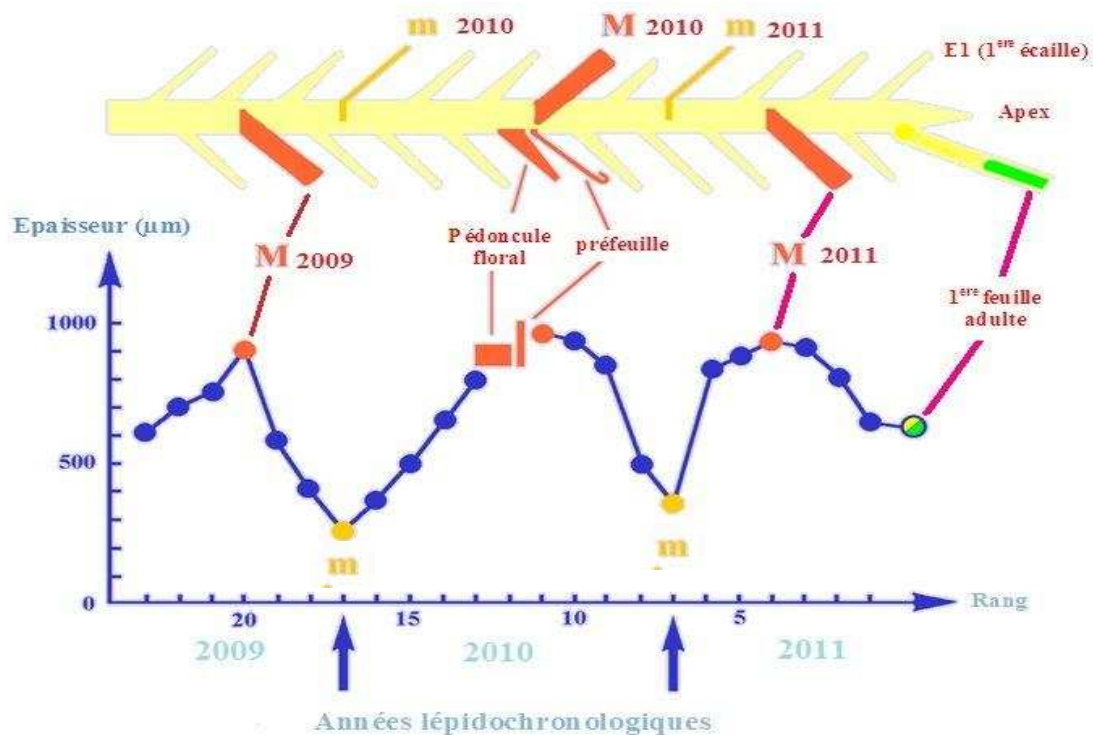


Figure 3.13. Le cycle d'épaisseur des écailles et la notion d'années lépidochronologiques (D'après PERGENT *et al.*, 1989). M : maximum. m : minimum.

3.4.2. Biométrie foliaire

Les caractéristiques morphologiques ainsi que l'âge des feuilles diffèrent en fonction de leur position au sein du faisceau. L'apparition des feuilles se fait au centre du faisceau, l'âge des feuilles de celles-ci augmente vers la périphérie. Les faisceaux sont décortiqués en respectant l'ordre d'insertion des feuilles : depuis les feuilles les plus externes jusqu'à celles situées au centre du faisceau. Les feuilles sont groupées en trois catégories (Figure 3.14), selon le protocole de GIRAUD (1979).

- Les feuilles **adultes**, mesurant plus de 50 mm et pourvues d'une base (supérieure ou égale à 2 mm).
- Les feuilles **intermédiaires**, de plus de 50 mm de longueur et dépourvues de pétiole (base) ou à pétiole inférieur à 2 mm.
- Les feuilles **juvéniles**, dépourvues de base et mesurant moins de 50 mm.

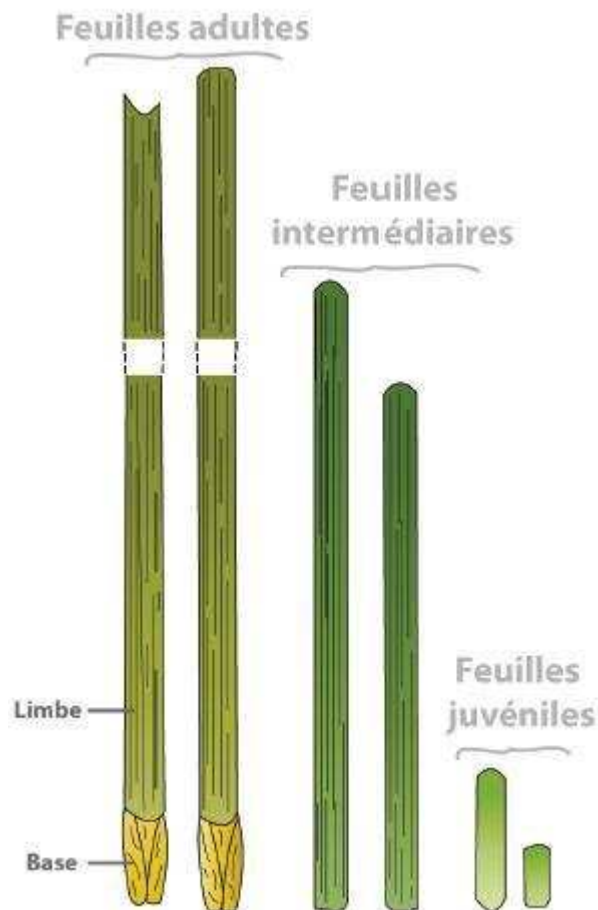


Figure 3.14. Types de feuilles de Posidonie en fonction de leur âge (d'après PERGENT *et al.*, 2008).

Pour chaque feuille, la longueur totale et la largeur du limbe sont mesurées, ainsi que la longueur de la base lorsqu'elle existe.

Différents paramètres relatifs à la phénologie des feuilles sont calculés :

- (i) Le nombre moyen de feuilles adultes et intermédiaires par faisceau.
- (ii) Le coefficient A : il correspond au pourcentage des feuilles sans apex (GIRAUD, 1977c). Il apporte des renseignements, pour un site donné, sur le taux de broutage (NEDELEC, 1982) et sur l'hydrodynamisme du site (WITTMANN *et al.*, 1981).
- (iii) La surface foliaire (cm²) : elle correspond à la surface de feuilles par faisceau (une seule face est prise en compte) (DREW, 1971).

3.4.3. Biomasse des feuilles et des épiphytes des feuilles

Pour chaque faisceau, les deux faces de chaque feuille sont soigneusement grattées avec une lame de rasoir, en distinguant les feuilles adultes des feuilles intermédiaires. Les feuilles et les épiphytes sont séchés séparément à l'étuve pendant 72h à 70°C. La matière sèche est ensuite pesée sur une balance (Denver instrument M-220 D, précision 0,1 mg).

3.5. Traitements statistiques

Dans le but de comparer les moyennes de chacun des paramètres étudiés, des analyses de variance à un facteur (Anova) sont mises en œuvre (effet de la station), lorsque les conditions d'application sont réunies : normalité et égalité des variances. La vérification de la normalité des distributions est effectuée à l'aide du test de Shapiro-Wilk, et celle de l'homogénéité des variances est effectuée par le test de Bartlett. Si ces conditions ne sont pas remplies, des tests non paramétriques sont effectués (Kruskall-Wallis). Lorsque des différences significatives sont décelées, le test de Student-Newman-Keuls est utilisé pour situer les différences entre stations en non paramétrique et celui de Tukey en paramétrique. La corrélation entre certains paramètres est estimée à l'aide du coefficient de Bravais-Pearson. Les traitements statistiques sont réalisés à l'aide du logiciel **R** version **2.13.0**.

Résultats et discussion

4. Résultats et discussion

4.1 Densité des faisceaux

La densité des herbiers présente des différences significatives entre certains sites ($p < 0.05$, Kruskal-Wallis). Le maximum est observé à SD (203.75 ± 31.35 faisceaux/m²) et le minimum à LP (128.75 ± 33.61 faisceaux/m²) (Figure 4.1). Le test de Student-Newman-Keuls permet de différencier un groupe de stations [Bsm, SD] avec des moyennes homogènes de ce paramètre.

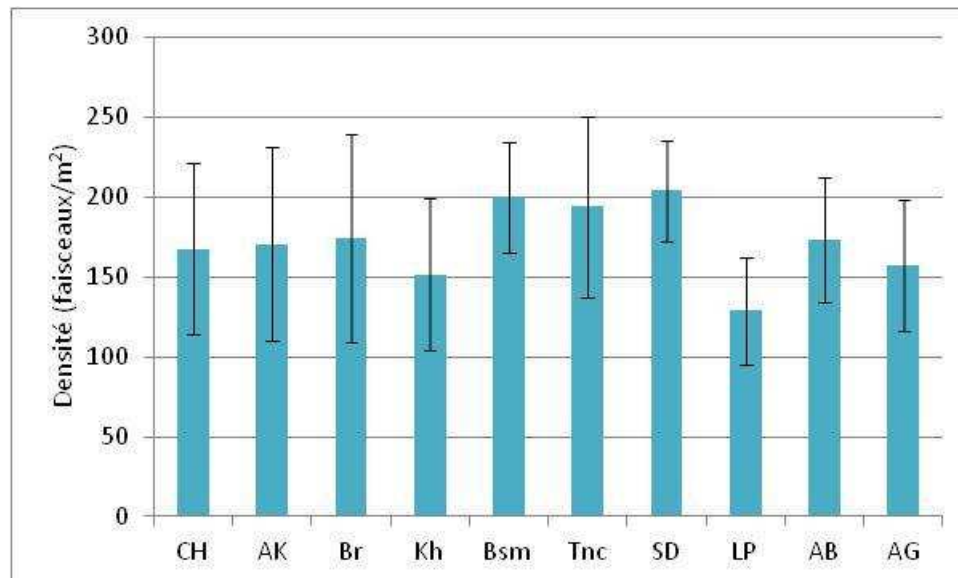


Figure 4.1. Densité des herbiers des différentes stations.

Selon la classification de GIRAUD (1977b), l'ensemble des herbiers étudiés sont dits très clairsemés (type IV), seul l'herbier de la station LP est qualifié de semi-herbier (Type V). Quant à la classification intégrant la profondeur (PERGENT-MARTINI, 1994 ; PERGENT *et al.*, 1995), elle discrimine l'ensemble des herbiers en densité subnormale inférieure (DSI), à l'exception de l'herbier de la station LP qui présente une densité anormale (DA). Enfin, l'échelle la plus récente (PERGENT *et al.*, 2008) qui se décline en 5 classes : «Très bonne», «Bonne», «Normale», «Médiocre», et «Mauvaise», permet l'évaluation de la qualité écologique des herbiers à *Posidonia oceanica* à partir de la densité. En tenant compte de cette échelle, toutes les stations traduisent une densité médiocre et seule la station LP est de mauvaise qualité.

Les faibles densités enregistrées au niveau des stations étudiées pourraient résulter d'une réponse adaptative de *Posidonia oceanica* aux conditions du milieu (quantité de lumière, concentration en nutriments) qui favoriserait la production d'un petit nombre de grands faisceaux plutôt qu'un grand nombre de petits faisceaux (VELA, 2006). Par ailleurs, en

s'affranchissant de l'impact de la profondeur (les stations sont situées à -15 m) qui joue un rôle important sur la densité des herbiers (PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1988 ; BUIA *et al.*, 1992), d'autres facteurs comme le type de substrat (AUGIER et CRISTIANI, 1984), la topographie (ZUPO *et al.*, 2006) et la dynamique de l'herbier (SCARDI *et al.*, 1989) peuvent affecter ce paramètre. A ce titre, le minimum de densité enregistré à la station LP pourrait s'expliquer par l'installation de cet herbier sur un substrat meuble. En effet, GIRAUD (1977b), CRISTIANI (1980) et SEMROUD (1993) ont montré que la densité moyenne des faisceaux par m² d'herbier sur substrat dur est légèrement supérieure à celle de l'herbier installé sur substrat meuble. En outre, cette faible valeur de densité pourrait également résulter des différentes sources de pollutions (port, rejets) qui caractérisent cette station. La diminution de la densité sous l'effet de la pollution est signalée par BOUDOURESQUE et MEINESZ (1982), SEMROUD (1993) et PERGENT-MARTINI (1994). De plus, l'herbier de la station LP est colonisé par *Caulerpa cylindracea*, dont l'impact de compétition avec *Posidonia oceanica* pourrait se traduire par une diminution de la densité, comme c'est le cas avec *Caulerpa taxifolia* (MOLENAAR *et al.*, 2009).

4.2. Biométrie foliaire

4.2.1. Nombre de feuilles par faisceau

Les nombres moyens des feuilles adultes et intermédiaires présentent des différences significatives en fonction des stations d'étude ($p < 0.05$, Kruskal-Wallis). Le nombre moyen de feuilles adultes est significativement supérieur à celui des feuilles intermédiaires, quelle que soit la station considérée ($p < 0.05$, Anova).

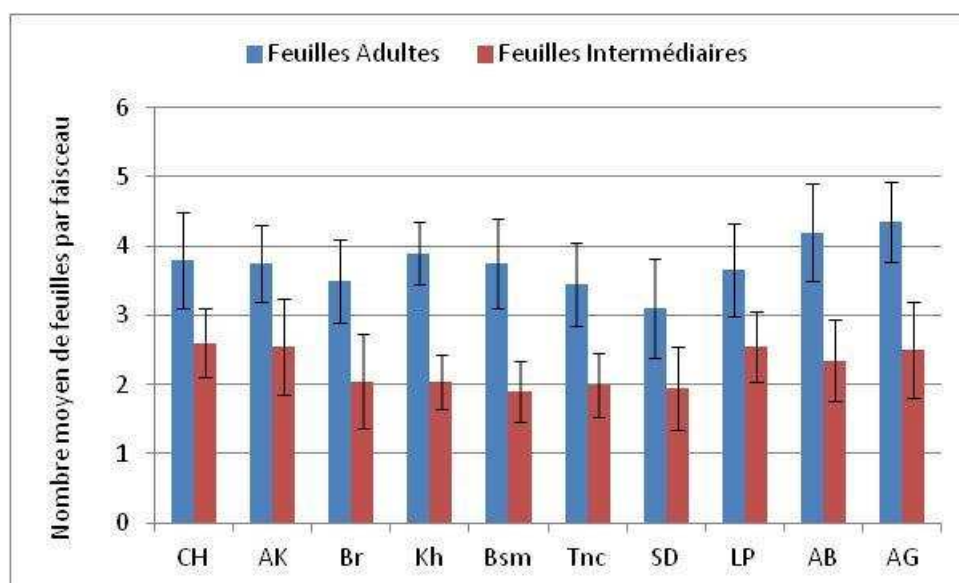


Figure 4.2. Nombre moyen des feuilles adultes et intermédiaires par faisceau pour les différentes stations.

La valeur maximale est observée à AG pour les adultes (4.3 ± 0.6) et à CH (2.6 ± 0.5) pour les feuilles intermédiaires. La valeur minimale est relevée à SD (3.1 ± 0.7) pour les adultes et à Bsm (1.9 ± 0.4) pour les intermédiaires (Figure 4.2).

Le test de Student-Newman-Keuls révèle deux groupes de stations avec des moyennes homogènes : [CH, AK, Kh, Bsm] et [Br, Tnc] pour le nombre de feuilles adultes et [Br, Kh, AB]; [AK, LP] pour le nombre de feuilles intermédiaires.

Les variations du nombre de feuilles adultes et intermédiaires d'une station à l'autre reflètent les conditions du milieu (ex. hydrodynamisme) qui peuvent influencer le rythme de chute et de formation des feuilles (BOUMAZA, 1995). En effet, en été, l'hydrodynamisme est réduit, ceci permet aux feuilles les plus âgées de se maintenir plus longtemps au sein des faisceaux (MAZZELLA et OTT, 1984 ; CAYE, 1989b). Le faible nombre de feuilles observé au niveau de la station SD pourrait être lié à sa proximité de la station de dessalement. En effet, des études portant sur l'impact négatif des saumures rejetées par les stations de dessalement de l'eau de mer sur les herbiers à *Posidonia oceanica* montrent une diminution de la vitalité de l'herbier qui se traduit par certaines réactions, dont l'augmentation du taux de chute des feuilles et une sénescence prématurée de leurs tissus (LATORRE, 2005 ; SANCHEZ-LIZASO *et al.*, 2008 ; ROBERTS *et al.*, 2010). Par ailleurs, les résultats obtenus sont en accord avec ceux obtenus dans d'autres sites pour des saisons et des profondeurs similaires (CHARBONNEL *et al.*, 1995 ; RICO-RAIMONDINO, 1995).

4.2.2. Longueur des feuilles

Les longueurs moyennes des feuilles adultes et intermédiaires présentent des différences significatives entre certaines stations ($p < 0.05$, Anova). Les feuilles adultes sont significativement plus longues que les feuilles intermédiaires ($p < 0.05$, Anova ; Kruskal-Wallis), et ce, quelle que soit la station considérée. Les longueurs moyennes maximales des feuilles adultes et intermédiaires sont observées à Bsm (respectivement 854.8 ± 87.5 mm et 521.9 ± 139.6 mm). Tandis que la longueur moyenne minimale des feuilles adultes et intermédiaires est enregistrée à LP (394.0 ± 106.4 mm et 259.4 ± 72.7 mm, respectivement) (Figure 4.3). Le test de Tukey révèle deux groupes de stations homogènes par leur longueur moyenne des feuilles adultes : [Bsm, Tnc] et [AK, Kh] et trois pour la longueur moyenne des feuilles intermédiaires [CH, Kh, Tnc], [AB, AG] et [Br, SD].

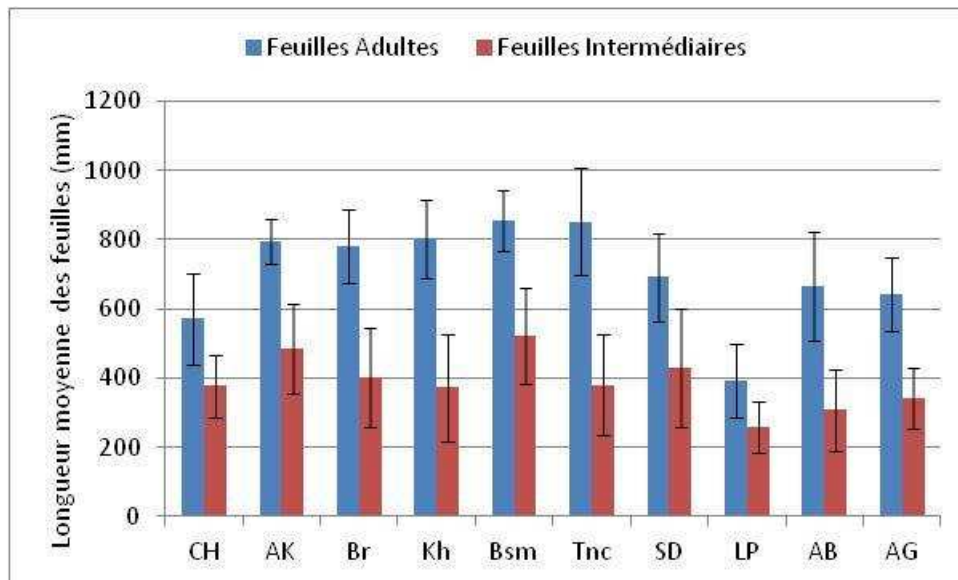


Figure 4.3. Longueurs moyennes des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations.

La longueur des feuilles constitue l'un des paramètres utilisés en routine pour rendre compte de la vitalité des herbiers et dépend de plusieurs paramètres : lumière disponible, température, pression de broutage, concentration du milieu en nutriments (ZUPO *et al.*, 1997 ; DALLA VIA *et al.*, 1998 ; RUIZ, 2000 ; ALCOVERRO *et al.*, 2001). La station LP, caractérisée par la longueur moyenne la plus faible, est située à proximité d'un port, ceci pourrait être à l'origine de la diminution de la longueur des feuilles (MAGGI *et al.*, 1977 ; PERGENT *et al.*, 1988 ; PERGENT-MARTINI, 1994). Le minimum obtenu à LP est comparable avec les valeurs obtenues au niveau d'un site situé à proximité d'un port en Espagne (FERNANDEZ-TORQUEMADA *et al.*, 2005). Par ailleurs, les valeurs de longueur de feuilles obtenues au niveau des stations AK, Br, Kh, Bms et Tnc restent très élevées par rapport à celles enregistrées dans d'autres sites de Méditerranée à des profondeurs similaires et durant la même période de l'année (CHARBONNEL *et al.*, 1995 ; RICO-RAIMONDINO, 1995).

4.2.3. Largeur des feuilles

Les largeurs moyennes des feuilles varient en fonction des stations et du type de feuilles considérées (Figure 4.4). Les largeurs des feuilles adultes et intermédiaires présentent des différences significatives entre certaines stations ($p < 0.05$, Kruskal-Wallis). Les feuilles adultes sont significativement plus larges que les feuilles intermédiaires ($p < 0.05$, Anova). Les largeurs moyennes maximales des feuilles adultes et intermédiaires sont enregistrées à AG (respectivement 11.6 ± 0.7 et 10.5 ± 0.6 mm) et les minimales sont notées au niveau de la station LP (respectivement 9.5 ± 0.6 et 8.8 ± 0.5 mm). Le test de Student-Newman-Keuls

permet de distinguer deux groupes de stations présentant des moyennes de largeur des feuilles adultes homogènes : [CH, Br, Bsm, AB] et [Tnc, LP] et trois groupes [CH, AK, Kh] ; [Br, Bsm, AB] ; [Tnc, LP] pour la largeur des feuilles intermédiaires.

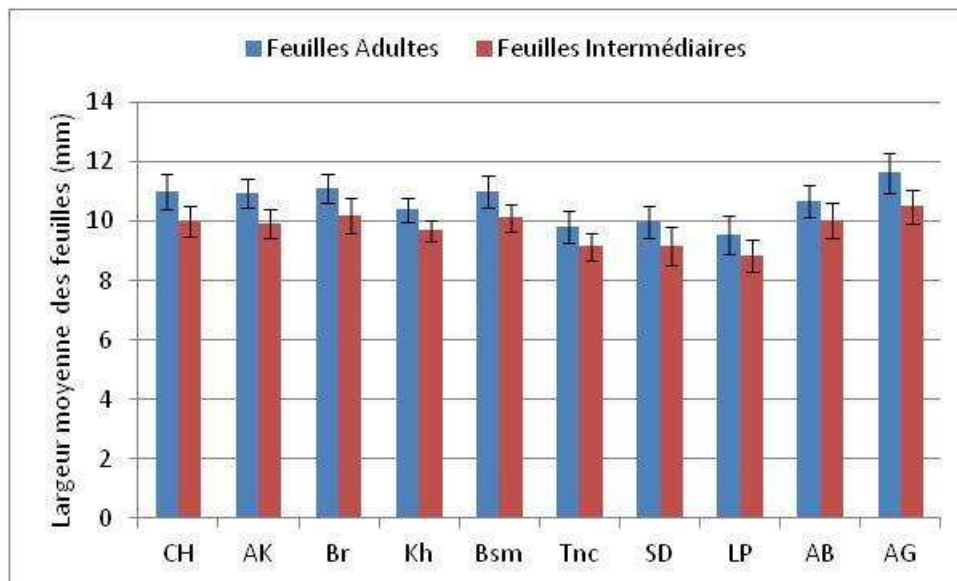


Figure 4.4. Largeurs moyennes des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations.

La largeur des feuilles est considérée traditionnellement comme un paramètre stable puisque WIITMANN (1984) le propose comme un intégrateur des conditions du milieu. Cependant d'autres auteurs (PERGENT-MARTINI, 1994 ; DALLA VIA, 1998) suggèrent que la largeur élevée des feuilles constitue une réponse à des conditions environnementales particulières (enrichissement du milieu en sels nutritifs et/ou turbidité importante). Paradoxalement, la largeur des feuilles diminue au niveau des trois stations présentant une forte turbidité : Tnc, SD et LP. Par ailleurs, une diminution de la largeur des feuilles est mise en évidence lorsque *Posidonia oceanica* est en situation de compétition avec *Caulerpa taxifolia* (WITTMANN, 1984 ; CAYE, 1989b ; DE VILLELE et VERLAQUE, 1995 ; PNUE, 1999), à proximité d'installations portuaires (FERNANDEZ-TORQUEMADA *et al.*, 2005) et sous l'influence de rejets des effluents d'un émissaire (CHARBONNEL *et al.*, 1995). Ceci pourrait expliquer la faible valeur de largeur des feuilles enregistrée au niveau de la station LP située à proximité du port de Djamila et où l'espèce *Caulerpa cylindracea* est rencontrée. Par ailleurs, les stations caractérisées par un fort hydrodynamisme pourraient engendrer une augmentation de la largeur des feuilles (SEMROUD, 1993 ; RICO-RAIMONDINO, 1995). En effet, les feuilles les plus larges sont retrouvées au niveau de la station où un fort courant est enregistré, en l'occurrence la station AG.

4.2.4. Longueur des bases

La longueur des bases varie avec le rang de la feuille, elle est maximale pour les feuilles les plus âgées (PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1988). La longueur finale des bases est corrélée à la longueur des limbes (BOUMAZA, 1995 ; RICO-RAIMONDINO, 1995). Les longueurs moyennes des bases présentent des différences significatives entre certaines stations ($p < 0.05$, Kruskal-Wallis). La longueur maximale est obtenue à Bsm (42.0 ± 5.5 mm), tandis que la minimale est enregistrée à LP (23.4 ± 3.7 mm) (Figure 4.5). Ceci est corrélé aux valeurs extrêmes (maximum et minimum) obtenues pour la longueur des feuilles adultes. Le test de Student-Newman-Keuls révèle un groupe de stations [AK, Br, Tnc] avec des moyennes homogènes pour ce paramètre.

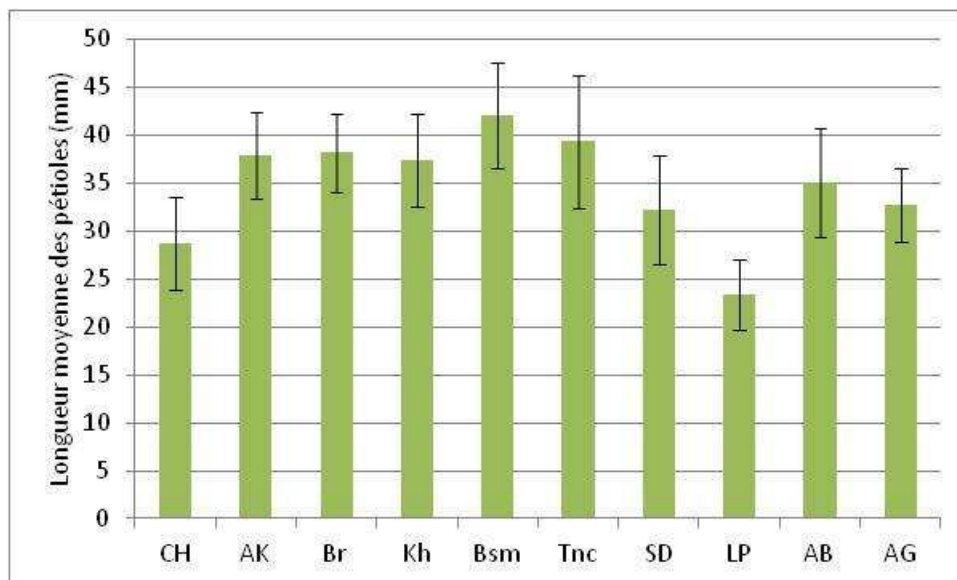


Figure 4.5. Longueurs moyennes des bases des feuilles par faisceau pour les différentes stations.

4.2.5. Coefficient A

Le coefficient A est représentatif de la pression de broutage et de l'hydrodynamisme, néanmoins il est difficile de distinguer l'impact de l'hydrodynamisme de celui de la prédation (SILVESTRI, 1993). Le coefficient A des feuilles adultes est significativement supérieur à celui des feuilles intermédiaires quel que soit le site considéré ($p < 0.05$, Kruskal-Wallis ; Anova). En effet, ces dernières sont plus récentes d'une part, et vu leur position à l'intérieur du faisceau d'autre part, elles sont donc mieux protégées de l'action des consommateurs et de l'action de l'hydrodynamisme (BUIA *et al.*, 1985 ; PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1988).

Le coefficient A des feuilles adultes présente des variations significatives entre certaines stations ($p < 0.05$; Kruskal-Wallis). Le coefficient A maximum des feuilles adultes est observé

à AB (87.0 ± 14.9) et le minimum à Bsm (62.0 ± 25.8) (Figure 4.6). Quant au coefficient A des feuilles intermédiaires, il ne varie pas significativement entre les stations ($p > 0.05$, Anova).

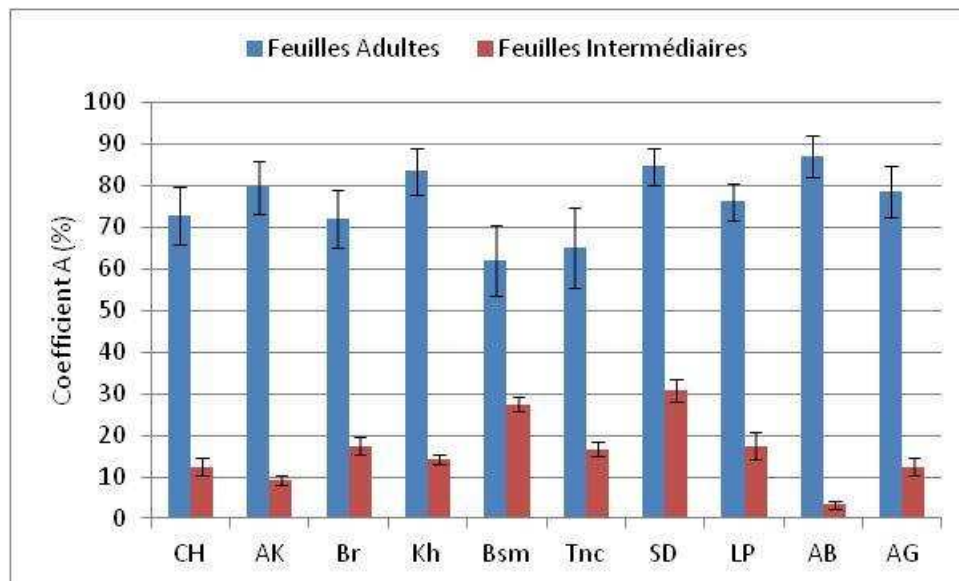


Figure 4.6. Coefficient A des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations.

Le test de Student-Newman-Keuls révèle que toutes les stations présentent des moyennes homogènes des coefficients A des feuilles adultes. Le coefficient A des feuilles adultes le plus important est relevé au niveau de la station AB ; il résulte de la présence d'une importante population de brouteurs : les oursins *Sphaerechinus granularis* et *Paracentrotus lividus*. Par ailleurs, les valeurs mesurées au niveau des différentes stations sont cohérentes avec celles mesurées en Méditerranée (in RICO-RAIMONDINO, 1995).

4.2.6. Surface foliaire

La surface foliaire moyenne des feuilles adultes est significativement supérieure à celle des feuilles intermédiaires quelle que soit la station considérée ($p < 0.05$, Kruskal-Wallis ; Anova). Les surfaces foliaires moyennes des feuilles adultes et intermédiaires diffèrent de façon significative entre certaines stations ($p < 0.05$, Kruskal-Wallis). La surface maximale des feuilles adultes est enregistrée à Bsm ($350.5 \pm 61.7 \text{ cm}^2$) et celle des feuilles intermédiaires à AK ($121.4 \pm 42.8 \text{ cm}^2$). Tandis que les surfaces foliaires minimales sont enregistrées à LP pour les feuilles adultes et intermédiaires (respectivement 139.5 ± 53.01 et $59.2 \pm 21.6 \text{ cm}^2$) (Figure 4.7).

Le test de Student-Newman-Keuls distingue deux groupes de stations avec des moyennes homogènes de la surface des feuilles adultes : [AK, Kh, Bsm, AG] et [Br, Tnc, AB] et trois

groupes avec des moyennes homogènes pour la surface des feuilles intermédiaires : [Kh, Tnc, SD, AB] et [Br, AG] et [CH, Bsm].

La surface foliaire intègre à la fois la longueur, la largeur et le nombre des feuilles par faisceau ; c'est un paramètre synthétique de la physionomie de la plante (SILVESTRI, 1993). A ce titre, la valeur minimale de la surface foliaire obtenue au niveau de la station LP peut être considérée comme étant une réponse au stress engendré par sa proximité d'un port, selon FERNANDEZ-TORQUEMADA *et al.* (2005). En effet, la longueur et la largeur des feuilles y présentent les valeurs les plus basses enregistrées. Une corrélation positive importante est enregistrée entre la surface foliaire des feuilles globales (adultes et intermédiaires) et la longueur et la largeur moyennes des feuilles globales ($r= 0.70$).

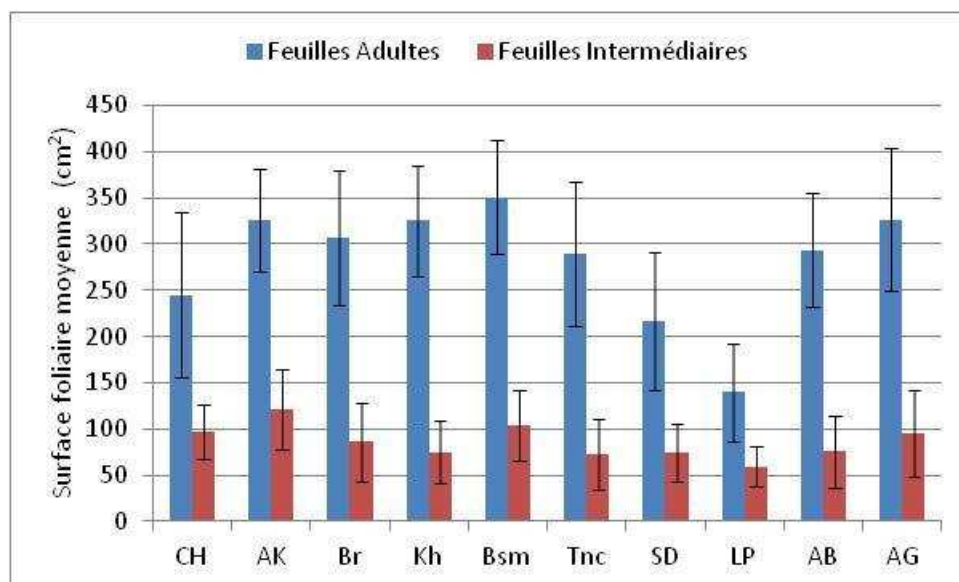


Figure 4.7. Surfaces foliaires moyennes des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations.

4.3. Biomasse des feuilles

La biomasse des feuilles adultes est significativement supérieure à celle des feuilles intermédiaires quel que soit le site considéré ($p < 0.05$, Kruskal-Wallis ; Anova). Les biomasses moyennes des feuilles adultes et intermédiaires présentent des différences significatives entre certaines stations ($p < 0.05$, Anova). Les biomasses moyennes maximales des feuilles sont enregistrées à Bsm (1.64 ± 0.4 g) pour les feuilles adultes et à AK (0.4 ± 0.1 g) pour les feuilles intermédiaires et les minimales à LP (respectivement 0.6 ± 0.3 et 0.2 ± 0.07 g) (Figure 4.8).

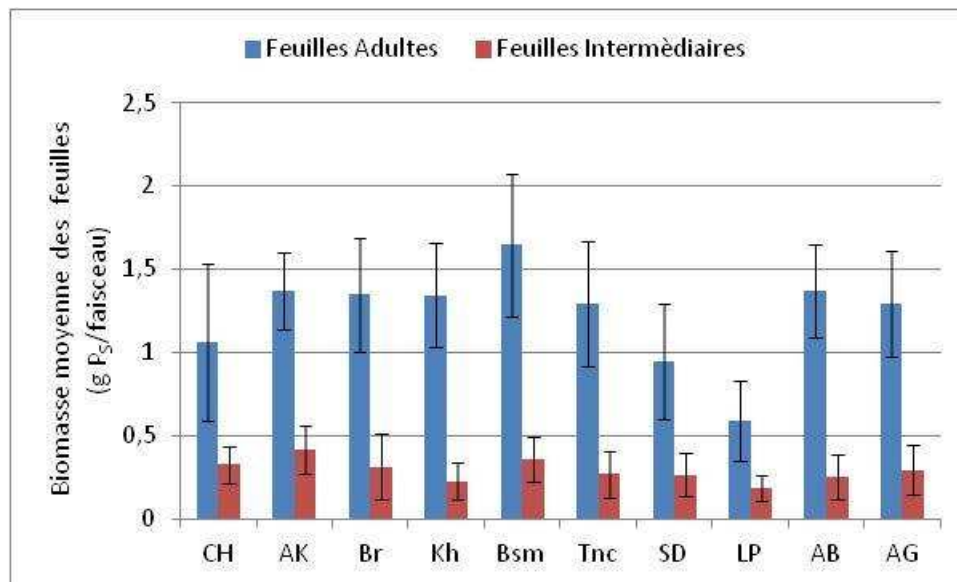


Figure 4.8. Biomasses moyennes des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations.

Le test deTukey indique deux groupes de stations avec des biomasses moyennes des feuilles adultes homogènes : [AK, Br, Kh, AB] et [CH, Tnc, AG] et trois groupes avec des biomasses moyennes des feuilles intermédiaires homogènes : [Kh, Tnc, SD, AB] ; [CH, Bsm] ; [Br, AG].

Une corrélation positive importante est enregistrée entre la biomasse foliaire globale et la surface foliaire des feuilles globales ($r = 0.95$). Ainsi les valeurs moyennes maximales et minimales des biomasses foliaires coïncident avec celles de la surface foliaire. Le minimum de biomasse obtenu au niveau de la station LP peut être attribué à l'installation de cette dernière à proximité du port de Djamilia. En effet, une diminution de la biomasse foliaire est mise en évidence lorsque *Posidonia oceanica* est affectée par les nuisances engendrées par des installations portuaires (FERNANDEZ-TORQUEMADA *et al.*, 2005) et les valeurs obtenues par ces auteurs sont du même ordre.

4.4. Indice épiphytique

L'indice épiphytique moyen des feuilles adultes est significativement supérieur à celui des feuilles intermédiaires, quelle que soit la station ($p < 0.05$, Anova). Les indices épiphytiques des feuilles adultes et intermédiaires présentent des différences significatives entre certaines stations ($p < 0.05$, Anova). L'indice épiphytique des feuilles adultes maximal est observé à LP ($2.7 \pm 0.8 \text{ mg/cm}^2$) et le minimal à Bsm ($0.6 \pm 0.3 \text{ mg/cm}^2$).

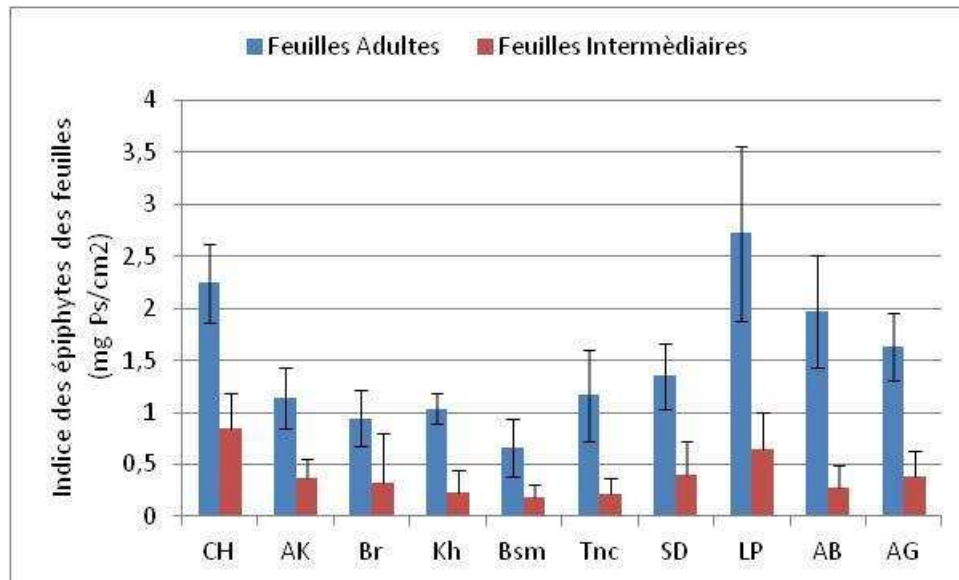


Figure 4.9. Indice épiphytique moyen des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations.

Quant à l'indice épiphytique des feuilles intermédiaires maximal, il est observé à CH (0.8 ± 0.3 mg/cm²) et le minimal est enregistré à Bsm (0.2 ± 0.1 mg/cm²) (Figure 4.9). Le test de Tukey permet de distinguer pour l'indice épiphytique des feuilles adultes deux groupes de stations avec des moyennes homogènes : [Br, Kh] et [AK, Tnc] et pour celui des feuilles intermédiaires deux groupes homogènes : [Br, Kh, Bsm, Tnc, AB] et [AK, SD, AG]. L'utilisation de l'indice épiphytique permet de s'affranchir de l'influence de la surface des feuilles colonisable (JACOBS et NOTEN, 1980 in VELA, 2006). Les feuilles intermédiaires sont moins exposées que les feuilles adultes, car situées à l'intérieur du faisceau et donc plus récentes, elles sont donc moins recouvertes par les épiphytes (ALCOVERRO *et al.*, 1997 ; PEIRANO *et al.*, 2001). Plusieurs facteurs interviennent dans le développement des épiphytes : la température (MAZZELLA *et al.*, 1989) ainsi que les nutriments et la lumière (MAZZELLA *et al.*, 1989 ; LEONI, 2005). Aussi, le maximum de l'indice épiphytique des feuilles adultes observé à LP est à mettre en relation avec l'enrichissement du milieu en nutriments. Tandis qu'au niveau des stations où l'on note les valeurs les plus basses de l'indice épiphytique, la réduction de la quantité de lumière (RUIZ et ROMERO, 2001) et/ou l'exposition de ces stations à un hydrodynamisme important constituent un frein à l'accumulation des épiphytes sur les feuilles (BOROWISTZKA *et al.*, 2006). Par ailleurs, PIAZZI *et al.* (2004) et TERRADOS et MEDINA PONS (2008) signalent que le développement des épiphytes ne constitue pas un indicateur pertinent de l'enrichissement du milieu en nutriments par des apports anthropogéniques. Par ailleurs, des niveaux de broutage importants par *Paracentrotus lividus* peuvent engendrer une diminution de l'indice

épiphytique (ALCOVERRO *et al.*, 1997 ; RUIZ *et al.*, 2001 ; RUIZ *et* ROMERO 2003 ; TOMAS *et al.*, 2005).

4.5. Paramètres lépidochronologiques

4.5.1 Nombre d'écailles par cycle

Le nombre moyen d'écailles par cycle, calculé sur les cinq dernières années, présente des différences significatives entre les stations ($p < 0.05$, Anova). Le nombre maximal d'écailles par cycle est observé à AG (10.8 ± 1.1) et le minimal à SD (8.1 ± 1.3). Le test de Tukey révèle un groupe de stations avec des moyennes homogènes pour ce paramètre [AB, Bms].

Le nombre d'écailles moyen par cycle présente également des différences significatives en fonction de l'année au sein des stations ($p < 0.05$, Kruskal-Wallis) (Figure 4.10), à l'exception des stations [Bms, CH, LP et Br]. Pour une année donnée, le nombre d'écailles produites montre des différences significatives entre les stations étudiées ($p < 0.05$, Kruskal-Wallis). Le nombre moyen d'écailles maximal par cycle (11.5 ± 0.9 , à AG) est observé en 2005 et le minimal (7.3 ± 0.17 , à SD) en 2007.

Les données obtenues sont comparables à celles relevées dans d'autres secteurs de Méditerranée pour des profondeurs similaires : Corse (BOUDOURESQUE *et al.*, 1984), Port-Cros (PERGENT, 1987), golf de Giens (CHARBONNEL *et al.*, 1995).

Par ailleurs, les valeurs extrêmes (maximum et minimum) obtenues peuvent être liées à différents facteurs endogènes (état physiologique ou situation morphogénétique des rhizomes), ou exogènes (conditions climatiques) (PERGENT *et al.*, 1982). Ainsi, la production foliaire importante enregistrée au niveau de la station AG pourrait être en rapport avec le fort hydrodynamisme qui caractérise ce site. Cette hypothèse serait confirmée par les travaux de PERGENT (1987) et RICO-RAIMONDINO (1995). Concernant la faible productivité foliaire enregistrée à SD, elle peut être liée soit à une forte turbidité des eaux (PERGENT, 1987 ; SEMROUD, 1993 ; PERGENT-MARTINI, 1994) soit à une oligotrophie du site (RICO et PERGENT, 1990 ; PERGENT-MARTINI, 1994). En outre, au niveau de cette station, on note une diminution du nombre d'écailles par cycle depuis l'année 2005, ceci pourrait être mis en relation avec la mise en service de la station de dessalement la même année (LATORRE, 2005 ; SANCHEZ-LIZASO *et al.*, 2008 ; ROBERTS *et al.*, 2010).

Quant à la diminution du nombre d'écailles produites durant l'année 2007, enregistrée au niveau de la majorité des stations, elle pourrait être liée à la floraison de *Posidonia oceanica*, qui induit une diminution de la production de feuilles au niveau des rhizomes fleuris (GOBERT *et al.*, 2001 ; BALESTRI *et al.*, 2003). Toutefois, aucune floraison ancienne n'a été retrouvée. Par ailleurs, une hypothèse a été émise par MAYOT *et al.* (2005) pour expliquer cette faible productivité, en l'occurrence les fortes températures qui pourraient avoir un effet négatif sur *Posidonia oceanica*.

4.5.2. Croissance des rhizomes

La croissance annuelle moyenne des rhizomes est calculée sur les cinq dernières années – les années 2011 et 2010 sont retirées, car la croissance des rhizomes n'est pas terminée (BOUDOURESQUE *et al.*, 1984). Cette dernière présente des différences significatives entre les stations ($p < 0.05$, Anova). Le maximum est obtenu à Bsm (8.7 ± 2.9 mm/an) et le minimum à CH (4.5 ± 1.2 mm/an) (Figure 4.11). Le test de Tukey révèle un groupe de stations avec des croissances annuelles moyennes de rhizomes homogènes : [AB, LP]. La croissance annuelle moyenne varie en fonction de l'année au sein de l'ensemble des stations ($p < 0.05$, Anova). Pour une année donnée, la vitesse de croissance présente des différences significatives en fonction des stations ($p < 0.05$, Anova). L'année 2005 montre des vitesses de croissance maximales (10.8 ± 4.01 à Bsm mm/an) et l'année 2007 des valeurs minimales (3.9 ± 1 à SD mm/an).

La vitesse de croissance des rhizomes observée au sein des différentes stations correspond à ce qui est généralement enregistré pour ce paramètre en Méditerranée (CHARBONNEL *et al.*, 1995 ; RICO-RAIMONDINO, 1995).

Les variations de la vitesse de croissance des rhizomes peuvent être attribuées à des plusieurs facteurs endogènes. En effet, l'allongement des rhizomes augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'apex, les tronçons les plus âgés sont généralement les plus longs (CALMET *et al.*, 1986 ; PERGENT, 1987). Ces auteurs avancent l'hypothèse selon laquelle la vitesse de croissance serait liée à la distance (en nombre d'années) existant entre le tronçon de rhizome étudié et la zone d'insertion sur le rhizome plagiotrope parent. En outre, la vitesse de croissance est fortement corrélée à des facteurs exogènes tels l'hydrodynamisme et la sédimentation (PERGENT, 1987). En effet, toute réduction des apports sédimentaires entraîne un ralentissement de la croissance des rhizomes. Inversement, tout apport sédimentaire

important entraîne une accélération de la vitesse de croissance (CAYE, 1982; PERGENT-MARTINI, 1994 ; BOUMAZA, 1995).

Les valeurs extrêmes obtenues traduisent d'une manière générale la dynamique sédimentaire au niveau des stations. La faible croissance enregistrée au sein de la station CH pourrait s'expliquer par les faibles apports en sédiment (herbier installé sur roches métriques et rhizomes déchaussés). Ce déficit sédimentaire résulte probablement de l'extraction de sable de plage qui menace cette partie du littoral (PAC, 2005). Quant aux valeurs élevées enregistrées au niveau de la station Bms, elles ont déjà été observées en limite inférieure (BOUMAZA, comm.pers.). Par ailleurs, la corrélation entre le nombre de feuilles produites et la vitesse de croissance des rhizomes rapportée par PERGENT-MARTINI (1994) semble vérifiée pour certaines stations [AG, Bms, Tnc, AK, SD, Kh], particulièrement pour l'année 2007.

4.5.3. Production des rhizomes

La production moyenne de rhizomes varie significativement en fonction de l'année et de la station considérée ($p < 0.05$, Anova) (Figure 4.11). Le maximum est enregistré à Bsm (155.8 ± 73.1 mg Ps/rhizome/an) et le minimum à CH (60.6 ± 21.5 mg Ps/rhizome/an). La production de rhizomes présente une corrélation significative avec la vitesse de croissance des rhizomes ($r = 0.85$) dans l'ensemble des stations. PERGENT (1987), SEMROUD (1993) et BOUMAZA (1995) soulignent également cette corrélation. Un rhizome, dont la croissance est rapide, aura une production importante ; de la même façon un rhizome qui présente une croissance ralenti, aura une production moins importante.

Le maximum des productions de rhizomes est enregistré en 2009 (180.9 ± 99 mg Ps/rhizome/an à Bsm) et le minimum en 2007 (42.13 ± 22.86 mg Ps/rhizome/an à SD).

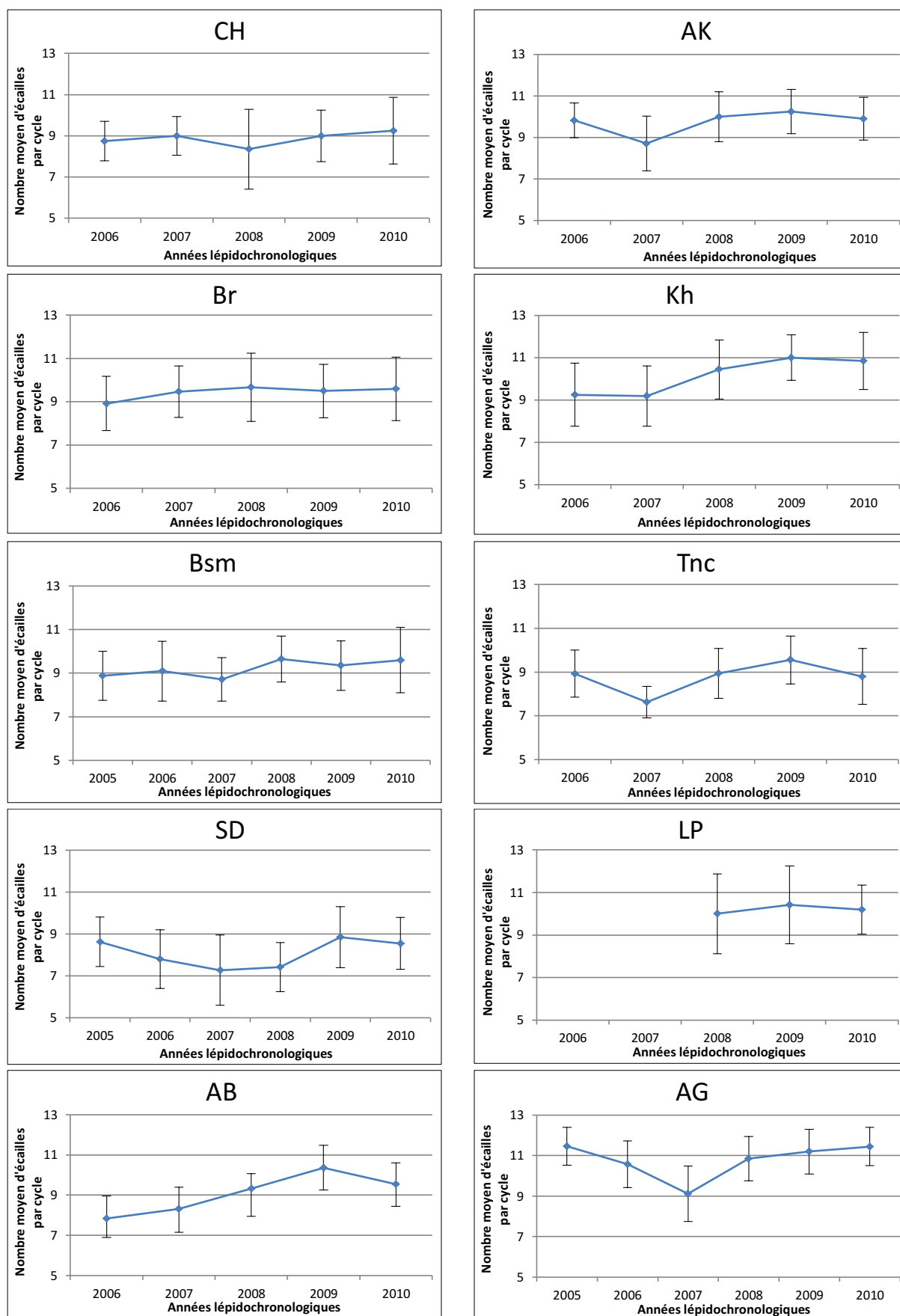


Figure 4.10. Evolution du nombre moyen d'écailles par cycle dans les stations étudiées.

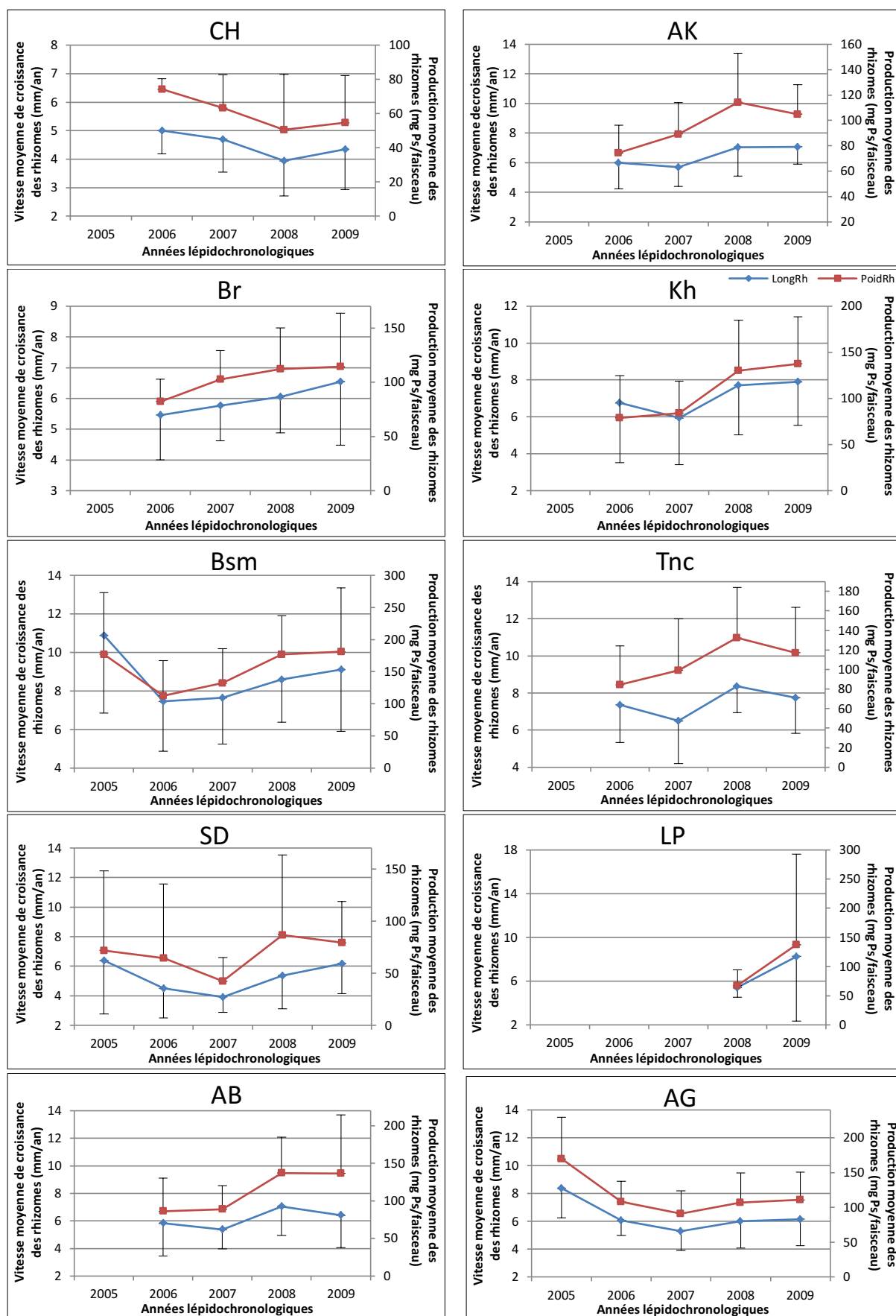


Figure 4. 11. Evolution de la vitesse moyenne de croissance et de la production moyenne des rhizomes au niveau des stations étudiées

◆ Vitesse de croissance des rhizomes
 ■ Production des rhizomes

Conclusion

5. Conclusion

Cette étude nous permis de caractériser les herbiers à *Posidonia oceanica* de la baie de Bou Ismail, à travers des descripteurs qui rendent compte de leur vitalité, à la fois au niveau de la structure de la population (densité), de la morphologie (biométrie foliaire) et de la communauté associée (indice épiphytique et broutage). Les herbiers sélectionnés sont situés au niveau de stations soumises à différentes pressions anthropiques : aménagements littoraux, infrastructures portuaires, station de dessalement, rejets urbains et industriels et compétition avec *Caulerpa cylindracea*. En outre, une station géographiquement éloignée située dans la baie de Zemmouri est prise en compte.

Il apparaît au vu des résultats obtenus que :

- (i) La proximité d'infrastructure portuaire, pourrait entraîner une diminution de la longueur des feuilles ainsi qu'une augmentation de l'indice épiphytique [LP].
- (ii) La compétition avec *caulerpa cylindracea*, pourrait entraîner une diminution de la densité de l'herbier [LP].
- (iii) Les rejets de saumures des stations de dessalement d'eau de mer, pourrait entraîner une diminution du nombre de feuilles [SD].

En outre, des facteurs locaux (e.g. pression de broutage des herbivores et/ou impact de l'hydrodynamisme, nature du substrat) sont à même d'expliquer la variabilité inter stations. En effet, la largeur des feuilles est importante dans l'herbier exposé à un hydrodynamisme intense [AG]. Quant au coefficient A des feuilles adultes, il est lié à la présence de populations importantes de brouteurs : *Paracentrotus lividus* [AB].

Par ailleurs, l'étude lépidochronologique, révèle que le maximum du nombre d'écailles produites par cycle est enregistré au niveau de l'herbier de la station [AG], caractérisé par un important hydrodynamisme. Tandis que le minimum est noté au sein de l'herbier situé à proximité de la station de dessalement [SD].

La confrontation de l'ensemble des descripteurs, a permis d'individualiser l'herbier à *Posidonia oceanica* de la station [LP]. En effet, cette station subit une forte pression anthropique engendrée par l'action couplée de l'aménagement côtier : port de pêche et de plaisance, aménagement récent d'une plage artificielle et rejets d'eaux usées de la commune d'Ain Benian. En outre, cette station est la plus exposée à la pollution drainée par l'oued de Beni Messous, qui constitue un collecteur de pas moins de 28 rejets issus de différentes

activités (agricoles, industrielles et urbaines) (IEWA-MATE, 2002 *in* PAC 2005). De plus la présence de *Caulerpa cylindracea* au niveau de cette station pourrait contribuer à la diminution de la vitalité de l'herbier, dans la mesure où cette espèce, à caractère invasif, entre en compétition avec *Posidonia oceanica* pour la lumière (BOUDOURESQUE et VERLAQUE, 2002).

Concernant les autres stations de la baie de Bou Ismaïl, et malgré les différentes pressions enregistrées sur son littoral, les herbiers étudiés présentent une bonne vitalité au regard des valeurs de surface foliaires enregistrées (paramètre synthétique de la plante), qui traduisent une bonne qualité écologique du milieu environnant. Ces résultats inattendus pourraient s'expliquer, d'une part par la morphologie de la baie qui est ouverte aux vagues et aux houles du large (PAC, 2005). Quant à son mode battu, il s'explique par la dominance de la période à vent d'ouest (LECLAIRE, 1972 ; ZEGHDOUDI, 2006), qui engendre des courants transportant les apports d'eaux usées et les substances nuisibles vers le large, diluant ainsi la pollution (PAC, 2005). Par ailleurs, *Posidonia oceanica* possède, d'une part, un turnover relativement lent : des feuilles avec une longévité de près de 12 mois (PERGENT *et al.*, 1991 ; BOUMAZA et SEMROUD, 2000), des rhizomes de plus de 30 ans (MARBA *et al.*, 1996) et des herbiers qui peuvent persister durant des millénaires (MATEO *et al.*, 1997) et d'autre part, cette espèce peut accumuler des composés de réserve au niveau des rhizomes (GOBERT *et al.*, 2006) qui lui permettent, durant des périodes relativement longues, de maintenir une phénologie stationnaire, malgré des changements environnementaux (ZUPO *et al.*, 1997).

Quant aux résultats enregistrés au niveau de l'herbier à *Posidonia oceanica* de la station [AG], située dans la baie de Zemmouri, ils sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus dans les herbiers de la baie de Bou Ismaïl. Seule, la largeur des feuilles présente un maximum au niveau de cette station, vraisemblablement liée au fort hydrodynamisme qui caractérise cette zone. Rappelons par ailleurs, que SEMROUD (1993) a mis en évidence une population dite à « feuilles larges » dans la station de La Marsa, située à proximité de la station [AG]. En outre, l'hydrodynamisme qui caractérise la station, est confirmé par un maximum de nombre moyen d'écaillés produites par cycle, comparativement au reste des stations. Un rythme de formation des feuilles accéléré est induit généralement par un rythme de chute des feuilles plus important (PERGENT et PERGENT, 1985).

En conclusion, il apparaît que les descripteurs de *Posidonia oceanica*, les plus pertinents à mettre en œuvre dans le cadre de la mise en œuvre d'un indice biotique sont : la longueur des feuilles, l'indice épiphytique et la densité, car ils traduisent une perturbation au sein de l'herbier et plus globalement de la qualité du milieu. Ces observations sont similaires à celles faites par LEONI (2005). En outre, une caractérisation de la limite inférieure constitue également un descripteur fondamental pour apprécier l'état général du milieu. L'identification d'un déséquilibre, permettra d'entreprendre des actions curatives en amont du processus de dégradation.

Par ailleurs, cette étude nous a permis de faire les premières signalisations de l'algue introduite *Caulerpa cylindracea*, au niveau des stations [LP, AB, AK (limite inférieure)]. Elles constitueront un état zéro pour les études de l'impact de cette chlorobionte sur les herbiers à *Posidonia oceanica*. A ce titre, il serait judicieux de proposer l'instauration d'un réseau d'observation et de suivi des zones colonisées et de procéder aux démarches d'information et de sensibilisation des usagers de la mer, afin de minimiser et/ou de ralentir l'expansion de cette espèce introduite.

En perspectives, il serait intéressant de :

- Définir les limites inférieures et supérieures des herbiers.
- Elargir les réseaux de surveillances.
- Etudier certains paramètres abiotiques (N, P) caractérisant la plante et son milieu.
- Faire des suivies courantologiques et hydrodynamique, afin d'expliquer le phénomène de l'exportation de la pollution au large.
- Etudier l'impact des perturbations du milieu sur la biodiversité épiphytique.
- Instaurer un réseau de surveillance et de suivi des zones colonisées par l'algue introduite *Caulerpa cylindracea*.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ALCOVERRO T., DUARTE C.M., ROMERO J., 1997.** The influence of herbivores on *Posidonia oceanica* epiphytes. *Aquat. Bot.*, 56(2): 93-104.
- ALCOVERRO T., CERBIAN E., BALLESTEROS E., 2001.** The photosynthetic capacity of the seagrass *Posidonia oceanica*: influence of nitrogen and light. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 261: 107-120.
- ARDIZZONE G.D., PELUSI P., 1984.** Yield and damage evaluation of bottom trawling on *Posidonia* meadows. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 63-72.
- ASTIER J.M., 1984.** Impacts 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., Olivier J., edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1: 255-259.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1977.** Utilisation de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* (L.) Delile pour mesurer le degré de contamination mercurielle des eaux littorales méditerranéennes. *C.r. Acad. Sci., Paris.*, 285 : 1557-1560
- AUGIER H., MANCHE A., JENSEN N., PIPIEN M., 2000.** Le Groupement d'Intérêt Public, un tremplin pour le Parc national des Calanques ? Le milieu associatif répond. *Actes du colloque du 29 janvier 2000.* Page : 1-63.
- AUGIER H., MAUDINAS B., 1977.** Variations de la croissance et de la teneur en pigments de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* dans le parc national de Port-Cros en fonction de la profondeur et du degré de 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, Fr.*, 3 : 39-56
- AUGIER H., BOUDOURESQUE C. F., 1979.** Premières observations sur l'herbier de posidonies et le détritique côtier de l'île du levant c méditerranée, France), à l'aide du sous-marin GRIFFON de la marine nationale. *Trav. sci. Parc nation. Port-Cros., Tome 5 : 141-153.*
- AUGIER H., CRISTIANI G., 1984.** Indice foliaire et biomasse de l'herbier de Posidonie de la zone de Carry Sausset (Côte Bleue, Bouches-du Rhône, France). *International Workshop Posidonia oceanica Beds* Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A. et Olivier J. Edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1: 245-254.
- AUGIER H., 1985.** L'herbier à *Posidonia oceanica*, son importance pour le littoral méditerranéen, sa valeur comme indicateur biologique de l'état de santé de la mer, son utilisation dans la surveillance du milieu, les bilans écologiques et les études d'impact. *Vie marine*, 7 : 85-113.
- BACHOUCHE S., BELKESSA R., HOUMA BACHARI F., AMROUCHE L. 2010.** Aménagement des ports de pêche de Khemisti. *Congrès International : Gestion systémique des ressources halieutiques, GSRH-2010.*, ENSSMAL., Alger., 1-79.
- BALESTRI E., CINELLI F., LARDICCI C., 2003.** Spatial variation in *Posidonia oceanica* structural, morphological and dynamic features in a northwestern Mediterranean coastal area: a multi-scale analysis. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 250: 51-60.
- BALLESTA L., PASQUALINI V., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 2000.** Distribution and dynamics of *Posidonia oceanica* beds along the Albères coastline. *C.R. Acad. Sci., Life Sci.*, 323: 407-414.
- BAY D., 1978.** Etude "in situ" de la production primaire d'un herbier de Posidonie (*Posidonia oceanica* (L.) Delile) de la baie de Calvi, Corse. *Progr. Rép. Stn. Océanogr. Stareso*, Univ. Liège. Belg., 18 : 1-251 + 6p non num.

Références bibliographiques

- BEGHOURA A., 2009.** Attractivité et fragilité : Pourquoi il faut protéger le littoral ?. Atelier 2 : Espaces sensibles et enjeux du développement durable des territoires. *Commissariat National du Littoral., Alger., 1-36.*
- 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.*
- BENGRINE L., GUELMAMI A., 2007.** *Mise en place d'un Système de surveillance de l'herbier à Posidonia oceanica (L) Delile de Bou Ismail.* Mémoire d'ingénieur en science de la Mer ; option environnement marin, ISMAL, Alger.
- BLANC J.J., JEUDY DE GRISSAC A., 1989.** Réflexion géologique sur la régression des herbiers à Posidonies (département du Var et des Bouches-du-Rhône). *International Workshop on Posidonia Beds, Boudouresque C.F, Meinesz A, Fresi E, & Gravez V., edit., GIS Posidonia publ., fr., 1989,2: 273-285.*
- BLANDIN, P., 1986.** Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. *Bull. Ecol. 17 (4), 211-307.*
- BOROWSKITZKA M.A., LAVERY P.S., VAN KEULEN M., 2006.** Epiphytes of seagrasses. In Larkum A.W.D. Orth r.j., Duarte C.M. (eds), *Seagrasses : Biology, Ecology and Conservation. Springer, Dordrecht : 441-461.*
- BOUDOURESQUE, C.F., MEINESZ, A., 1982.** Découverte de l'herbier de Posidonie. *Cahiers du Parc national de Port-Cros., 4 : 1-79.*
- BOUDOURESQUE C. F., JEUDY DE GRISSAC A., 1983.** L'herbier à *Posidonia oceanica* en méditerranée : les interactions entre la plante et le sédiment. *J. Rech. Océanogr., 8 (2-3): 99-122.*
- BOUDOURESQUE CF, JEUDY DE GRISSAC A, MEINESZ A, 1984.** Relation entre la sédimentation et l'allongement des rhizomes orthotropes de *Posidonia oceanica* dans la baie d'Elbu (Corse). *International Workshop on Posidonia oceanica Beds (Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A. and Olivier J.). edit GIS Posidonie Publ : Fr., 1: 185-191.*
- BOUDOURESQUE C.F., EERTRANDY M.C., DESJARDINS, FIFIS J.C., FORET D., LEFEVRE J.R., MEINESZ A., NIERI M., PATRONE J., PERGENT G., GRAVEZ V., 1987.** Mise en place de systèmes de surveillance des herbiers a *Posidonia oceanica* le long du littoral méditerranéen français. *Symposium international de Marseille, Fc : 1-20.*
- BOUDOURESQUE CF., PERGENT G., PERCENT-MARTINI C., 1989.** Modèle prédictif de la production primaire de *Posidonia oceanica* basé sur la méthode lépidochonologique. Rapport d'activité. A functional approach to the *Posidonia oceanica* Ecosystem of the Mediterranean. *Lab. Biol. Mar. licol. Benthos, pub., Marseille: 5-16.*
- BOUDOURESQUE C. F., MEINESZ A., LEDOYER M., VITIELLO P., 1994.** Les herbiers à phanérogames marines. in : Bellan-Santini, D, J-C. Lacaze et C. Pozat, 1994 (Eds). Les Biocénoses marines et littorales de Méditerranée, Synthèse, Menaces et Perspectives. *Collection Patrimoines naturels., Vol.19., Série Patrimoine Ecologiques., Museum National d'Histoire Naturelle., Paris., 98-118.*
- BOUDOURESQUE C.F., VERLAQUE M, 2002.** Biological pollution in the Mediterranean Sea: invasive versus introduced macrophytes. *Marine Pollution Bulletin., 44: 32-38.*
- BOUDOURESQUE, C.F., BERNARD, G., BONHOMME, P., CHARBONNEL, E., DIVIACCO, G., MEINESZ, A., PERGENT, G., PERGENT-MARTINI, C., RUITTON, S., TUNESI, L., 2006.** Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. Edit., RAMOGE pub., France., 204p.
- BOUDOURESQUE C.F., 2010a.** Structure et fonctionnement des écosystèmes benthiques marins. 3. L'écosystème à *Posidonia oceanica*. (www.com.univ-mrs.fr/~boudouresque)

Références bibliographiques

- BOUDOURESQUE C.F., 2010b.** La Méditerranée est un hotspot de diversité spécifique pour des écosystèmes originaux. *in* Les Actes du Colloque. Les parcs naturels et l'Union pour la Méditerranée. p : 25-26.
- BOUDOURESQUE C.F., 2010c.** Fluctuations et perturbations, naturelles et anthropiques, des écosystèmes marins. 7. Perturbation des grands types d'écosystèmes. (www.com.univ-mrs.fr/~boudouresque).
- BOUMAZA S., 1995.** *Pénologie, biomasse, lépidochronologie et production primaire de l'herbier à Posidonia oceanica (L.) Delile de l'anse de Kouâli, Tipaza (Algérie).* Thèse de Magister en océanologie, ISMAL, Alger : 1-125 + annexes.
- BOUMAZA S., SEMROUD R., 2000.** Evaluation of past and present primary production in *Posidonia oceanica* beds from the cove of Kouâli (Tipaza, Algeria) using the lepidochronological method. *Biol. Mar., Médit.*, 7 (2): 26-30.
- BUIA M.C., CORMACI M., FURNARI G., MAZZELLA L., 1985.** Osservazione sulla struttura delle praterie di *Posidonia oceanica* (L.) Delile di Capo Passero (Siracusa) e studio della macroflora epifita delle foglie. *Boll. Accad. Gioenia Sci. Nat. Catania*, Ital., 463-484.
- BUIA M.C., ZUPO V., MAZZELLA L., 1992.** Primary production and growth dynamics in *Posidonia oceanica*. *Mar Ecol Germ.*, 13 (1) : 2-16.
- BURKHOLDER J.M., TOMASKO D.A., TOUCHETTE B.W., 2007.** Seagrasses and eutrophication. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 350 : 46-72.
- CALMET D., LEFÈVRE J.R., MEINESZ A., 1986.** Evolution chimique des rhizomes de *Posidonia oceanica* en fonction de leur âge. *Trav. sci. Parc nat. rég. Rés. nat., Corse*, Fr., 2: 15-19.
- CALMET D., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., 1988.** Memorization of nuclear atmospheric tests by rhizomes and scales of the mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Aquat. Bot.*, 30(4): 279-294.
- CAMPANELLA L., CONTI M.E., CUBADDA F., SUCAPANE C., 2001.** Trace metals in seagrass, algae and molluscs from an uncontaminated area in the Mediterranean. *Environ. Pollut.*, 111 : 117-126.
- CANCEMI G., DE FALCO G., PERGENT G., 2003.** Effects of organic matter input from a fish farming facility on a *Posidonia oceanica* meadow. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 56: 961-969.
- CARIELLO L., ZANETTI L., 1979.** Distribution of chicoric acid during leaf development of *Posidonia oceanica*. *Bot. Mar.*, XXII: 359-360
- CAYE G., 1982.** Etude sur la croissance de la Posidonie, *Posidonia oceanica* (L.) Delile, formation des feuilles et croissances des tiges au cours d'une année. *Thétys*, Fr., 10 (3) : 229-235.
- CAYE G., 1989a.** Mise en évidence d'un polymorphisme sur les jeunes plants de *Posidonia oceanica*. *International workshop on Posidonia oceanica Beds*. Boudouresque C.F., Meinesz A., Fresi E. et Gravez V. Edit., GIS Posidonie publ., Fr., 2 : 77-84.
- CAYE G., 1989b.** *Sur la morphogenèse, le cycle végétatif et la reproduction de deux phanérogames: Posidonia oceanica (Linnaeus) Delile et Cyonodocea nodosa (Ucria) Ascherson.* Thèse d'habilitation à diriger des recherches, Univ. Nice, Fr., 1-229.
- CHARBONNEL E., BOUDOURESQUE C.F., BERTRANDY M.C., FORET P., MEINESZ A., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RICO-RAIMONDINO V., VITIELLO P., 1983 :** Le Réseau de Surveillance Posidonies en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur (Méditerranée, France) : premiers résultats.

Références bibliographiques

- CHARBONNEL E., BOUDOURESQUE C. F., 2003.** Les 20 ans d'expérience du réseau de surveillance posidonies. (Le courrier de la nature n° 206 - mai-juin 2003).
- CHARBONNEL E., GRAEZ V., ABELLARD O., BOUDOURESQUE C. F., REMONNAY L., 1995.** Surveillance de l'herbier à *Posidonia oceanica* du golfe de Giens (Var-France). Second suivi. Contrat Syndicat Intercommunal Hyères-Carqueiranne pour l'assainissement de la baie de Giens & GIS Posidonie, *GIS Posidonie publ* : 1-106 + 8 p Ann.
- CRISTIANI G., 1980.** *Biomasse et répartition de l'herbier de Posidonia oceanica de la Côte Bleue (B-d- Rh. France) et pollution marine par les métaux lourds.* Thèse 3ème Cycle, Univ. Aix-Marseille III. Fr., 1-150 +I-IX,+ 1 carte h.t.
- CROUZET A., 1981.** Mise en évidence de variations cycliques dans les écailles de *Posidonia oceanica* (Potamogetonaceae). *Trav. sci. Parc nation. Port-Cros*, Fr. 7: 129-135.
- DALLA VIA J., STURMBAUER C., SCHÖNWEGER G., SÖTZ E., MATHEKOWITSCH S., STIFTER M., REIGER R., 1998.** Light gradients and meadow structure in *Posidonia oceanica*: ecomorphological and functional correlates. *Mar. Ecol. Progr. Series.*, 163: 267-278.
- DE VILLELE X, VERLAQUE M., 1995.** Changes and degradation in a *Posidonia oceanica* bed invaded by the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia* in the north western Mediterranean. *Bot Mar.*, 38 : 79–87.
- DEN HARTOG C., 1970.** The sea-grasses of the world. North Holland publ. Co, Amsterdam, Pays-Bas: 1-275 + 63 pl. h.t.
- DREW E.A., 1971.** Botany. Underwater science. An introduction to experiments by divers. *Woods & Lithogoe Edit.*, London: 1-59.
- DUARTE C.M., 1991.** Allometric scaling of seagrass form and productivity. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 77: 289-300.
- ELKALAY K., FRANGOULIS C., SKLIRIS N., GOFFART A., GOBERT S., LEPOINT G., HECQ J.H., 2003.** A model of seasonal dynamics of biomass and production of the seagrass *Posidonia oceanica* in the Bay of Calvi (Northwestern Mediterranean). *Ecol. Model.*, 167: 1-18.
- FERNÁNDEZ-TORQUEMADA Y., SÁNCHEZ-LIZASO J.L., 2005.** Effects of salinity on leaf growth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.*, 320 : 57- 63.
- FERNÁNDEZ-TORQUEMADA Y., GONZÁLEZ-CORREA J.M., MARTÍNEZ J.E., SÁNCHEZ-LIZASO J.L., 2005.** Evaluation of the effects produced by the construction and expansion of marinas on *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows. *Journal of Coastal Research.*, SI 49 (Proceedings of the 2nd Meeting in Marine Sciences), 94 – 99.
- FERNANDEZ TORQUEMADA Y., DIAZ VALDES M., LUNA B., COLILLA F., LUNA B., SANCHEZ LIZASO J.L., RAMOS A.A., 2008.** Descriptors from *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows in coastal waters of Valencia, Spain, in the context of the EU Water Framework Directive. *ICES Journal of Marine Science.*, 65 : 1492–1497.
- GANTEAUME A., BONHOMME P., BERNARD G., POULAIN M., BOUDOURESQUE C. F., 2005.** Impact de l'ancrage des bateaux de plaisance sur la prairie à *Posidonia oceanica* dans le Parc national de Port-Cros (Méditerranée nord-occidentale). *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park.*, Fr., 21 : 147- 162.

Références bibliographiques

- GIRAUD G., 1977a.** Recensement des floraisons de *Posidonia oceanica* (L.) Delile en Méditerranée. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, Monaco., 24 (4) : 126-130.
- GIRAUD G., 1977b.** Essai de classement des herbiers de *Posidonia oceanica* (Linné) Delile. *Bot. Mar.*, 20(8): 487-491.
- GIRAUD G., 1977c.** *Contribution à la description et à la phénologie des herbiers de Posidonia oceanica (L.) Delile.* Thèse Doct. Spécialité, Univ. Aix-Marseille II., Fr., 1-150.
- GIRAUD G., 1979.** Sur une méthode de mesure et de comptage des structures foliaires de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Bull. Mus. Hist. Nat.*, Marseille, Fr., 39: 33-39.
- GOBERT S., DEFAWE O., LEPOINT G., DEMOULIN V., JM BOUQUEGNEAU., 2001.** Anthesis effects on *Posidonia oceanica* (L.) Delile phenology in the Bay of Calvi (Corsica, Mediterranean Sea). *Hydrobiologia.*, 455: 121-125.
- GOBERT S., 2002.** *Variations spatiale et temporelle de l'herbier à Posidonia oceanica (L.)Delile.* Thèse Doctorat Université de Liège., 1-207.
- GOBERT S., CAMBRIDGE M.L., VELIMIROV B., PERGENT G., LEPOINT G., BOUQUEGNEAU J.M., DAUBY P., PERGENT-MARTINI C., WALKER D.I., 2006.** Biology of *Posidonia*. Seagrasses : Biology, Ecology and conservation (eds.): 387-408.
- GOBERT S., SARTORETTO S., RICO-RAIMONDINO V., ANDRAL B., CHERY A., LEJEUNE P., BOISSERY P., 2009.** Assessment of the ecological status of Mediterranean French coastal waters as required by the Water Framework Directive using the *Posidonia oceanica* Rapid Easy Index (PREI). *Mar. Pollut. Bull.*, 58 : 1727–1733.
- HAMOUL N., MOKEDDEM Z., 2002.** *Contribution à l'étude de de la variation des teneurs en phénol totaux chez la phanérogame marine Posidonia oceanica (L.) Delile.* Mémoire DEUA. Benthos. ISMAL, Alger: 50p.
- HELMUT P., 1983.** Depth-adaptation in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Premier séminaire international sur les herbiers à Posidonia oceanica.*, Porquerolles., octobre 1983.
- IFREMER., ARPAL., ENEA., GIS POSIDONIE., OSSERVATORIO LIGURE PESCA AMBIENTE., BMC STUDIO., CLABAUT P., 2007.** - Interreg IIIb *Posidonia* - mise en cohérence, développement, harmonisation et validation de méthodes d'évaluation de la qualité du milieu littoral par le suivi de l'herbier de *Posidonia oceanica*. Rapport final d'activité du groupe de travail « cartographie », 69 p.+ ann.
- JEUDY DE GRISSAC A., 1984.** Effets des herbiers à *Posidonia oceanica* sur la dynamique marine et la sédimentologie littorale. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 437-443.
- LAFABRIE C., 2007.** *Utilisation de Posidonia oceanica (L.) Delile comme bio-indicateur de la contamination métallique.* Thèse doct. Unvi. Di Corsica Pasquale Paoli, 1-158.
- LATORRE M., 2005.** Environmental impact of brine disposal on *Posidonia oceanica*. *Desalination*, 182: 517-524.
- LECLAIRE L., 1972.** La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (Pré-continent Algérien). *Mémoire Museum histoire Naturelle.*, Paris., Série C., Tome 24 : 391p.
- LEONI V., 2005.** *Utilisation de Posidonia oceanica (L.) Delile dans le cadre de la surveillance du littoral : Bilan des descripteurs – Réponses face à un enrichissement en nutriments (N & P).* Thèse Doct. Univ. Corse., 1-163.

Références bibliographiques

- LEONI V., PASQUALINI V., PERGENT-MARTINI C., VELA A., PERGENT G., 2006.** Morphological responses of *Posidonia oceanica* to experimental nutrient enrichment of the canopy water. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.*, 339: 1–14.
- LIBES M., PLANTE-CUNY M.R., BOUDOURESQUE C.F., 1988.** Relation entre la productivité et l'éclairement chez *Posidonia oceanica* : données préliminaires. in Colloque VALVA. DELEPINE R., GAILLARD J., MORAND Ph., *édit. BREST, IFREMER - PARIS, CNRS.*, 350 p. *Com. Aff.*, 44 : 185-187.
- LOPEZ Y ROYO C., 2008.** *Utilisation de Posidonia oceanica comme outil de gestion dans le cadre de l'évaluation du bon état écologique du milieu littoral.* Thèse Doctorat «Ecologie marine », Université de Corse., 1-242.
- MAGGI P., GREUT Y., LASSUS P., 1977.** Influence de la pollution urbaine sur la vitalité des herbiers à Posidonies dans le golf de Giens. *Sci. Pêche marit.*, Fr., 269 : 5-13.
- MARBA N., DUARTE C.M., CEBRIAN J., GALLEGOS M.E., OLESEN B., SAND-JENSEN K., 1996.** Growth and population dynamics of *Posidonia oceanica* on the Spanish Mediterranean coast: elucidating seagrass decline. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 137: 203-213.
- MARÍN-GUIRAO L., SANDOVAL-GIL J.M., RUÍZ J.M., SÁNCHEZ-LIZASO J.L., 2011.** Photosynthesis, growth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* in response to simulated salinity increases in a laboratory mesocosm system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.*, 92 : 286-296.
- MATEO M.A., ROMERO J., PEREZ M., LITTLER M.M., LITTLER D.S., 1997.** Dynamics of millenary organic deposits resulting from the growth of the Mediterranean Seagrass *Posidonia oceanica*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.*, 44 (1): 103-110.
- MAYOT N., BOUDOURESQUE C.F., LERICHE, 2005.** Unexpected response of the seagrass *Posidonia oceanica* to a warm Water episode in the Northwestern Mediterranean Sea. *C.R. Biologies.*, 328: 291-296.
- MAZZELLA L., GAMBI M.C., RUSSO G.F., BUIA M.C., 1984.** Deep flowering and fruiting of *Posidonia oceanica* Beds around the island of Ischia (Gulf of Naples, Italy). *Frist International Workshop on Posidonia oceanica Beds*, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A. et Olivier J. edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1: 203-209.
- MAZZELLA L., OTT J., 1984.** Seasonal changes in some features of *Posidonia oceanica* (L.) Delile leaves and epiphytes at different depths. *International Workshop on Posidonia oceanica Beds*, Boudouresque C. F., Jeudy de Grissac A. & Olivier J. edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 119-127.
- MAZZELLA L., SCIPIONE M. B., BUIA M. C., 1989.** Spatio-Temporal distribution of algal and animal communities in a *Posidonia oceanica* meadow. *Marine Ecology.*, P S Z N I., 10 (2): 107-129.
- MEINESZ A., LAURENT R., 1978.** Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-maritimes (France) - compagne Poséïdon 1976- *Botanica marina.*, vol XXI., pp : 513-526.
- MEINESZ A., LEFEVRE J.R., 1978.** Destruction de l'étage infralittoral des Alpes-Maritimes (France) et de Monaco par les restructurations du rivage. *Bull Ecol.*, 9 (3) : 259-276.
- MEINESZ A., BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., LAMARE J.P., LEFEVRE J.R., MANCHE A., 1985.** Aménagement et préservation du milieu marin littoral en région Provence-Alps-Côte d'Azur : bilan et perspectives. *Coll. fr-jap. OcéanogrMarseille.*, 1: 133-142.
- MOLENAAR H., MEINESZ A., THIBAUT Th., 2009.** Alterations of the structure of *Posidonia oceanica* beds due to the introduced alga *Caulerpa taxifolia*. Barcelona, Spain, *Scientia Marina.*, 73(2) : 329-335.

Références bibliographiques

- MOLINIER R., PICARD J., 1952.** Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Ann. Inst. Océanogr.*, Paris., 27: 157-234.
- NEDELEC H., 1982.** *Ethologie alimentaire de Paracentrotus lividus dans la baie de Galéria (Corse) et son impact sur les peuplements phytobenthiques.* Thèse Doct. 3^{ème} cycle. océanogr. Biol., Univ. Paris 6, Fr., 1-175.
- PAC., 2005.** Protection des sites sensibles naturels marins du secteur Cap Djinet au Mont Chenoua – BILAN and DIAGNOSTIC – Programme d'Aménagement Côtier (PAC) « Zone Côtière Algéroise ». PAP-PAC. ALG/DS/04-04.
- PANAYOTIDIS P., BOUDOURESQUE C.F., MARCOT-COQUEUGNIOT J., 1981.** Microstructure de l'herbier à *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Bot. mar.*, 24(3): 115-124.
- PASQUALINI V., PERGENT-MARTINI C., CLABAUT P., PERGENT G., 1998.** Mapping of *Posidonia oceanica* using aerial photographs and side-scan sonar: Application of the island of Corsica (France). *Estuar. Coast. Shelf S.*, 47 : 359-367.
- PEIRANO A., NICCOLAI I., MAURO R., BIANCHI C.N., 2001.** Seasonal grazing and food preference of herbivores in a *Posidonia oceanica* meadow. *Sci. Mar.*, 65: 367–374.
- PELLEGRINI L., PELLEGRINI L., 1993.** Ultrastructural differentiation of the tanniniferous cells in the marine phanerogam *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Bot. Mar.*, 36: 179-187.
- PÉRÈS J-M., 1977.** Utilité et importance de l'herbier de Posidonies en Méditerranée, *Bull. Off. natn. Pêch., Tunisie.*, 1 (1) : 3-8.
- PERCENT G., BOUDOURESQUE C.F., CROUZET A., 1982.** Mise en évidence de variations cycliques dans les écaillés de *Posidonia oceanica*. Lab. Ecol. Benthos. Fac. Sci. Marseille-Luminy et Parc national Port-Cros edit., Fr., 1-193.
- PERGENT G., PERGENT C., 1985.** Cartographie de l'herbier à *Posidonia oceanica* de la baie d'Urla-Iskele (Turquie). *Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.*, 29(6): 231-234.
- PERGENT G., 1987.** *Recherche lipidochronologiques chez Posidonia oceanica (Potamogetonaceae). Fluctuations des paramètres anatomiques et morphologiques des écaillés des rhizomes.* Thèse doct. Océanol., Univ. Axe-Marseille, II : 1-853.
- PERGENT G., 1988.** Variabilité de l'abondance des cellules à tanin dans les écaillés de *Posidonia oceanica*. *Rapp. P. V. Réun. Commiss. Internation. Explor. Sci. Médit.*, Monaco., 31 (2) B-19 : 7-7.
- PERGENT G., PERGENT C., FRANCOUR P., 1988.** Cortiou état zéro. Reconnaissance des herbiers, mise en place d'un balisage. Ville de Marseille & GIS Posidonie publ., Fr.: 1-107.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 1988.** Phénologie de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile dans le bassin méditerranéen. *Ann. Inst. océanogr.*, 61 (2) : 79-190.
- PERGENT G., BOUDOURESQUE C. F., CROUZET A., MEINESZ A., 1989.** Cyclic Changes along *Posidonia oceanica* Rhizomes (Lepidochronology): Present State and Perspectives. *Marine Ecology.*, 10 (3): 221-230. Paul Parcy Scientific Publishers, Berlin and Hamburg ISSN 0173-9565.
- PERGENT G., 1990.** Lepidochronological analysis of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile: a standardized approach., *Aquat. Bot.*, 37: 39-54.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 1990.** Some applications of lepidochronological analysis in the seagrass *Posidonia oceanica*. *Botanica marina.*, 33 : 299-310.

Références bibliographiques

- PERGENT G., 1991.** Les indicateurs écologiques de la qualité du milieu marin en Méditerranée. L.B.M.E.B., *Faculté des sciences de Luminy.*, 13288 Marseille Cedex9.
- PERGENT G., BOUDOURESQUE C.F., THÉLIN I., MARCHADOUR M., PERGENT-MARTINI C., 1991.** Map of benthic vegetation and seabottom types in the harbour at Banyuls-sur-Mer (P.-O., France). *Vie Milieu.*, 41(2-3): 165-168.
- 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. Prog. Ser.*, 106: 139-146.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., BOUDOURESQUE C.F., 1995.** Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée : état des connaissances. *Mésogée*, Fr., 54: 3-27.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 1999.** Mercury levels and fluxes in *Posidonia oceanica* meadows. *Environ. Poll.*, 106: 33-37.
- PERGENT G., LEONARDINI R., LOPEZ Y ROYO C., MIMAUT B., PERGENT-MARTINI C., 2008.** Mise en œuvre d'un Réseau de Surveillance Posidonies le long du littoral de la Corse – Rapport de synthèse. Contrat Office de l'Environnement de la Corse et GIS Posidonie Centre de Corse, GIS Posidonie Publ., Corte : 1 - 273.
- PERGENT G., LABBE C., LAFABRIE C., KANTIN R., PERGENT-MARTINI C., 2011.** Organic and inorganic human-induced contamination of *Posidonia oceanica* meadows. *Ecological Engineering.*, 37. P : 999–1002.
- PERGENT-MARTINI C., 1994.** *Impact d'un rejet d'eaux usées urbaines sur l'herbier à Posidonia oceanica, avant et après la mise en service d'une station d'épuration.* Thèse Doct., Univ. Corse, France., 1-208.
- PERGENT-MARTINI C., GUERRINI P., 1995.** Concentration of mercury in marine phanerogam *Posidonia oceanica*. Preliminary results. *Rapp. Comm. Int. Mer. Médit.*, 34: 143-143.
- 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). *EARSL Advances in Remote Sensing.*, 4(1): 128-134.
- PERGENT-MARTINI C., 1998.** *Posidonia oceanica*: a Biological Indicator of Past and Present Mercury Contamination in the Mediterranean Sea. *Marine Environmental Research.*, 45 (2): 101-111.
- PERGENT-MARTINI C., PERGENT G., FERNANDEZ C., FERRAT L., 1999.** Value and use of *Posidonia oceanica* as a biological indicator. In: *Land-ocean interactions: managing coastal ecosystems*. Proc. MEDCOAST 99 - EMECS 99 Joint Conference. MEDCOAST, Middle East Technical Univ. Publ, Turkey., 1: 73-90.
- PERGENT-MARTINI C., 2000.** Protection des habitats d'herbiers de Phanérogames marines de Méditerranée. *Les études d'impacts en milieu marin*. CAR/ASP Tunis & EqEL publ., 1-49 + Ann.
- PERGENT-MARTINI C., PASQUALINI V., PERGENT G., 2000.** Impact de la station d'épuration de la ville de Marseille sur l'herbier à *Posidonia oceanica* du secteur de Cortiou. Contrat Ville de Marseille & GIS Posidonie, GIS Posidonie publ., Fr.: 1-36.
- PERGENT-MARTINI C., LEONI V., PASQUALINI V., ARDIZZONE G.D., BALESTRI E., BEDINI R., BELLUSCIO A., BELSHER T., BORG J., BOUDOURESQUE C.F., BOUMAZA S., BOUQUEGNEAU J.M., BUIA M.C., CALVO S., CEBRIAN J., CHARBONNEL E., CINELLI F., COSSU A., DI MAIDA G., DURAL B., FRANCOUR P., GOBERT S., LEPOINT G., MEINESZ A.,**

Références bibliographiques

- MOLENAAR H., MANSOUR H.M., PANAYOTIDIS P., PEIRANO A., PERGENT G., PIAZZI L., PIRROTTA M., RELINI G., ROMERO J., SANCHEZ-LIZASO J.L., SEMROUD R., SHEMBRI P., SHILI A., TOMASELLO A., VELIMIROV B., 2005.** Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: Use and application. *Ecological Indicators.*, 5: 213–230.
- PERGENT-MARTINI C., 2006.** Elément de qualité biologique : Posidonie Compte-rendu de l'exercice d'intercalibration. Contrat Ifremer / Université de Corse - EqEL, Corte : 1-27.
- PERGENT-MARTINI C., BOUDOURESQUE C.F., PASQUALINI V., PERGENT G., 2006.** Impact of fish farming facilities on *Posidonia oceanica* meadows: a review. *Marine Ecology.*, 310–319.
- PERGENT-MARTINI C., LE RAVALLEC C., 2007.** Lignes directrices pour les études d'impacts sur les herbiers marins. CAR/ASP., p: 1-39.
- PIAZZI L., BALATA D., CINELLI F., BENEDETTI-CECCHI L., 2004.** Patterns of spatial variability in epiphytes of *Posidonia oceanica* – differences between a disturbed and two reference locations. *Aquatic Botany.*, 79(4) : 345–356.
- PNUE, 1999.** Actes de l'atelier sur les espèces invasives en Méditerranée, Hérahkion, Crète, Grèce, 18-20 mars 1998. N°125 de la série des rapports techniques du PAM, PNUE, Athènes.
- PROCACCINI G., BUIA M.C., GAMBI M.C., PEREZ M., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., ROMERO J., 2003.** Seagrass status and extent along the Mediterranean coasts of Italy, France and Spain. In: Green E.P., Short F.T., Spalding M.D. edits. *World Atlas of Seagrass: Present status and future conservation.* University of California Press publ.
- RICO V., PERGENT G., 1990.** Evaluation de la production primaire de l'herbier à *Posidonia oceanica* de la baie de Porto Conte (Sardaigne) par le modèle lépidochronologique. *GIS Posidonie*, Marseille., Fr., 1-136.
- RICO-RAIMONDINO V., 1995.** Contribution à l'étude des stocks et flux d'éléments dans les herbiers à *Posidonia oceanica*. Thèse Doctorat Ecologie., Univ. Aix-Marseille II., Fr., 1-248.
- ROBERTS D.A., JOHNSTON E.L., KNOTT N.A., 2010.** Impacts of desalination plant discharges on the marine environment: A critical review of published studies. *water research.*, 44: 5117-5128.
- ROMERO J., MARTÍNEZ-CREGO B., ALCOVERRO T., PEREZ M., 2007.** A multivariate index based on the seagrass *Posidonia oceanica* (POMI) to assess ecological status of coastal waters under the Water Framework Directive (WFD). *Marine Pollution Bulletin.*, 55: 196–204.
- RUIZ J.M., 2000.** Respuesta de la Fanerógama marina *Posidonia oceanica* (L.) Delile a perturbaciones antrópicas. Mem. Doct. Biol., Univ. Murcia, Spain: 1-212.
- RUIZ J.M., PEREZ M., ROMERO J., 2001.** Effects of fish farm loadings on seagrass (*Posidonia oceanica*) distribution, growth and photosynthesis. *Mar. Poll. Bull.*, 42(9): 749-760.
- RUIZ J.M., ROMERO J., 2001.** Effects of *in situ* experimental shading on the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 215: 107-120.
- RUIZ J.M., ROMERO J., 2003.** Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Poll. Bull.*, 46: 1523-1533.
- SANCHEZ-LIZASO J.L., ROMERO J., RUIZ J., GACIA E., BUCETA J.L., INVERS O., FERNANDEZ TORQUEMADAA Y., MAS J., RUIZ-MATEO A., MANZANERA M., 2008.** Salinity tolerance of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: recommendations to minimize the impact of brine discharges from desalination plants. *Desalination* 221: 602–607.

Références bibliographiques

- SCARDI M., FRESI E., ARDIZZONE G.D., 1989.** Cartographic representation of sea-grass beds: application of a stochastic interpolation technique (Kriging). In: *Second International Workshop on Posidonia oceanica Beds*. Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. (Eds.) GIS Posidonie publ., Fr., 2: 19–27.
- SEMROUD R., 1993.** *Contribution à la connaissance de l'écosystème à Posidonia oceanica (L.) Delile dans la région d'Alger (Algérie) : étude de quelques compartiments*. Thèse de Doctorat. USTHB., Alger: 1-218.
- SILVESTRI C., 1993.** *Studio sinecologico sulla prateria di Posidonia oceanica (L.) Delile di Monterosso al mare (SP) : cartografia quali-quantitativa e dinamica stagionale*. Tesi, Univ. Roma, Ital., 1-97.
- SILVESTRE F., IACONE L., TIBERTI L., BUIA C.M., 2006.** *Posidonia oceanica* warehousing. *Biological Marine Mediterranean.*, 13 : 277-281.
- TERRADOS J., DUARTE C.M., 2000.** Experimental evidence of reduced particle resuspension within a sagrass (*Posidonia oceanica* L.) meadow. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 243: 45-53.
- TERRADOS J., MEDINA PONS F.J., 2008.** Epiphyte load on the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile does not indicate anthropogenic nutrient loading in Cabrera Archipelago National Park (Balearic Islands, Western Mediterranean). Barcelona, Spain. *Scientia Marina.*, 72(3): 503-510.
- TOMAS F., TURON X., ROMERO J., 2005.** Effects of herbivores on a *Posidonia oceanica* seagrass meadow: importance of epiphytes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 287: 115-125.
- VELA A., 2006.** *Fonctionnement et production primaire des herbiers à Posidonia oceanica (L.) Delile en Méditerranée occidentale*. Thèse Doctorat «Ecologie marine», Université de Corse., 1-155.
- VERLAQUE M., 1987.** Relations entre *Paracentrotus lividus* (Lamarck) et le phytobenthos de Méditerranée occidentale. « *Colloque international sur Paracentrotus lividus et les oursins comestibles* », C.F Boudouresque edit., GIS Posidonie publ., Marseille., 5-36.
- WITTMAN K.J., MAZZELLA L., FRESI E., 1981.** Age specific patterns leaf growth: their determination and importance epiphytic colonization in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Rapp. P.V. Réunion. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.*, 27: 189-19.
- WITTMANN K.J., 1984.** Temporal and morphological variations of growth in a natural stand of *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Marine ecologie.*, 5 (4): 301-316.
- ZEGHDOUDI E., 2006.** Modélisation bioéconomique des pêcheries Méditerranéennes - application aux petits pélagiques de la baie de bou Ismail - Algérie., 1-71.
- ZUPO V., BUIA M.C., MAZZELLA L., 1997.** A production model for *Posidonia oceanica* based on temperature. *Estuarine Coastal and Shelf Science.*, 44: 483-492.
- ZUPO V., MAZZELLA L., BUIA M.C., GAMBI M.C., LORENTI M., SCIPIONE M.B., CANCEMI G., 2006.** A small-scale analysis of the spatial structure of a *Posidonia oceanica* meadow off the Island of Ischia (Gulf of Naples, Italy): relationship with the seafloor morphology. *Aquatic Botany.*, 84(2): 101–109.

Liste des figures

Liste des figures

Figure 2.1 : Structure de la magnoliophyte marine <i>Posidonia oceanica</i> et illustration d'une croissance orthotrope devenant plagiotrope.	4
Figure 3.1 : Localisation des stations prospectées et de prélèvements dans la partie Ouest de la baie de BouIsmaïl.....	12
Figure 3.2 : Localisation des stations prospectées et de prélèvements dans la baie d'El Djamila	13
Figure 3.3 : Localisation des stations prospectées et de prélèvement dans la baie de Zemmouri.....	13
Figure 3.4 : Photographie de la limite inférieure de l'herbier à CH (-17m)	14
Figure 3.5 : Photographie de la limite inférieure de l'herbier à AK avec <i>Caulerpa cylindracea</i> (-20m)	14
Figure 3.6 : Taches de sable tapissées par une litière à Bsm (-15m).....	14
Figure 3.7 : Photographie de la limite inférieure de l'herbier à Tnc (-18m).....	14
Figure 3.8 : Photographie de la limite inférieure de l'herbier à AB avec <i>Caulerpa cylindracea</i> (-22 m).....	14
Figure 3.9 : Chenaux de sable grossier avec des ripple-marks au sein l'herbier à AG (-15 m).....	14
Figure 3.10 : Récolte de faisceaux de posidonie en plongée	15
Figure 3.11 : Comptage <i>in situ</i> de la densité avec un quadra de 40 cm de côté.....	16
Figure 3.12 : Dissection lépidochronologique de <i>Posidonia oceanica</i> . (D'après PERGENT, 1987) M : maximum m : minimum	18
Figure 3.13 : Le cycle d'épaisseur des écailles et la notion d'années lépidochronologiques. (D'après PERGENT <i>et al.</i> , 1989). M : maximum m : minimum	19
Figure 3.14 : Types de feuilles de posidonie en fonction de leur âge (PERGENT <i>et al.</i> , 2008)	20
Figure 4.1 : Densité des herbiers des différentes stations	22
Figure 4.2 : Nombre moyen des feuilles adultes et intermédiaires par faisceau pour les différentes stations.....	23
Figure 4.3 : Longueurs moyennes des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations	25
Figure 4.4 : Largeurs moyennes des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations	26
Figure 4.5 : Longueurs moyennes des bases des feuilles par faisceau pour les différentes stations	27
Figure 4.6 : Coefficient A des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations	28
Figure 4.7 : Surfaces foliaires moyennes des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations.....	29
Figure 4.8 : Biomasses moyennes des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations.	30

- Figure 4.9** : Indice épiphytique moyen des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations ..**31**
- Figure 4.10** : Evolution du nombre moyen d'écailles par cycle dans les stations étudiées..**35**
- Figure 4.11** : Evolution de la vitesse moyenne de croissance et de la production moyenne des rhizomes au niveau des stations étudiées..**36**

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 3.1 : Calendrier des prélèvements et des comptages <i>in situ</i> pour les différentes stations.....	15
Tableau 3.2 : Classification de l'herbier de posidonie selon la densité des faisceaux des feuilles au m ² (Giraud, 1977b).....	16
Tableau 3.3 : Classification de la densité des herbiers en fonction de la profondeur (de 12 à 18 m) (PERGENT <i>et al.</i> , 1995).	17
Tableau 3.4 : Evaluation de la qualité écologique de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> à partir de la densité des faisceaux (en m ²) selon PERGENT-MARTINI (2006).....	17

Annexes

ANNEXE I

Caractéristiques des stations prospectées

Station	Prof (m)	Coordonnées	Observations	Date de plongée
Khemisti « a »	15	36° 37.693' N, 02° 38.315' E	Sable	17/07/2011
Khemisti « b »	15	36° 37.466' N, 02° 38.517' E	Cymodocea	17/07/2011
Khemisti « c »	15	36° 37.933' N, 02° 39.511' E	Cymodocea	17/07/2011
FOUKA « d »	15	36° 41.195' N, 02° 45.076' E	Cymodocea sur sable vaseux	16/07/2011
FOUKA « e »	15	36° 41.301' N, 02° 45.375' E	Cymodocea sur sable	16/07/2011
Thallasso « f »	15	36° 45,901' N, 02° 50,098' E	Sable vaseux	18/07/2011
Sidi fredj « g »	15	36° 45.459' N, 02° 49.941' E	Gorgone (jaune et blanche), roche, sables vaseux.	20/07/2011
Sidi fredj « h »	8	36° 45.483' N, 02° 50.163' E	cailloux mélangés avec de la vase, petites touffes de posidonies sur roches.	20/07/2011
Sidi fredj « i »	11	36° 45.427' N, 02° 50.114' E	Sable fin.	20/07/2011
El marsa « j »	15	36° 49,063' N, 03° 15,369' E	Substrat dur photophile	26/07/2011
El marsa « k »	10	36° 48.886' N, 03° 15.408' E	Substrat dur photophile. Petites touffes de posidonies. Recouvrement 5%.	26/07/2011

Caractéristiques des stations ayant profondeur inférieure à 15m

Station	Prof (m)	coordonnées	Date de plongée	Description des herbiers
Sidi Fredj (SF)	6	36° 45,530' N 02° 50,159' E	03/08/2011	Touffes de posidonie sur un substrat mixte avec de grandes taches de sable, et des rhizomes étouffés. Recouvrement estimé à 30%. Forte turbidité. Présence de <i>Caulerpa cylindracea</i>
La Perouse (Pr)	3	36° 48.293' N 03° 13.907' E	27/07/2011	Touffes sur de la matre morte, avec des touffes de <i>Cymodocea</i> et de <i>Caulerpa cylindracea</i> . Rhizomes étouffés, Feuilles très courtes et très épiphytées. Grandes taches de sables avec des ripple-marks, et la présence des chenaux d'intermatte. Recouvrement inférieur à 5%
El Marsa (JB)	10	36° 48,789' N 03° 15,433' E	26/07/2011	touffes sur substrat dur recouvert par du sable graveleux témoignant du fort hydrodynamisme qui caractérise la région. Le recouvrement est à estimé à 20%.

ANNEXE II

Biométrie foliaire et densité

Légende des tableaux	
Moy.	: Moyenne
Ec.typ.	: Ecart-type
K-W.	: Kruskal-Wallis
Stat.	: Stations
Prof.	: Profondeurs (m)
FA.	: Feuilles adultes
FI.	: Feuilles intermédiaires
Nbr.	: Nombre
Long.	: Longueur (mm)
Bas.A.	: Longueur de base (pétiole) (mm)
Larg.	: Largeur du limbe (mm)
Surf.	: Surface des feuilles (cm ²)
Biom.	: Biomasse des feuilles (g)
Epi.	: Biomasse moyenne des épiphytes des feuilles (g)
Ind.	: Indice épiphytique (mg/cm ²)
Coef.A.	: Coefficient A de Giraud

Paramètres		Densité		NbrFA		NbrFI		LongBasA		LongFA		LongFI		LargFA		LargFI		SurfFA		SurfFI	
tests		K-W P<0.05		K-W P<0.05		K-W P<0.05		K-W P<0.05		ANOVA P<0.05		ANOVA P<0.05		K-W P<0.05		K-W P<0.05		K-W P<0.05		K-W P<0.05	
stat	Prof	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ
CH	15	167.5	53.26	3.8	0.69	2.6	0.50	28.67	4.84	571.76	131.96	376.99	89.66	10.99	0.59	9.98	0.51	245.18	89.82	97.42	29.20
AK	15	170.25	60.5	3.75	0.55	2.55	0.68	37.85	4.52	793.52	64.05	484.59	129.25	10.96	0.48	9.93	0.49	326.01	55.08	121.36	42.78
Br	15	173.75	65.07	3.5	0.60	2.05	0.68	38.19	4.08	781.29	107.82	401.16	144.49	11.10	0.50	10.2	0.60	306.12	72.90	86.11	42.66
Kh	15	151.25	47.48	3.9	0.44	2.05	0.39	37.39	4.78	802.12	113.30	372.6	154.85	10.40	0.40	9.70	0.35	325.02	60.08	75.14	33.33
Bsm	15	200	34.48	3.75	0.63	1.9	0.44	42.04	5.47	854.76	87.52	521.85	139.61	11.00	0.54	10.11	0.46	350.48	61.76	103.70	37.59
Tnc	15	193.75	56.74	3.45	0.60	2	0.45	39.30	6.93	851.86	154.15	380.93	144.30	9.79	0.54	9.15	0.44	288.99	77.64	72.86	37.35
SD	15	203.75	31.34	3.1	0.71	1.95	0.60	32.18	5.74	692.70	127.41	431.66	170.54	9.97	0.55	9.17	0.64	217.03	74.28	74.85	31.06
LP	15	128.75	33.61	3.65	0.67	2.55	0.51	23.40	3.66	394.03	106.45	259.4	72.66	9.52	0.64	8.83	0.53	139.53	53.01	59.2	21.65
AB	15	173.125	39.31	4.2	0.69	2.35	0.58	35.03	5.60	666.04	156.57	309.54	117.75	10.68	0.52	10.00	0.59	293.7	61.52	75.41	38.42
AG	15	157.5	41.01	4.35	0.58	2.5	0.68	32.68	3.85	642.27	107.22	340.05	88.02	11.62	0.68	10.50	0.56	326.65	77.90	95.41	46.78
Pr	3	171.25	28.13	3.8	0.52	2.5	0.51	21.64	2.47	288.80	57.72	153.56	49.04	10.20	0.81	9.56	0.73	111.67	27.79	36.72	14.32
SF	6	376.25	50.15	3.45	0.51	2.1	0.44	25.40	4.43	369.24	92.16	226.58	60.81	10.13	0.45	9.72	0.43	128.89	38.10	46.09	15.15
JB	10	258.75	73.43	3.8	0.6	2.7	0.47	33.79	5.83	722.33	136.39	327.09	103.02	10.83	0.73	9.86	0.60	302.02	91.96	88.24	32.35

Paramètres		BiomAdu		BiomInt		EpiAdu		EpiInt		IndEpiFA		IndEpiFI		CoeffAFADu%		CoeffAFInt%	
tests		ANOVA P<0.05		ANOVA P<0.05		ANOVA P<0.05		ANOVA P<0.05		ANOVA P<0.05		ANOVA P<0.05		K-W P<0.05		ANOVA P<0.05	
stat	Prof	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ
CH	15	1.06	0.47	0.32	0.10	0.54	0.18	0.083	0.04	2.24	0.38	0.84	0.33	72.75	6.79	12.5	2.19
AK	15	1.36	0.23	0.41	0.14	0.37	0.11	0.048	0.03	1.14	0.29	0.36	0.19	79.66	6.39	9.16	1.11
Br	15	1.34	0.34	0.31	0.20	0.29	0.12	0.033	0.05	0.94	0.26	0.31	0.48	72.08	7.06	17.5	2.19
Kh	15	1.34	0.31	0.22	0.10	0.33	0.08	0.019	0.02	1.03	0.14	0.22	0.22	83.41	5.69	14.16	1.11
Bsm	15	1.64	0.42	0.36	0.13	0.23	0.10	0.020	0.01	0.65	0.27	0.18	0.11	62	8.50	27.5	1.72
Tnc	15	1.29	0.37	0.26	0.13	0.34	0.17	0.017	0.01	1.16	0.43	0.21	0.16	65.16	9.57	16.66	1.68
SD	15	0.94	0.34	0.26	0.12	0.29	0.12	0.037	0.03	1.35	0.31	0.40	0.31	84.58	4.38	30.83	2.80
LP	15	0.59	0.24	0.18	0.07	0.40	0.23	0.043	0.03	2.72	0.84	0.64	0.35	76.08	4.30	17.5	3.34
AB	15	1.36	0.28	0.25	0.13	0.56	0.15	0.025	0.02	1.97	0.54	0.27	0.22	87	4.90	3.33	1.08
AG	15	1.29	0.31	0.29	0.15	0.53	0.16	0.045	0.04	1.62	0.32	0.38	0.24	78.58	5.99	12.5	2.19
Pr	3	0.58	0.14	0.12	0.04	0.32	0.11	0.019	0.02	2.93	0.77	0.46	0.35	94	13.43	39.16	32.11
SF	6	0.60	0.18	0.15	0.05	0.20	0.11	0.013	0.01	1.63	0.97	0.24	0.26	98.75	5.59	15	24.12
JB	10	1.31	0.40	0.28	0.12	0.42	0.17	0.025	0.02	1.35	0.29	0.24	0.17	78	23.42	14.16	26.08

Max ; min

ANNEXE III

Paramètres lépidochronologiques

Légende des tableaux	
Moy.	: Moyenne
Ec.typ.	: Ecart-type
K-W.	: Kruskal-Wallis
Stat.	: Stations
Prof.	: Profondeur (m)
NbEc.	: Nombre d'écailles par cycle
L.Rh.	: Vitesse de croissance des rhizomes (mm/an)
P.Rh.	: Poids sec des rhizomes (mg Ps/rhizome/an)

Paramètres		NbEcMoy		NbEc2010		NbEc2009		NbEc2008		NbEc2007		NbEc2006		NbEc2005	
Tests		ANOVA	p<0.05	K-W	p<0.05	K-W	p<0.05	ANOVA	p<0.05	K-W	p<0.05	K-W	p<0.05	K-W	p<0.05
Stat	Prof	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ
CH	15	8.87	1.34	9.25	1.61	9.00	1.24	8.35	1.93	9.00	0.94	8.75	0.95		
AK	15	9.73	1.08	9.90	1.02	10.25	1.06	10.00	1.20	8.70	1.31	9.83	0.83		
Br	15	9.43	1.34	9.60	1.46	9.50	1.23	9.66	1.57	9.46	1.18	8.92	1.25		
Kh	15	10.14	1.34	10.85	1.34	11.00	1.07	10.45	1.39	9.18	1.42	9.25	1.48		
Bsm	15	9.21	1.19	9.60	1.50	9.35	1.13	9.64	1.05	8.71	0.99	9.09	1.37	8.87	1.12
Tnc	15	8.76	1.06	8.80	1.28	9.55	1.09	8.94	1.14	7.62	0.71	8.92	1.07		
SD	15	8.08	1.35	8.55	1.23	8.85	1.46	7.41	1.16	7.27	1.67	7.80	1.39	8.62	1.18
LP	15	10.20	1.61	10.20	1.15	10.41	1.83	10.00	1.87						
AB	15	9.07	1.02	9.55	1.05	10.35	1.13	9.31	0.74	8.31	1.07	7.83	1.11		
AG	15	10.77	1.09	11.45	0.94	11.20	1.10	10.85	1.08	9.11	1.36	10.57	1.15	11.46	0.93

Paramètres		LgRhMoy		LgRh2009		LgRh2008		LgRh2007		LgRh2006		LgRh2005	
Tests		ANOVA	p<0.05	ANOVA	p<0.05	ANOVA	p<0.05	ANOVA	p<0.05	ANOVA	p<0.05	K-W	p<0.05
Stat	Prof	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ
CH	15	4.49	1.15	4.34	1.41	3.94	1.23	4.70	1.15	5.00	0.81		
AK	15	6.45	1.54	7.07	1.17	7.05	1.95	5.70	1.31	6.00	1.75		
Br	15	5.95	1.46	6.55	2.06	6.05	1.17	5.76	1.14	5.46	1.46		
Kh	15	7.07	2.69	7.90	2.35	7.70	2.67	5.93	2.51	6.75	3.22		
Bsm	15	8.73	2.88	9.10	3.19	8.58	2.20	7.64	2.40	7.45	2.58	10.87	4.01
Tnc	15	7.49	1.91	7.75	1.91	8.35	1.41	6.50	2.30	7.35	2.02		
SD	15	5.26	2.19	6.17	2.04	5.37	2.26	3.90	1.04	4.50	2.01	6.37	3.62
LP	15	6.82	3.39	8.25	5.89	5.40	0.89						
AB	15	6.16	2.05	6.40	2.34	7.05	2.09	5.37	1.40	5.83	2.36		
AG	15	6.37	1.68	6.15	1.89	6.00	1.91	5.29	1.40	6.07	1.07	8.36	2.11

Paramètres		PoRhMoy		P.Rh2009		P.Rh2008		P.Rh2007		P.Rh2006		P.Rh2005	
Tests		ANOVA	p<0.05	ANOVA	p<0.05	ANOVA	p<0.05	ANOVA	p<0.05	ANOVA	p<0.05	K-W	p<0.05
Stat	Prof	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ	Moy	Ec.typ
CH	15	60.63	21.50	54.65	27.55	50.44	32.62	63.25	19.60	74.17	6.22		
AK	15	95.71	27.07	104.89	23.33	114.35	38.50	89.25	24.68	74.34	21.78		
Br	15	102.75	33.68	114.22	49.44	112.03	38.01	102.49	26.57	82.28	20.69		
Kh	15	107.59	46.54	137.49	50.90	129.91	54.68	84.10	34.59	78.87	45.97		
Bsm	15	155.85	73.06	180.97	99.81	176.81	60.53	132.10	53.84	112.49	54.69	176.91	96.42
Tnc	15	108.35	47.53	117.15	46.29	132.50	51.46	99.33	52.53	84.42	39.85		
SD	15	68.81	57.39	79.24	39.68	86.71	76.84	42.13	22.86	64.29	71.30	71.70	76.25
LP	15	102.28	91.10	137.46	154.82	67.10	27.38						
AB	15	112.18	50.26	136.54	77.92	137.15	47.78	88.96	31.25	86.07	44.10		
AG	15	117.16	41.01	110.76	39.66	106.62	42.63	91.08	32.91	107.83	29.88	169.51	59.98

Max ; min