

<b>INTRODUCTION</b> .....	1
<b>CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUES</b>	
1. Les Magnoliophytes marines.....	4
1.1. Origine et évolution.....	4
1.2. Taxonomie.....	5
1.3. Description.....	7
1.4. Particularités physiologiques.....	8
1.4.1. Les feuilles.....	9
1.4.2. Les racines et les rhizomes.....	10
1.5. Répartition géographique mondiale des Magnoliophytes marines.....	10
2. <i>Posidonia oceanica</i> (L.)Delile.....	12
2.1. Systématique.....	12
2.2. Étymologie.....	12
2.3. Synonymie et noms vernaculaires.....	12
2.3.1. Synonymie.....	12
2.3.2. Noms vernaculaires.....	12
2.4. Répartition géographique.....	13
2.5. Biologie de <i>Posidonia oceanica</i> .....	14
2.5.1. Morphologie.....	15
2.5.2. Croissance et développement.....	17
2.5.3. Cycle de vie.....	20
2.5.3.1. Reproduction sexuée.....	20
2.5.3.2. Reproduction asexuée.....	21
2.6. Physiologie.....	22
2.7. Écologie.....	24
2.8. Structure des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> .....	26
2.8.1. Récif-frangeant.....	27
2.8.2. Récif-barrière.....	27
2.9. Les types d'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> .....	29
2.9.1. L'herbier de plaine.....	29
2.9.2. L'herbier de colline.....	29
2.9.3. L'herbier tigré.....	30
2.9.4. Les micro-atolls.....	31
2.9.5. L'herbier en pain de sucre.....	32
2.9.6. L'herbier en escalier.....	32
2.9.7. L'herbier ondoyant.....	33
2.10. Fonctionnement de l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i> .....	34
2.11. Rôle des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> .....	38
2.11.1. Rôle de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> dans les équilibres écologiques du système.....	38
2.11.2. Rôle de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> dans les équilibres physiques du système littoral.....	41
2.11.3. Rôle économique de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> .....	44
2.11.4. Rôle de bioindicateur de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> .....	45
2.11.4.1. Au niveau de la population.....	46
2.11.4.2. Au niveau de l'individu.....	46
2.12. Les causes à l'origine de la disparition des habitats d'herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> .....	47
2.12.1. Causes directes.....	47
2.12.1.1. Utilisation de chaluts de fond ou d'arts traïnants.....	47
2.12.1.2. Mouillage des bateaux.....	48

2.12.1.3. Utilisation d'engins explosifs.....	48
2.12.2. Causes indirectes.....	48
2.12.2.1. Température.....	49
2.12.2.2. Salinité.....	49
2.12.2.3. Turbidité.....	49
2.12.2.4. Apport en nutriments .....	49
2.12.2.5. Apports en polluants.....	50
2.12.2.6. Aquaculture côtière.....	51
2.12.2.7. Apports et les déficits de sédiments.....	51
2.12.2.8. Introduction d'espèces invasives.....	52
2.13. Protection de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> .....	53
2.13.1. Les mesures de protection directe.....	53
2.13.1.1. Conventions internationales et textes communautaires.....	53
2.13.1.2. Textes réglementaires dans les pays de la zone RAMOGE.....	56
1) Réglementation en France.....	56
2) Réglementation en Principauté de Monaco.....	56
3) Réglementation en Italie.....	56
2.13.2. Les mesures de protection directe.....	56
2.13.3. Autres textes réglementaires en Méditerranée.....	57
1) En Espagne.....	57
2) En Libye.....	57
3) A Malte.....	57
4) En Slovénie.....	57
5) En Turquie.....	57
5) En Croatie.....	58
6) En Algérie.....	58

## CHAPITRE II : ZONE D'ETUDE

1. Caractéristiques de la Méditerranée.....	59
2. Caractéristiques de la zone d'étude.....	61
2.1. Le Golfe d'Oran.....	61
2.1.1. Données climatiques.....	61
2.1.1.1. Précipitations et températures.....	61
2.1.1.2. Les Vents.....	62
2.2. Le Golfe d'Arzew.....	63
2.2.1. Données climatiques.....	63
2.2.1.1. Précipitations et températures.....	64
2.2.1.2. Les vents.....	64

## CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

1. Choix du site d'étude.....	65
2. Transect.....	66
3. Mesure des paramètres du milieu.....	66
3.1. Température.....	66
3.2. Salinité.....	67
4. Caractéristique de l'herbier à <i>P. oceanica</i> .....	67

4.1. Densité.....	67
4.2. Taux de recouvrement.....	69
5. Échantillonnage.....	70
6. Structure des faisceaux.....	71
6.1. Étude phénologique.....	71
6.1.1. Définition.....	71
6.1.2. Analyse biométrique.....	72
7. Biomasse des feuilles et des épiphytes des feuilles.....	74
7.1. Biomasse des feuilles.....	74
7.2. Biomasse des épiphytes des feuilles.....	74
8. Étude lépidochronologique.....	75
8.1. Définition.....	75
8.2. Étude au laboratoire.....	76
9. Traitements statistiques.....	77
9.1. Moyenne arithmétique.....	77
9.2. Calcul de la variance et de l'écart-type.....	78
9.3. Analyse variance.....	78
9.4. Test de KRUSKAL-WALLIS.....	78
9.5. Test de MANN-WHITNEY.....	79
9.6. Relations biométriques.....	79
9.6.1 Relation entre la longueur des pétioles des feuilles de rang 1 et leur limbe.....	79
9.6.2 Relation entre le poids sec et la longueur des rhizomes.....	80

#### **CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION**

1. Le transect.....	81
2. Paramètres physico-chimiques.....	84
2.1. Température.....	84
2.2. Salinité.....	84
3. Caractéristiques de l'herbier.....	85
3.1. Densité des faisceaux.....	85
3.2. Taux de recouvrement.....	86
4. Évolution saisonnière des paramètres phénologiques.....	87
4.1 Nombre de feuilles par faisceau.....	87
4.1.1. Nombre de feuilles globales (adultes et intermédiaires).....	87
4.1.2. Nombre de feuilles adultes par faisceau.....	88
4.1.3. Nombre de feuilles intermédiaires par faisceau.....	89
4.2. Longueurs des feuilles.....	91
4.2.1. Longueur des feuilles globales (adultes et intermédiaires).....	91
4.2.2. Longueur des feuilles adultes.....	92
4.2.3. Longueur des feuilles intermédiaires.....	93
4.3. Largeur des feuilles.....	95
4.3.1. Largeur des feuilles globales (adultes et intermédiaires).....	95
4.3.2. Largeur moyenne des feuilles adultes.....	96
4.3.3. Largeur moyenne des feuilles intermédiaires.....	96
4.4. Longueur moyenne des pétioles par faisceau.....	98
4.5. Surface et indice foliaire.....	100
4.5.1. Surface et indice foliaire des feuilles globales (adultes et intermédiaires).....	100
4.5.2. Surface foliaire des feuilles adultes.....	103

4.5.3. Surface foliaire des feuilles intermédiaires.....	103
4.6. Coefficient A.....	104
4.6.1. Coefficient A des feuilles globales (Feuilles adultes et intermédiaires).....	104
5. Conclusion sur l'évolution saisonnière .....	107
6. Biomasse.....	108
6.1. Biomasse des feuilles.....	108
6.1.1. Biomasse des feuilles globales (Feuilles adultes et intermédiaires).....	108
6.1.2. Biomasse des feuilles adultes.....	109
6.1.3. Biomasse des feuilles intermédiaires.....	109
6.2. Biomasse des épiphytes des feuilles.....	110
6.2.1. Biomasse épiphytes des feuilles globales (adultes et intermédiaires).....	110
6.2.2. Biomasse des épiphytes des feuilles adultes.....	111
6.2.3. Biomasse des épiphytes des feuilles intermédiaires.....	111
7. Conclusion sur la biomasse.....	113
8. Caractères lépidochronologiques.....	114
8.1. Évolution de la date d'inversion des cycles d'épaisseur.....	114
8.2. Nombre d'écailles par cycle : Périodicité.....	115
8.2.1. Variation au sein d'un site.....	116
8.2.2. Variation entre les sites.....	116
8.3. Vitesse de croissance du rhizome.....	118
8.3.1. Variation au sein d'une station.....	119
8.3.2. Variation entre les stations.....	119
9. Conclusion sur les caractères lépidochronologiques.....	121
10. Cycle de renouvellement des feuilles.....	122
10.1. Rythme de chute des feuilles.....	122
10.2. Rythme de formation des feuilles.....	124
10.3. Longévité des feuilles.....	127
11. Conclusion sur le cycle de renouvellement des feuilles.....	129
12. Évaluation de la production primaire.....	130
12.1. Densité des feuilles adultes de rang 1.....	130
12.2. Longueurs des feuilles adultes de rang 1 entières.....	131
12.3. Estimation de la production primaire foliaire nette.....	131
12.4. Production primaire 2008 / 2009 (cycle annuel).....	131
12.5. Production des rhizomes (application a la lépidochronologie).....	132
12.5.1. Variation de la production en fonction du rhizome et de l'année.....	132
12.5.2. Production moyenne de rhizome par mètre carré.....	133
12.6. Estimation de la production totale.....	134
13. Conclusion sur la production primaire.....	136
14. Présence de <i>Caulerpa racemosa</i> .....	136
<b>CONCLUSIONS GENERALES</b> .....	138
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	142
<b>ANNEXE</b> .....	170
<b>LISTE DES FIGURES</b>	
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	
<b>PUBLICATION</b>	

---

---

## INTRODUCTION

---

---

Aujourd'hui le littoral est considéré comme un éco-sociosystème : système complexe où s'imbriquent environnement naturel et activités humaines (COI, 1997). Zone de contact entre ciel, terre et mer, mosaïque d'écosystèmes terrestres et aquatiques, il apparaît comme une zone d'autant plus fragile et convoitée, que la frange côtière est étroite et reste le site privilégié de nombreuses activités économiques tel que l'urbanisation, la pêche, l'aquaculture, les activités touristiques, l'industrie... (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982 ; PERES, 1984 ; SHORT et WYLLIE-ECHEVERRIA, 1996 ; KRAUSSE-JENSEN et al, 2004 ; KUCUKSEZGIN et al, 2006 ; ORTHS et al, 2006 ; TUNESI et BOUDOURESQUE, 2006). La coexistence de ces différentes activités, souvent peu compatibles entre elle, est sources de multiples nuisances et conflits d'intérêts, associées à la variabilité du climat perturbent le fonctionnement et la stabilité des écosystèmes littoraux et, notamment, des herbiers de Magnoliophytes marines, en particulier les herbiers de *Posidonia oceanica* (PERGENT et al., 1999 ; GUIDETTI et FABIANO, 2000 ; GUIDETTI, 2001 ; GONZALEZ-CORREA et al., 2005), et hypothèquent fortement leur futur maintien. Or, les herbiers apparaissent comme des formations végétales clés, en termes de biodiversité, à l'échelle planétaire.

On note, depuis quelques années, un intérêt croissant pour l'utilisation des végétaux marins dans les études d'évaluation de la contamination du milieu (PHILLIPS, 1994 ; PERGENT-MARTINI & PERGENT, 2000 ; FERRAT et al., 2003b). Sessiles, sensibles aux modifications de leur environnement (tant au niveau de la colonne d'eau que du sédiment), ils réagissent à la présence de contaminants de façon plus rapide (en tant que premiers échelons de la chaîne trophodynamique) que les organismes occupant des niveaux plus élevés (LOVETT-DOUST et al., 1994).

L'herbier à *Posidonia oceanica*, patrimoine millénaire, est aujourd'hui considéré comme un des écosystèmes les plus importants, voire l'écosystème-pivot de l'ensemble des espaces littoraux méditerranéens. Au même titre que la forêt en milieu terrestre, l'herbier à *P. oceanica* est le terme ultime d'une succession de peuplements et sa présence est la condition sine qua non de l'équilibre écologique de beaucoup de fonds littoraux méditerranéens (BOUDOURESQUE, 2006).

La Posidonie, espèce endémique stricte de la Méditerranée, constitue avec le coralligène, l'écosystème marin le plus important puisqu'ils représentent un grand pôle de diversité biologique (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982).

Par ailleurs, il est connu que les herbiers à *Posidonia oceanica* constituent un puissant intégrateur de la qualité globale des eaux marines (AUGIER, 1985 ; PERGENT, 1991 ; PERGENT et al, 1995 ; PERGENT-MARTINI et al, 2005b) du fait de leur large répartition géographique (HARTOG, 1970), de leur longévité, de la permanence de leur population au cours des saisons, de leur facilité de prélèvement, de leur abondance et de leur capacité à concentrer une vaste gamme de xénobiotiques (WARD, 1989).

La protection et la conservation des herbiers à *P. oceanica* se justifient donc non seulement en raison de leur très grande valeur patrimoniale, mais aussi pour des raisons économiques. Elle constitue donc une illustration exemplaire de la notion de développement durable, issue du Sommet de Rio de Janeiro, en 1992 (BOUDOURESQUE, 2002b).

De ce fait les Magnoliophytes marines apparaissent comme des organismes très intéressants dans le cadre d'une surveillance du milieu (BOUDOURESQUE, 2006).

Les caractères phénologiques et lépidochronologiques de la Magniophyte *Posidonia oceanica* rendent certainement compte de la vitalité de cette espèce mais peuvent en outre traduire la qualité du milieu où ces structures se développent (PERGENT et al, 1995).

Toute fois malgré la présence d'herbiers à *Posidonia oceanica* tout au long du littoral Algérien, ceux-ci n'y ont été que peu étudiés et les travaux de recherches n'intéressent qu'un secteur à savoir la côte Algéroise. Il nous a donc semblé intéressant d'entreprendre une étude de la phénologie, de la lépidochronologie et de la production primaire des herbiers de deux sites du bassin de la côte Ouest algérienne, présentant, du fait de leur localisation géographique des conditions du milieu différentes, le premier étant un site pollué Cap Carbon (Arzew) (DERMECHE, 2010 ; BOUKHELF, 2012) le second considéré relativement comme site de référence Ain Franin (Oran) (BELKHEDIM, 2010). Nous avons jugé utile de comparer l'état de santé des deux herbiers des sites considérés.

Les objectifs de notre étude se présentent comme suit :

**Le premier objectif** consiste à mesurer quelques paramètres abiotiques ; la température et la salinité.

**Le deuxième objectif** est l'étude dynamique de l'herbier par le suivi de la variabilité saisonnière des paramètres phénologiques et de la biomasse des feuilles et des épiphytes.

**Le troisième objectif** est d'évaluer la production primaire annuelle des différents tissus foliaires (limbe et pétiole) et des rhizomes, en utilisant la méthode lépidochronologique.

Les résultats obtenus sont comparés à ceux relevés dans la littérature pour différentes localités du bassin méditerranéen.

---

---

*CHAPITRE I : CONSIDERATIONS  
BIBLIOGRAPHIQUES*

---

---

## **1. Les Magnoliophytes marines**

### **1.1. Origine et évolution**

Les Magnoliophytes marines (Plantae, Embryobiontes) sont des Angiospermes d'origine continentale, retournée au milieu aquatique au Crétacé (soit environ 120 à 100 millions d'années ; LARKUM ET DEN HARTOG, 1989). A l'Ordovicien (soit environ 475 millions d'années) Leurs lointains ancêtres avaient quitté ce même milieu marin pour partir à la conquête des continents (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982 ; WELLMAN *et al.*, 2003 ; BOUDOURESQUE, 2006).

Différentes variantes sur l'origine et la taxonomie des Magnoliophytes marines ont été décrites (DEN HARTOG, 1970; LARKUM et DEN HARTOG, 1989; HEMMINGA et DUARTE, 2000). L'utilisation de nouvelles techniques comme l'analyse des séquences du DNA, la chimiotaxonomie devraient permettre une meilleure compréhension de la phylogénie de ces plantes (CAMPEY *et al.*, 2000). Les ancêtres possibles des Magnoliophytes marines sont de deux types: des plantes terrestres côtières d'une part et des plantes aquatiques d'autre part. Elles auraient l'une ou l'autre conquis le milieu marin. L'hypothèse de plantes côtières comme ancêtre des Magnoliophytes marines (DEN HARTOG, 1970) est soutenue par deux arguments. Contrairement aux tiges herbacées des hydrophytes, les plantes côtières et les Magnoliophytes marines ont des feuilles lignifiées. De plus, deux genres de Magnoliophytes marines (*Amphibolis* et *Thalassodendron*) sont vivipares comme c'est le cas de certains taxa des mangroves (LARKUM et DEN HARTOG, 1989).

L'hypothèse de plantes aquatiques comme ancêtre des Magnoliophytes marines (ARBER, 1920) est défendue par le fait que ces plantes aquatiques ont les mêmes caractéristiques que les Magnoliophytes marines (méristème basal, système lacunaire) (HEMMINGA et DUARTE, 2000).

L'étude de l'évolution, de l'expansion et de la distribution des Magnoliophytes marines est basée sur l'analyse de plantes fossilisées et de la faune et la flore associées. Malheureusement, les données sont peu nombreuses.

Selon l'hypothèse présentée par LARKUM et DEN HARTOG (1989) (Figure 1), les plus anciens fossiles de Magnoliophytes marines remontent au Crétacé et sont de deux genres: *Archeozostera* et *Thalassocharis*.

Les empreintes d'*Archeozostera* ont été trouvées au Japon et seraient à l'origine des genres: *Zostera* et *Phyllospadix* actuels. Des fossiles de *Thalassocharis* ont été retrouvés en Hollande et en Grande Bretagne et présentent beaucoup d'affinités avec les genres *Amphibolis* et *Thalassodendronm*, «pères» des genres actuels *Halodule*, *Cymodocea* et *Syringodium*. L'espèce *Enhalus acoroides*, seule Magnoliophyte marine ayant une pollinisation non sous-marine, semble avoir évolué à partir d'un ancêtre aquatique du genre *Vallisneria* (LARKUM et DEN HARTOG, 1989).

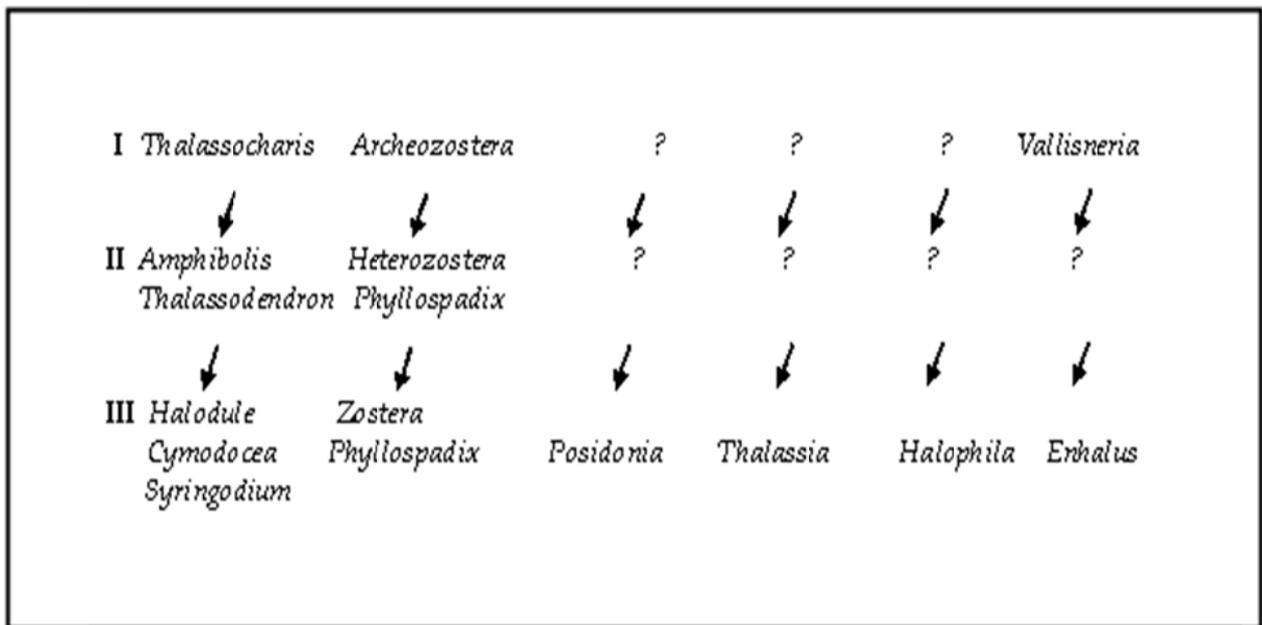
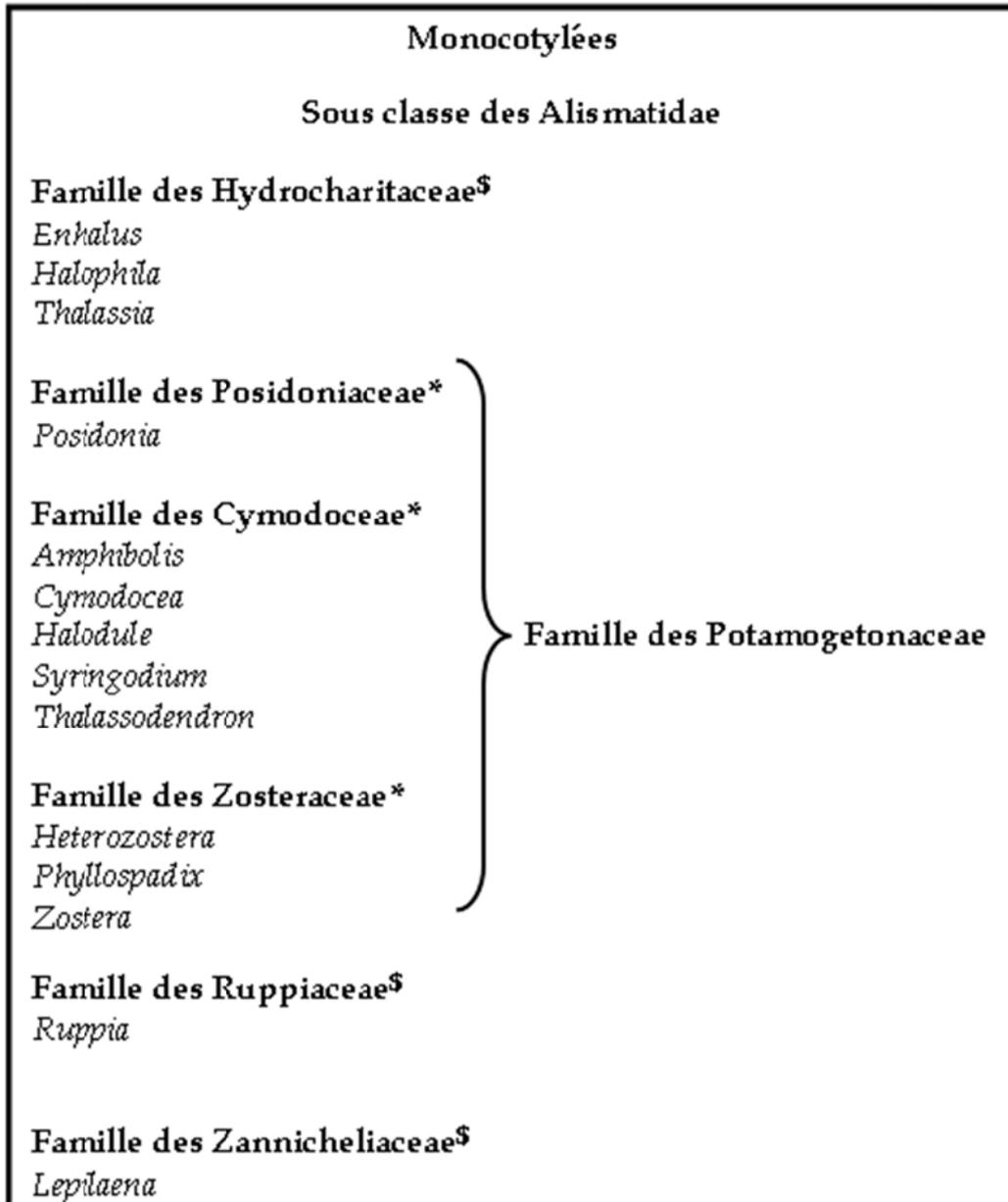


Figure 1 : Hypothèse possible des différents stades des Magnoliophytes marines depuis le Crétacé jusqu'à nos jours (I: Plantes terrestres pénétrant dans l'eau ; II: Plantes adaptées au milieu marin et gardant certains caractères terrestres, III: Magnoliophytes marines actuelles) ; (LARKUM et DEN HARTOG, 1989).

## 1.2. Taxonomie

Le terme anglais «seagrass» regroupe les quatorze genres de plantes marines à fleur (tableau 1). Il regroupe l'ensemble des plantes vivant complètement submergées en eau, ancrées sur le substrat et capable, dans ces conditions, de croître et de se reproduire (DEN HARTOG, 1970).

Tableau 1 : Classification des 14 genres de Magnoliophytes (DEN HARTOG et KUO 2006), \* : famille exclusivement marine, \$: famille aquatique.



Il existe près de 60 espèces de Magnoliophytes marines appartenant à 4 familles et 14 genres (KUO et DEN HARTOG, 2001).

Cette variation provient de l'utilisation de critères différents en systématique pour déterminer et différencier les espèces (HEMMINGA et DUARTE, 2000). Par exemple, DEN HARTOG (1970) et PHILLIPS et MEÑEZ (1988) utilisent la disposition des veines sur les feuilles alors que LES et *al.*, 1997 emploient la distance génétique.

Néanmoins, toutes ces espèces sont classées, en quatorze genres, dans les monocotylédones.

### **1.3. Description**

L'appellation « Magnoliophytes marines » rassemble l'ensemble des plantes à fleur qui vivent submergées dans les eaux peu profondes et les estuaires.

Toutes ces espèces sont des monocotylées mais elles ne possèdent pas une origine évolutive unique, il s'agit d'un groupe polyphylétique défini par une niche écologique particulière (GREEN et SHORT, 2003).

Les Magnoliophytes marines présentent toutes le même type de morphologie (figure 2), un rhizome rampant portant au niveau des nœuds des racines d'une part et des ou un axe dressé d'autre part. Les feuilles engainées à la base poussent à partir de l'axe dressé (DEN HARTOG, 1970; PHILLIPS et MEÑEZ, 1988; KUO et Mc COMB, 1989).

Les rhizomes sont de section ronde ou latéralement aplatis, ils prolifèrent généralement enfouis sous le sédiment. Sauf pour le genre *Halophila*, les feuilles adultes présentent à leur base une gaine bien différenciée par l'absence de chloroplaste et donc de chlorophylle.

Le méristème est basal et les jeunes feuilles poussent au centre du faisceau, au milieu des feuilles plus âgées. Entre la gaine et la feuille, la plupart des espèces présentent une excroissance tissulaire appelée ligule.

Les feuilles nécrosées sont abscisées à la jonction entre la gaine et la partie foliaire au niveau de cette ligule. Les Magnoliophytes marines sont monoïques (avec des fleurs unisexuées ou non) ou dioïques. Les fleurs, solitaires ou en inflorescences, ont souvent des pièces florales réduites.

Ces plantes sont les seules Angiospermes adaptées à la vie marine en conditions d'immersion permanente. Elles possèdent comme toutes les plantes une partie épigée (feuilles) et une partie endogée (rhizomes, racines) (Figure 2).

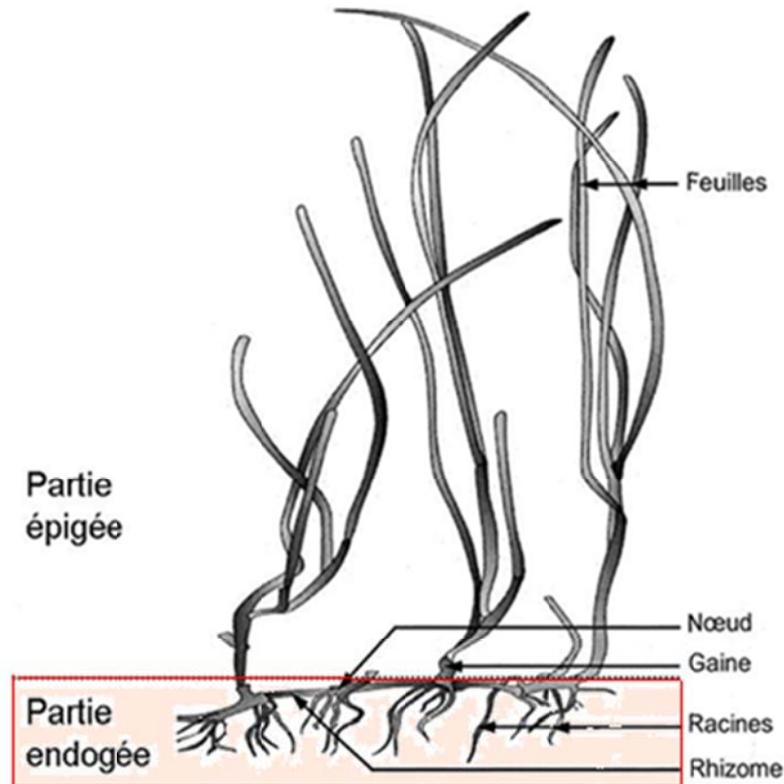


Figure 2 : Représentation d'une Magnoliophyte marine du genre *Zostera*.  
(OUISSSE 2010)

#### 1.4. Particularités physiologiques

Afin de survivre dans l'environnement marin, les Magnoliophytes marines ont développé différentes adaptations (KUO et DEN HARTOG, 2000):

- ✓ Une capacité à se développer en milieu immergé malgré les problèmes de faible concentration en gaz et de vitesse de diffusion,
- ✓ L'adaptation à une concentration en sel importante et souvent variable,
- ✓ Un système d'ancrage solide pour résister aux mouvements de l'eau,
- ✓ Un mécanisme de pollinisation sous-marin,
- ✓ La capacité d'être compétitives face aux autres espèces présentes en milieu marin.

Pour satisfaire à ces 5 critères, les différents organes (feuilles, racines et rhizomes) ont subi de sévères modifications physiologiques et anatomiques par rapport aux Magnoliophytes terrestres.

### 1.4.1. Les feuilles

Dans l'eau, les coefficients de diffusion du dioxyde de carbone et de l'oxygène sont approximativement 10 000 fois plus faibles que dans l'air (STUMM et MORGAN, 1996). Toutes les espèces de Magnoliophytes marines (sauf les *Syringodium spp* et *Halophila spp.*) ont des feuilles linéaires aplaties ce qui entraîne un rapport surface/volume élevé. La surface Photosynthétique est ainsi maximale, les échanges de gaz et de nutriments entre l'eau et la feuille sont maximums.

Les feuilles sont dépourvues de stomates mais la cuticule est fine et offre une faible résistance aux ions et à la diffusion. Les feuilles ne présentent pas d'épiderme non Photosynthétique. Elles sont flexibles. Généralement, le système lacunaire (aérenchyme) au sein du parenchyme est bien développé et est continu entre les différents organes (feuilles, racines, rhizomes). Il est néanmoins interrompu le long de la feuille par un système de septums (groupes de cellules parenchymateuses dont les espaces intercellulaires sont particulièrement réduits).

Ce système de septums protège le système lacunaire de la plante dans les cas où la feuille est déchirée (par une tempête ou suite au broutage par un herbivore).

Les lacunes (Figure 3) donnent une flottabilité positive aux feuilles qui restent érigées dans la colonne d'eau. Le système lacunaire permet la circulation des gaz entre les différents organes (HEMMINGA et DUARTE, 2000).

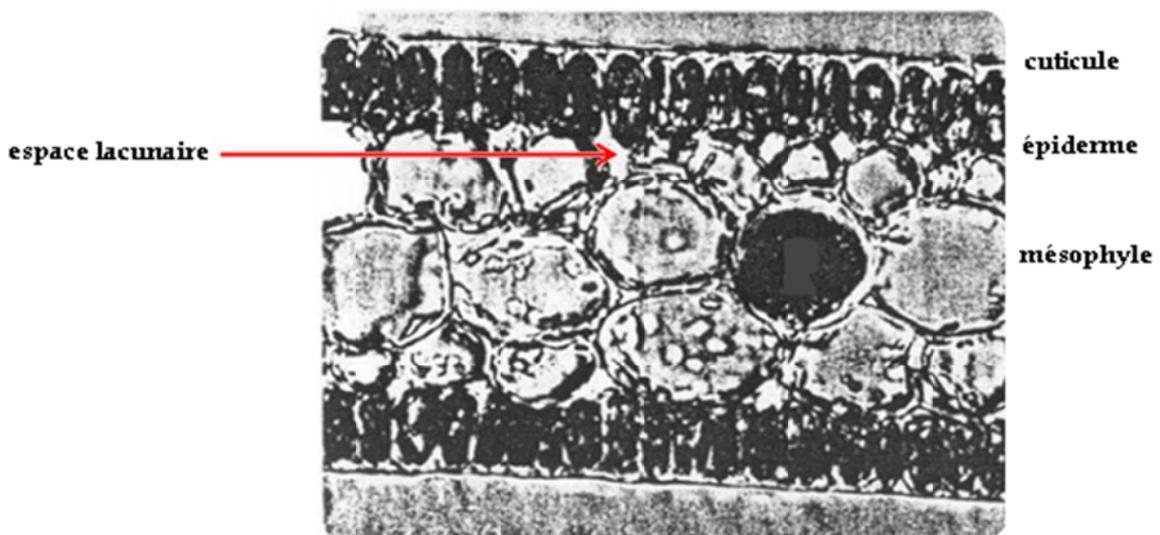


Figure 3 : Section longitudinale d'une feuille de *P. oceanica* (COLOMBO et al., 1983).

#### **1.4.2. Les racines et les rhizomes**

Le système lacunaire des feuilles est continu jusque dans les racines et les rhizomes. L'oxygène, généré dans les feuilles durant la phase claire, diffuse vers les rhizomes et les racines à travers le système lacunaire. Cet oxygène libéré au niveau du sédiment, crée une microzone autour des racines et favorise la nitrification ( $\text{NH}_4^+ \Rightarrow \text{NO}_2^- \Rightarrow \text{NO}_3^-$ ), l'absorption des métaux et de certains minéraux (IIZUMI et *al.*, 1980).

Le flux d'oxygène vers la zone des racines est essentiel pour maintenir un niveau de composés soufrés non toxique et ainsi promouvoir de meilleures conditions de croissance (ELDRIDGE et MORSE, 2000). En conditions anoxiques, la fermentation du sucrose conduit à la formation de  $\text{CO}_2$ , lactate et éthanol. L'éthanol, toxique est rapidement largué dans le milieu mais ce processus nécessite une consommation accrue de carbohydrate (ZIMMERMAN et ALBERTE, 1996; HEMMINGA, 1998).

Les propriétés chimiques du sédiment sont modifiées par la présence des Magnoliophytes (GOBERT et *al.*, 2005). Grâce à la présence d'oxygène à la périphérie des racines. Les teneurs en composés soufrés sont faibles dans ces sédiments proportionnellement à la quantité de matières organiques présentes (LEE et DUNTON, 2000).

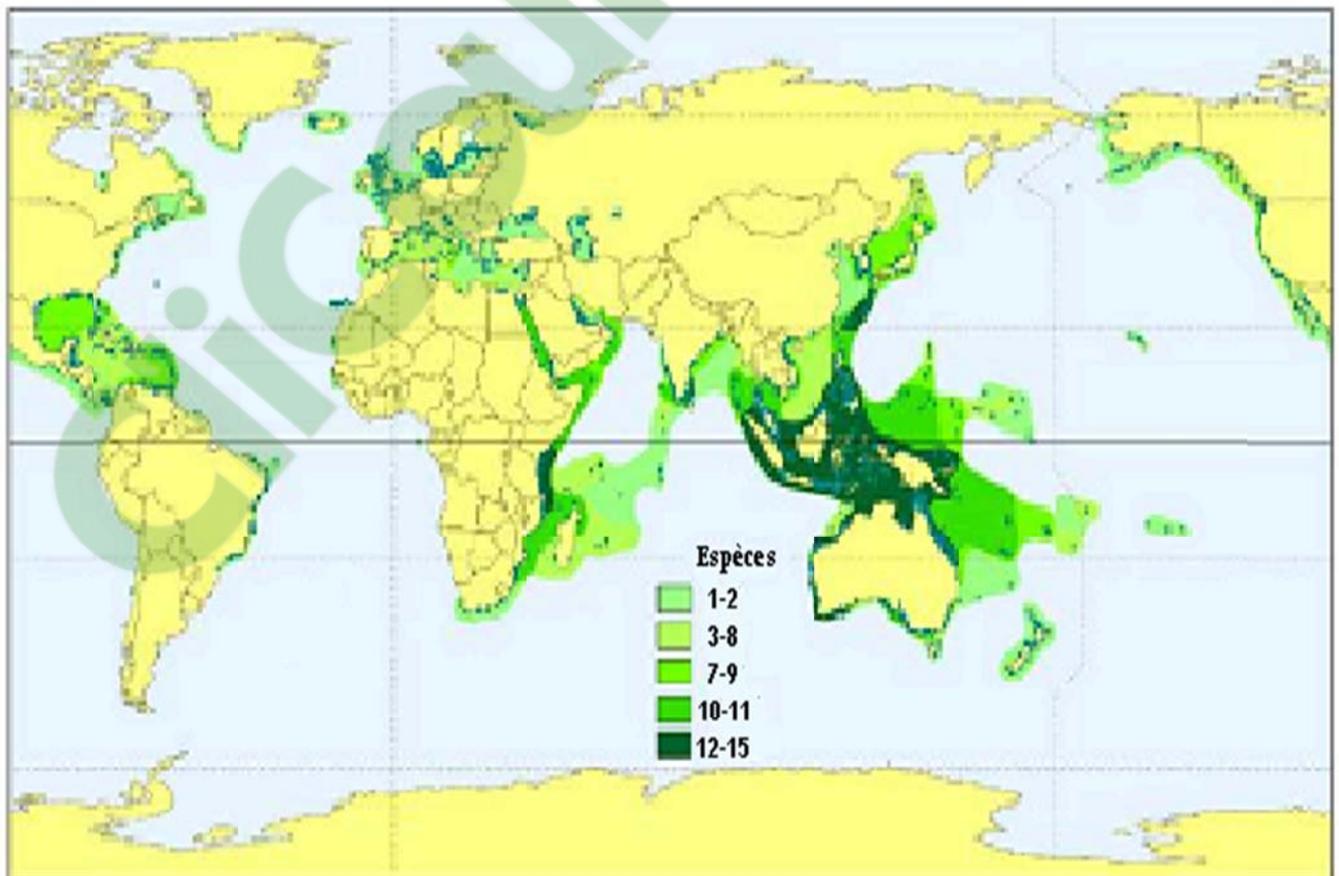
#### **1.5. Répartition géographique mondiale des Magnoliophytes marines**

Les Magnoliophytes marines forment de véritables prairies sous-marines appelées « herbiers » dont la structure varie selon les endroits, allant d'un état clairsemé (de zéro à quelques dizaines de pousses par mètre carré) à un état particulièrement dense (plus de 3000 pousses par mètre carré) (Mc ROY et *al.*, 1977).

En général, elles colonisent les zones dominées par les substrats sableux ou vaseux mais certaines espèces sont capables de coloniser des substrats rocheux. Étant donné leur structure souterraine complexe formée de nombreux tissus non Photosynthétiques qui nécessitent l'apport de constituants provenant des feuilles, les Magnoliophytes marines requièrent de grandes quantités de lumière pour leur développement.

Elles sont distribuées sur l'ensemble des côtes mondiales à l'exception des régions polaires (Figure 4). Elles se répartissent de la zone intertidale jusqu'à plus de 90 mètres de profondeur, la profondeur moyenne étant généralement inférieure à 20 mètres (HEMMINGA et DUARTE, 2000).

L'étude de la distribution des espèces de Magnoliophytes marines à l'échelle mondiale a permis de définir 06 biorégions chacune caractérisée par un assemblage d'espèces particulières (SHORT et al ,2007). Toutefois, si les Magnoliophytes marines sont peu nombreuses, leur poids écologique est considérable dans les milieux littoraux : un grand nombre d'entre elles sont des ingénieurs d'écosystèmes ou au moins des espèces-clé. Les écosystèmes qu'elles édifient, ou dont elles sont des acteurs majeurs, jouent un rôle considérable dans de nombreuses régions du monde dont la Méditerranée (BOUDOURESQUE, 2006).



**Figure 4 : Distribution mondiale et diversité des Magnoliophytes marines. Le dégradé de vert indique le nombre d'espèces de chaque zone (OUISSÉ 2010).**

Seules 7 espèces différentes de Magnoliophytes marines colonisent la Méditerranée: *Cymodocea nodosa*, également présente sur la côte nord-atlantique africaine et portugaise; *Zostera marina* et *Zostera noltii*, avec une large distribution en milieu tempéré; *Halophila stipulacea* résultant d'une introduction récente depuis la Mer rouge; *Ruppia cirrhosa* et *Ruppia maritima*, l'espèce la plus répandue étant *Posidonia oceanica*; (SHORT et al., 2001).

## **2. *Posidonia oceanica* (L.) Delile**

### **2.1. Systématique**

Selon KUO et DEN HARTOG, (2001), la classification de *Posidonia oceanica* se présente comme suit :

<b>Règne</b>	<b>:Plantae</b>
<b>Phylum</b>	<b>: Chlorophyta</b>
<b>Embranchement</b>	<b>: Magnoliophyta</b>
<b>Classe</b>	<b>: Liliopsida</b>
<b>Sous-Classe</b>	<b>: Alismatidae</b>
<b>Ordre</b>	<b>: Potamogetonales</b>
<b>Famille</b>	<b>: Posidoniaceae</b>
<b>Genre</b>	<b>: <i>Posidonia</i></b>
<b>espèce</b>	<b>: <i>oceanica</i> (Linnaeus) Delile</b>

### **2.2. Étymologie**

*Posidonia* vient de « Poseïdon » dieu de la mer chez les grecs, *oceanica* (= océanique) vient d'une confusion à la fin du XIXème et au début du XXème siècle avec la zostère *Zostera marina* qui existe dans l'océan Atlantique au Portugal, sur les côtes basque et les îles Canaries.

### **2.3. Synonymie et noms vernaculaires**

#### **2.3.1. Synonymie**

Le synonyme de *Posidonia oceanica* est : *Zostera oceanica* L.

#### **2.3.2. Noms vernaculaires**

Il existe plusieurs noms vernaculaires de la Posidonie en Méditerranée :

**Anglais** : Neptune grass.

**Espagnol** : Alga de vidrieros.

**Français** : Posidonie méditerranéenne.

**Italien** : Alga marina maggiore.

**Tunisien**: Le Thriaä ou Terch ou Lif El Bhar ou encore « al bouzidounia ».

**Algérien** : l'Algua.

## **2.4. Répartition géographique**

Malgré des signalisations douteuses, au siècle dernier, au Portugal et sur la côte basque (DEN HARTOG, 1970), l'espèce est absente de la mer Noire et de l'Atlantique. La signalisation de *P. oceanica* au Texas par des auteurs américains serait due à une confusion avec *Thalassia testudinum* (Mc MILLAN et al., 1975). *Posidonia oceanica* est une endémique stricte de Méditerranée.

Dans les biotopes favorables, *P. oceanica* se développe dans tout l'étage infralittoral, du voisinage de la surface jusque vers 20 - 40 m de profondeur, selon la transparence de l'eau, le plus souvent sur substrat meuble (quelle qu'en soit la granulométrie), plus rarement sur roche ; elle y constitue des prairies que l'on nomme habituellement herbiers (MOLINIER et PICARD, 1956).

En considérant que l'herbier occupe 1 à 2% des fonds de la Méditerranée, sa surface peut être estimée à 35 - 37 000 km<sup>2</sup> (3.5 à 3.7 millions d'hectares, (RICO-RAIMONDINO, 1995 ; PASQUALINI et al 1998) et constituent le principal peuplement climacique. La distribution de *P. oceanica* est continue tout autour du bassin Méditerranéen (Figure 5), à l'exception du secteur de Gibraltar (influence atlantique) (MOLINIER et PICARD, 1956), de la Mer de Marmara, des côtes d'Israël (LIPKIN, 1977), l'embouchure des fleuves ainsi que dans le Nord de la mer Adriatique (GOBERT et al., 2006). Sur les côtes syro-libanaises, l'herbier à *Posidonia oceanica* n'a été trouvé qu'en deux localités (Nord-Ouest de l'île de Rouad et à proximité de Ras-Ibn-Hani), où il apparaît très menacé (MAYHOUB, 1976).

Les herbiers sont rares sur le littoral languedocien, de la Camargue aux Pyrénées (France) et devant le delta du Nil (ALEEM, 1955), sans doute en raison des mouvements sédimentaires trop importants et de la dessalure. En effet, *Posidonia oceanica* est extrêmement sténohaline, et disparaît lorsque la salinité est inférieure à

33 %, d'où son absence totale dans les étangs saumâtres du Languedoc, de la côte orientale de la Corse et de la Tunisie. En revanche, l'espèce supporte des écarts thermiques relativement importants (de 9 à 29°C).

De nombreuses études ont abordé les différents aspects de sa distribution (PASQUALINI *et al.*, 1998; PIAZZI *et al.*, 2000), de son écologie, de sa physiologie (LEPOINT *et al.*, 2002, 2004; ALCOVERRO *et al.*, 1997, 2001; INVERS *et al.*, 2002, 2004; MARBA *et al.*, 2002) et, plus récemment, de la génétique (CAPIOMONT *et al.*, 1996; MICHELI *et al.*, 2005).

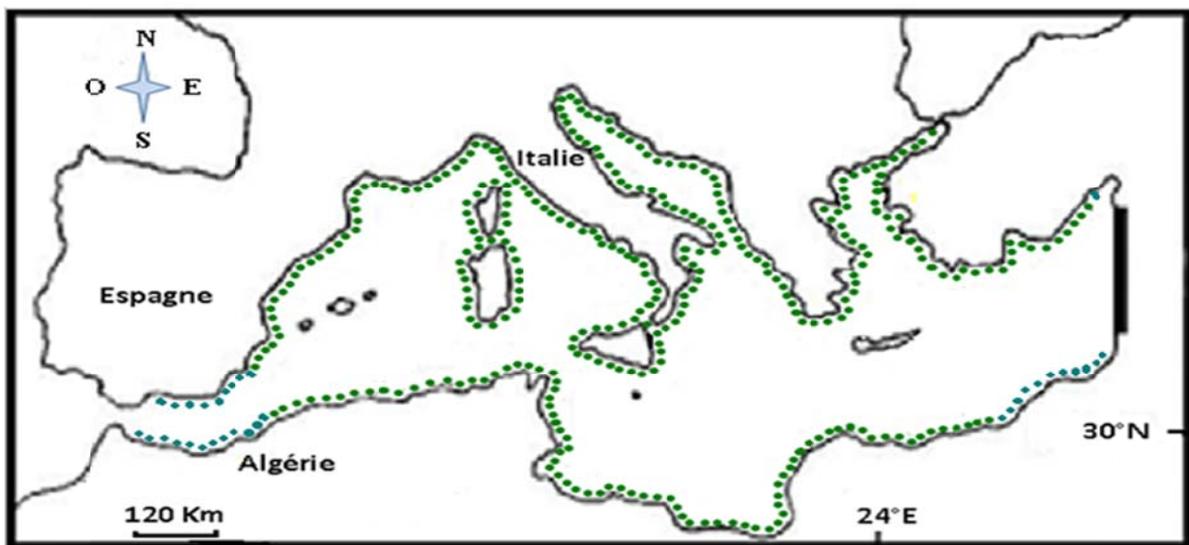


Figure 5 : Répartition de *P.oceanica* le long des côtes Méditerranéennes (WANGELUWE, 2007 Modifiée).

## 2.5. Biologie de *Posidonia oceanica*

*P. oceanica* (Figure 6) est une Magnoliophyte marine longévive endémique de la Méditerranée appartenant à la famille des Posidoniaceae. Elle fut décrite de manière précise pour la première fois en 1623 par G. Bauhin (DEN HARTOG, 1970) sous le nom d'Alga marina. Ce n'est qu'en 1813 que Delile, dans la flore d'Égypte, lui a donné son nom actuel de *P. oceanica* (Linnaeus) Delile. La structure des pousses de posidonies a été largement décrite dans de nombreux ouvrages et travaux (DEN HARTOG, 1970; CAYE 1980; BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982; BAY, 1984; GOBERT *et al.*, 2005a). Elles ont la même structure cellulaire (COLOMBO *et al.*, 1983) et la même morphologie que les autres Magnoliophytes marines.



Figure 6 : Aspect de l'herbier à *Posidonia oceanica* à Cap Carbon (Photo CHAHROUR, 2013).

### 2.5.1. Morphologie

Comme toutes les Magnoliophytes marines *Posidonia oceanica* est organisée en tiges rampantes ou dressées de consistance ligneuse et légèrement aplaties généralement enfouies dans le sédiment appelées rhizomes. Les feuilles aplaties présentent à leur base une courte gaine correspondant au pétiole des plantes terrestres. Cette dernière est séparée du reste de la feuille par une petite languette ligneuse appelée ligule (CAYE, 1980) (Figure 7).

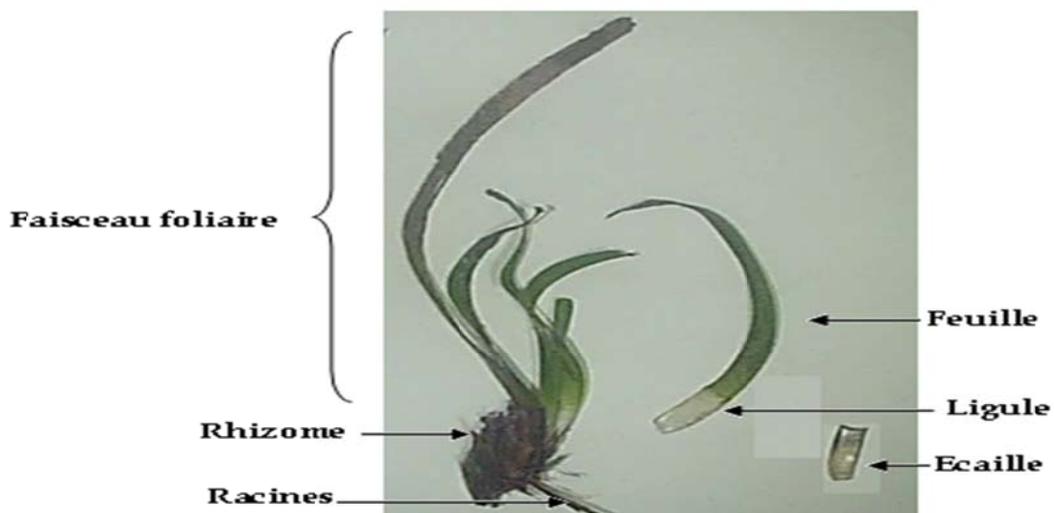


Figure 7 : Morphologie de *Posidonia oceanica* (Photo CHAHROUR, 2013).

Lorsque la feuille sénescence tombe, la ligule (gaine) reste attachée au rhizome et forme les écailles (GRENIER, 1860) qui peuvent persister des milliers d'années (plus de 4 000 ans) selon BOUDOURESQUE *et al.*, (1980) et BOUDOURESQUE et JEUDY DE GRISSAC (1983). Le renouvellement des feuilles est continu chez *Posidonia oceanica*; tout au long de l'année, des feuilles se mettent en place au centre du faisceau tandis que les vieilles feuilles tombent à sa périphérie (PANAYOTIDIS et GIRAUD, 1981; ROMERO, 1989). *Posidonia oceanica* représente un excellent substrat pour la colonisation par une faune sessile et une flore formant la communauté **épiphyte** (Figure 8) des feuilles de Posidonie.

**La flore épiphyte** est composée d'une part d'un feutrage épiphyte comprenant des diatomées et des cyanobactéries et d'autre part de macroalgues. Dans les macroalgues, nous trouvons principalement des rhodophycées (algues rouges), des phaeophycées (algues brunes) et des chlorophycées (algues vertes). Des algues encroûtantes telles les mélobésiées et corallinacées sont aussi fort présentes. La biomasse des épiphytes peut représenter jusqu'à plus de 30% de la biomasse de la canopée. (MAZZELLA et OTT., 1984; LEPOINT, 1994; LEPOINT *et al.*, 1999; GOBERT, 2002; BOROWITZKA *et al.*, 2006). De par leur abondance les algues épiphytes représentent un compartiment important dans l'herbier à *Posidonia oceanica*. Les algues calcaires sont responsables d'un dépôt de carbonate de calcium et de magnésium qui peut atteindre plus de 100 g de carbonate mixte m<sup>-2</sup> an<sup>-1</sup> (CANALS et BALLESTEROS, 1997). Les différentes contributions à la production primaire totale dans les herbiers de phanérogame marine se situeraient en général à 24-38% pour la production foliaire, 33-42% pour les macroalgues benthiques et à 20-60% pour la flore épiphyte (MATEO *et al.*, 2006; DUARTE et CHISCANO, 1999; LEPOINT *et al.*, 1999).

Il est à signaler qu'une part non négligeable des épiphytes sont des animaux sessiles.

**La faune épiphyte** est dominée par des animaux filtreurs, ascidies, hydrozoaires, bryozoaires, foraminifères et polychètes. Plusieurs espèces sont inféodées à *Posidonia oceanica* dont le bryzoaire *Electra posidoniae* (ROMERO, 1988; MARBA *et al.*, 2006; BOROWITZKA *et al.*, 2006). Ces animaux suspensivores jouent un rôle actif en ce qui

concerne la sédimentation particulière dans les herbiers à phanérogame marine (AGAWIN et DUARTE, 2002).

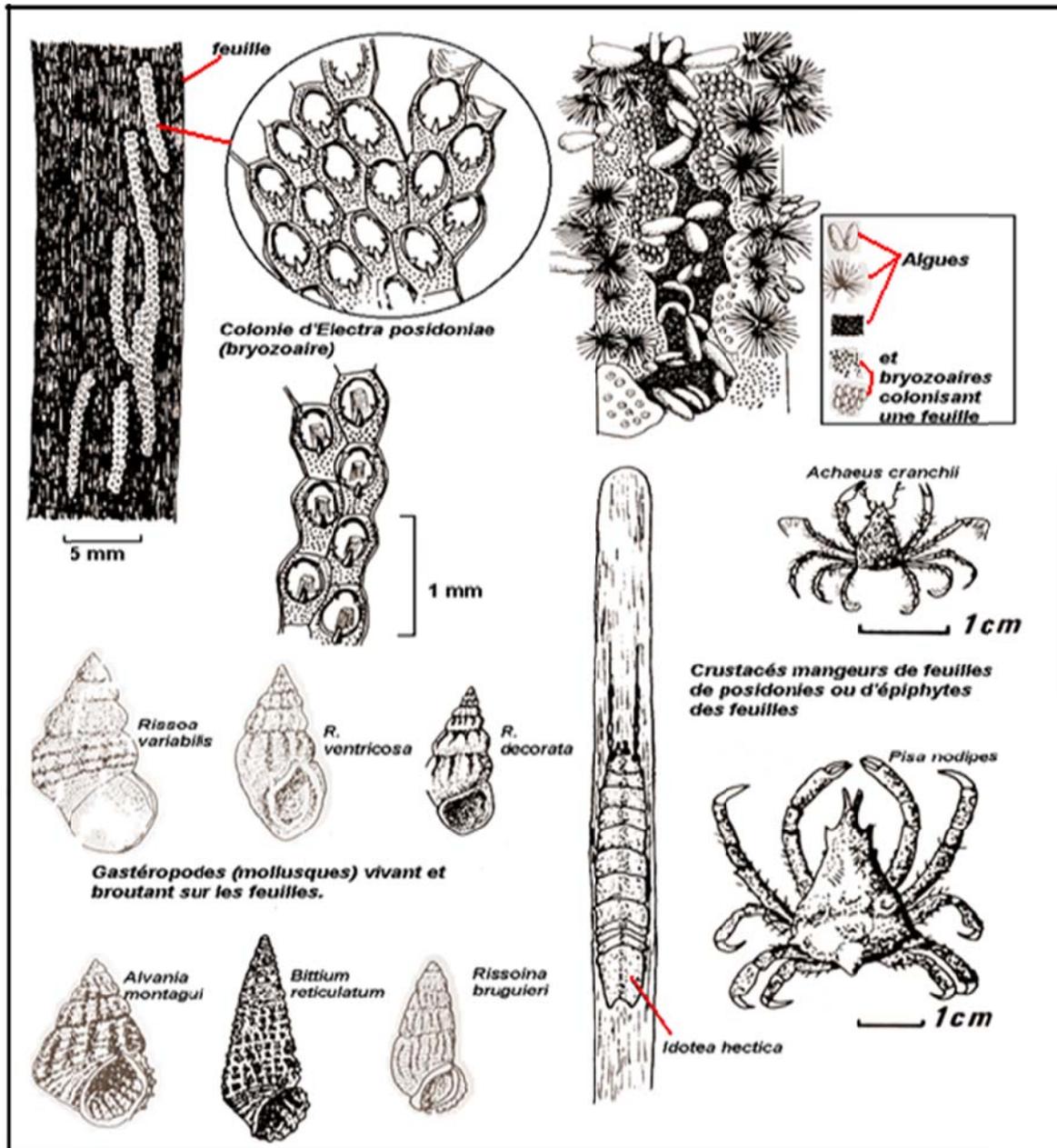


Figure 8 : Quelques exemples d'épiphytes (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982).

## 2.5.2. Croissance et développement

Les feuilles (Figure 9) sont rubanées et ont une croissance basale. Suivant la saison, elles peuvent mesurer de quelques centimètres à plus d'un mètre de long. Leur largeur par contre est assez constante durant toute l'année, près de 0.9 cm (GOBERT, 2002). Les feuilles sont disposées en faisceau, les nouvelles feuilles apparaissent en son centre. Les feuilles les plus âgées se trouvent donc à l'extérieur du dit faisceau.

Si la croissance se fait tout au long de l'année, elle est plus importante au printemps (GOBERT, 2002). En automne et en hiver, les vieilles feuilles plus ou moins nécrosées sont facilement arrachées par les nombreuses tempêtes sévissant en Méditerranée à ces époques. La base des feuilles mortes tombées reste accrochée au rhizome et forme les écailles. Le temps de vie moyen d'une feuille est compris entre 7 et 12 mois, cela dépend de la période d'apparition de celle-ci. Le remplacement complet de la canopée, à 10 m, s'effectue en moyenne tous les 55 à 90 jours. La biomasse de la canopée à 10 m sur une année est environ de 600 g ms m<sup>-2</sup> (BAY, 1984; GOBERT, 2002). Le temps de vie d'une feuille et le temps de remplacement de la canopée pour *Posidonia oceanica* peuvent être considérés comme relativement longs au regard de ceux correspondant aux autres phanérogames marines (WAYCOTT et LES., 2000). Les tiges portant les faisceaux de feuilles sont des rhizomes.

**Les rhizomes** (Figure 8 b) présentent, soit une croissance horizontale (plagiotrope) permettant à la plante la conquête des surfaces découvertes donc l'extension de l'herbier, soit une croissance verticale (orthotrope) lui permettant de lutter contre l'ensevelissement par le sédiment et le développement continu de la canopée (MOLINIER et PICARD, 1952 ; CAYE, 1980 ). Les rhizomes plagiotropes présentent des racines adventives qui fixent la plante au sédiment, d'un diamètre supérieur à 2 mm, d'aspect rugueux et de texture ligneuse qui peuvent descendre jusqu'à 70 cm dans le sédiment (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982) (Figure 9 b). Ces racines ont deux rôles : un rôle d'encrage de la plante et un rôle de prélèvement de nutriments dans le substrat (BOUDOURESQUE, 2006).

C'est ce dimorphisme lié à la croissance des rhizomes qui est à la base de la formation de la matrice (CAYE, 1980) (Figure 9 a). Cette dernière est constituée par un lacs de rhizomes, morts et/ou vivants, de racines et de sédiment hétérogène (d'origine autochtone et/ou allochtone) qui colmate les interstices (MOLINIER et PICARD, 1952 ; BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982).

Le rhizome présente des racines qui fixent la plante au sédiment et lui permettent de prélever les nutriments nécessaires à sa croissance et à son développement

(BRISTOW et WHITCOMBE, 1971; HEMMINGA, 1998). Les rhizomes et les racines constituent de véritables pièges à sédiment.

Ces mattes peuvent atteindre une épaisseur de 8 m à la vitesse de 1 mètre par siècle, en fonction du taux de sédimentation et des cycles érosion-construction ; dans la rade d'Hyères, une épaisseur minimale de 10 m a été observée. Il en résulte que, dans les baies, elles peuvent atteindre la surface ou s'en approcher (MOLINIER et PICARD, 1952 ; BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982).

Elle peut aboutir, après un certain temps, dans les zones abritées, à l'affleurement de l'herbier à la surface de l'eau formant ainsi un récif-barrière, qui isole derrière lui un lagon occupé par la biocénose des "Sables Vaseux en Mode Calme" (MOLINIER et PICARD, 1952). La dégradation accidentelle de ces mattes peut signifier, localement, la mort de l'herbier par écroulement, érosion et bris des plants (VANGELUWE, 2007).

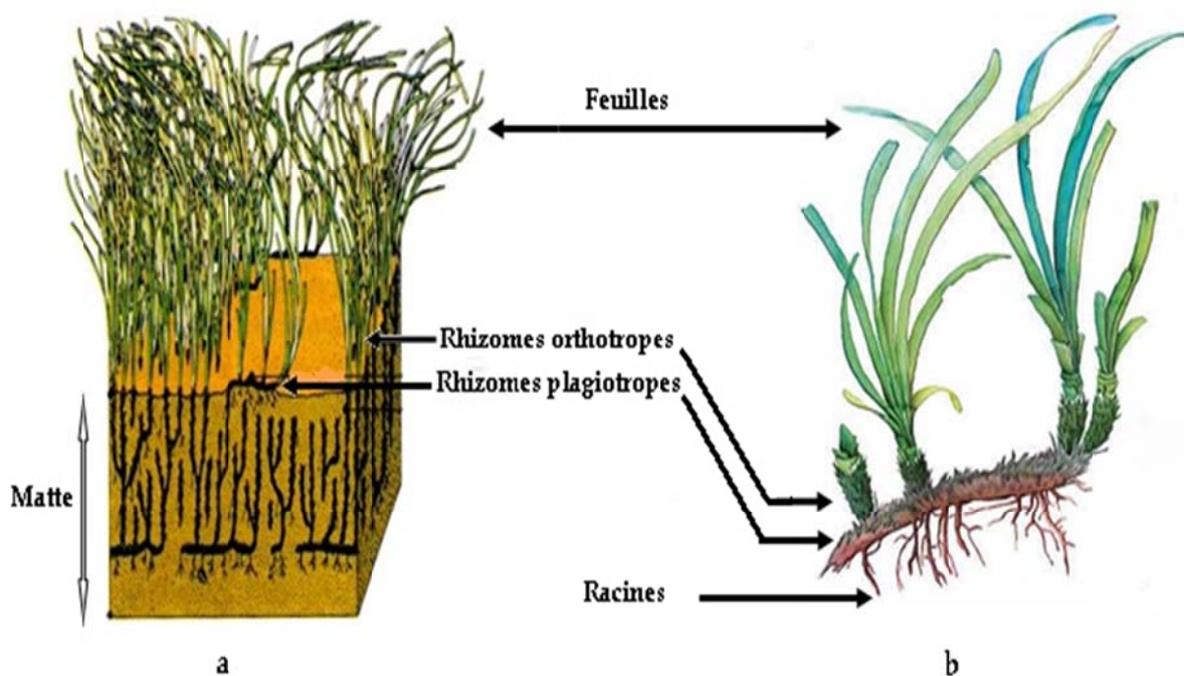


Figure 9 : a) Bloc diagramme montrant la structure d'une matte ; b) Un rhizome plagiotrope de *Posidonia oceanica* portant des racines ainsi que des rhizomes orthotropes avec des faisceaux de feuilles à leurs extrémités. (BOUDOURESQUE et al., 2006 ; modifié).

### 2.5.3. Cycle de vie

Le cycle de vie de *Posidonia oceanica* est annuel (Figure 10). La reproduction peut être asexuée ou plus rarement sexuée. En cas de conditions défavorables à la germination, les graines entrent **en dormance**.

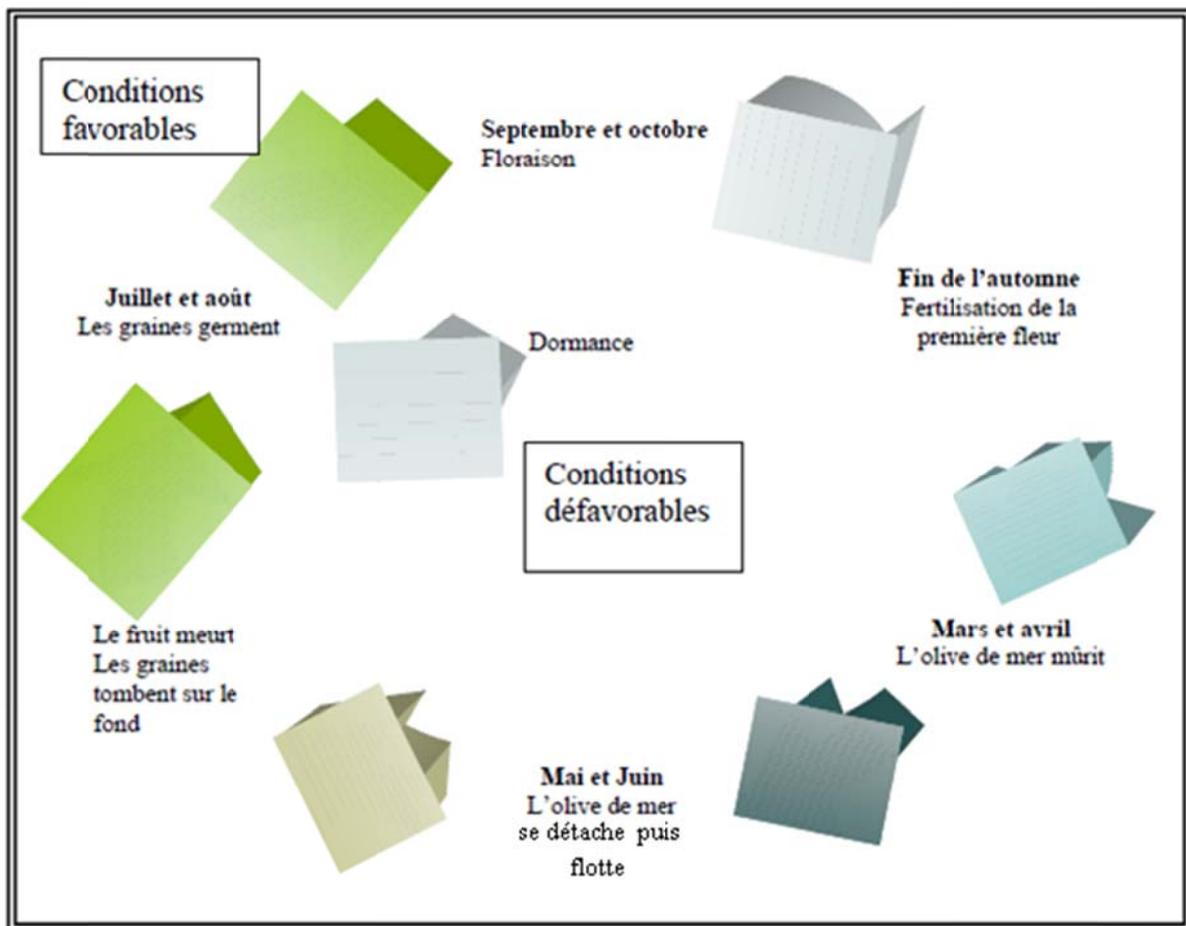


Figure 10 : Cycle de vie de Posidonie (CINELLI *et al.*, 1995)

#### 2.5.3.1. Reproduction sexuée

La reproduction sexuée de *Posidonia oceanica* se fait par la production de fleurs, de fruits et de graines. Toutefois, la floraison de *Posidonia oceanica* est peu fréquente, elle se produit à l'automne (septembre - novembre). Les fleurs sont hermaphrodites, 4 à 10 fleurs sont groupées en une inflorescence au sommet d'un pédoncule floral de 10 à 30 cm de long (GIRAUD, 1977a). La floraison ne se produit pas tous les ans, surtout dans les eaux relativement froides du Nord de la Méditerranée Occidentale. Certaines années ont été marquées par une floraison particulièrement intense, à l'échelle de l'ensemble de la Méditerranée, par exemple les années 1971, 1982, 1993,

1997 et 2003 (GIRAUD, 1977c ; BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982 ; MAZZELLA et al., 1983, 1984 ; CAYE et MEINESZ, 1984 ; PERGENT, 1985 ; PERGENT et al., 1989a ; ACUNTO et al., 1996 ; PIAZZI et al., 1999 ; GOBERT et al., 2005).

Elles peuvent donner naissance à des fruits appelés "olives de mer" qui contiennent une seule graine (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982) (Figure 11). Il faut 6 à 9 mois aux fruits de *Posidonia oceanica* pour mûrir. Entre mai et juillet, ils se détachent et flottent un certain temps, puis tombent sur le fond et, si la nature du substrat et les facteurs physico-chimiques sont favorables, la germination d'un embryon libéré par la déhiscence du fruit, peut avoir lieu (GAMBI et al., 1996).

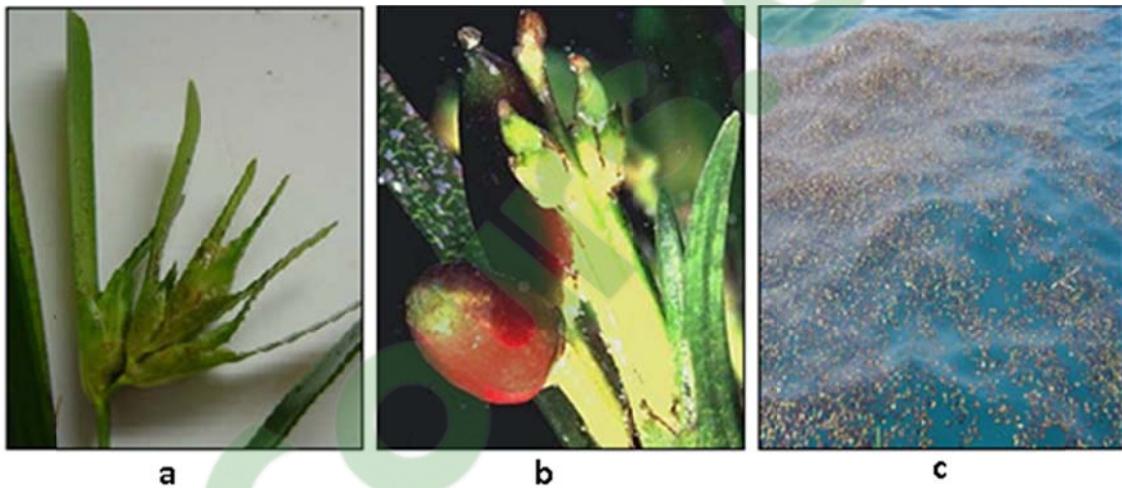


Figure 11 : Fruits de *Posidonia oceanica* (« olive de mer»). a : Début de fructification. b : Fruits mûrs. c : Fruits à la surface de l'eau (LAFABRIE, 2007).

### 2.5.3.2. Reproduction asexuée

La maturation des graines semble relativement rare et la reproduction de *Posidonia oceanica* se fait essentiellement de façon asexuée (MOLINIER et PICARD, 1952 ; MEINESZ et LEFEVRE, 1984) par multiplication végétative, elle consiste en une fragmentation naturelle des rhizomes de la plante, terminés par un faisceau vivant, à la suite de tempête ou de courants marins (MEINESZ et LEFEVRE, 1984).

Toutefois, ce mode de multiplication nécessite des contraintes importantes pour l'implantation des boutures et reste donc peu fréquent. La multiplication végétative de *Posidonia oceanica* se produit donc essentiellement par multiplication et accroissement des axes (CAYE et MEINESZ, 1984). Cette reproduction est réalisée par stolonisation.

Elle se fait par la multiplication et la croissance des rhizomes orthotropes et plagiotropes. Ce processus est particulièrement lent ; le rhizome orthotrope croît d'environ un centimètre au cours d'un an et le rhizome plagiotrope augmente de 3,5 à 7,5 cm par an (CINELLI *et al.*, 1995).

Une autre forme de reproduction végétative par pseudo-viviparité a été récemment observée en mai 2004 aux îles Baléares (BALLESTEROS *et al.*, 2005). Des plantules végétatives se forment directement sur les inflorescences et remplacent les organes de reproduction sexuée. Cette stratégie contribue à une dispersion à courte distance. On ignore, pour le moment, s'il s'agit d'un mode de reproduction très local, ou s'il concerne d'autres régions de Méditerranée.

## **2.6. Physiologie**

Comme tous les producteurs primaires végétaux, les phanérogames sont des Ph-autotrophes. Cette dépendance vis-à-vis de la lumière impose une profondeur maximale d'extension des herbiers de posidonie. Cette profondeur dépend du site et en général varie de 30 à 40 m (GOBERT, 2002; PERGENT *et al.*, 1994). Les phanérogames marines sont des plantes terrestres qui ont colonisé le milieu marin il y a plusieurs dizaines de millions d'années (JAMES et LARKUM, 1996; DEN HARTOG et KUO, 2006). *Posidonia oceanica* est une plante avec un métabolisme en C3 (KUO et DEN HARTOG, 2006; LARKUM *et al.*, 2006) transformant le CO<sub>2</sub>, source de carbone inorganique (Figure 11) grâce à l'enzyme Ribulose 1,5 bisphosphate carboxylase/oxygénase (RubisCO) en un sucre en C6 instable qui se décompose instantanément en un dérivé d'un sucre en C3 (3- phosphoglycerate) qui, lui, est stable. La dénomination « plante avec un métabolisme en C3 » provient donc de cet intermédiaire du cycle Calvin-Benson (WEIL, 1994). Pour réussir la colonisation du milieu marin, les plantes avec un métabolisme en C3 ont dû résoudre le problème de la faible disponibilité de CO<sub>2</sub> dans l'eau de mer. Dans l'eau de mer, le pH se trouve en général aux environs de 8, et à cette valeur, la forme de loin la plus dominante du carbone inorganique est l'ion bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) alors que la RubisCO requiert une molécule de CO<sub>2</sub>. De même, lors de la Photosynthèse il y'a production d'oxygène moléculaire qui peut se lier à la RubisCO dans la Photorespiration, et il faut donc que cet oxygène puisse être évacué pour ne pas inhiber la Photosynthèse. Un autre problème

est lié à la diffusion moléculaire des gaz qui, dans l'eau, est 10.000 fois plus lente que dans l'air (JAMES et LARKUM, 1996). Les phanérogames ont acquis de nombreuses adaptations leur permettant de maximaliser leur métabolisme en milieu marin. La plus importante de ces adaptations est sans conteste la possibilité d'incorporer le  $\text{HCO}_3^-$  comme source de carbone inorganique. Cette possibilité est démontrée pour la majorité des espèces de phanérogames marines (BEER et *al.*, 2002b), y compris les posidonies (LEPOINT et *al.*, 2002). Pour l'acquisition du carbone inorganique (Figure 12), il existe principalement trois possibilités : l'une basée sur le  $\text{CO}_2$ , les deux autres sur  $\text{HCO}_3^-$  (LARKUM et *al.*, 2006) :

- le  $\text{CO}_2$  dissous dans l'eau de mer peut diffuser directement et passivement vers l'intérieur de la cellule, pour ensuite être intégré au cycle de Calvin-Benson.

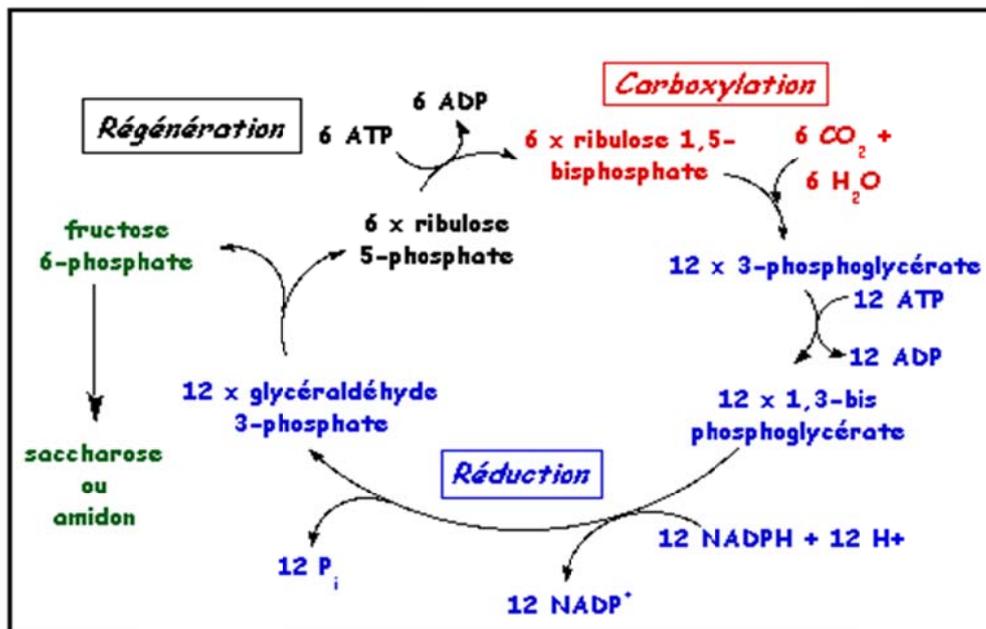


Figure 12 : Cycle de Calvin-Benson (WEIL, 1994).

- l'ion  $\text{HCO}_3^-$ , la forme la plus importante de carbone inorganique, ne peut traverser passivement la membrane cellulaire.

Deux mécanismes sont alors possibles : soit l'ion  $\text{HCO}_3^-$  est transformé en  $\text{CO}_2$  à l'extérieur de la cellule soit cette transformation est effectuée dans le cytoplasme mais il y a alors nécessité d'un transport membranaire actif. Dans le cas des Posidonies, les feuilles sont rubanées, ce qui augmente le rapport surface/volume, de même que le rapport entre les cellules Photosynthétiques et les cellules constituantes des autres

tissus. La cuticule est extrêmement fine ce qui facilite le transfert des gaz entre les cellules de la feuille et l'eau de mer.

L'acquisition d'un système lacunaire (aérenchyme) tout au long de la feuille permet d'avoir une flottabilité positive. Cet espace lacunaire permet le transfert rapide d'oxygène vers les rhizomes et les racines (Figure 13) (car les stomates ont disparus), ceci étant important pour la respiration des tissus non Photosynthétiques mais aussi pour l'oxydation des sulfures (toxiques) provenant de la sulfato-réduction dans les eaux interstitielles (BORUM et al., 2006).

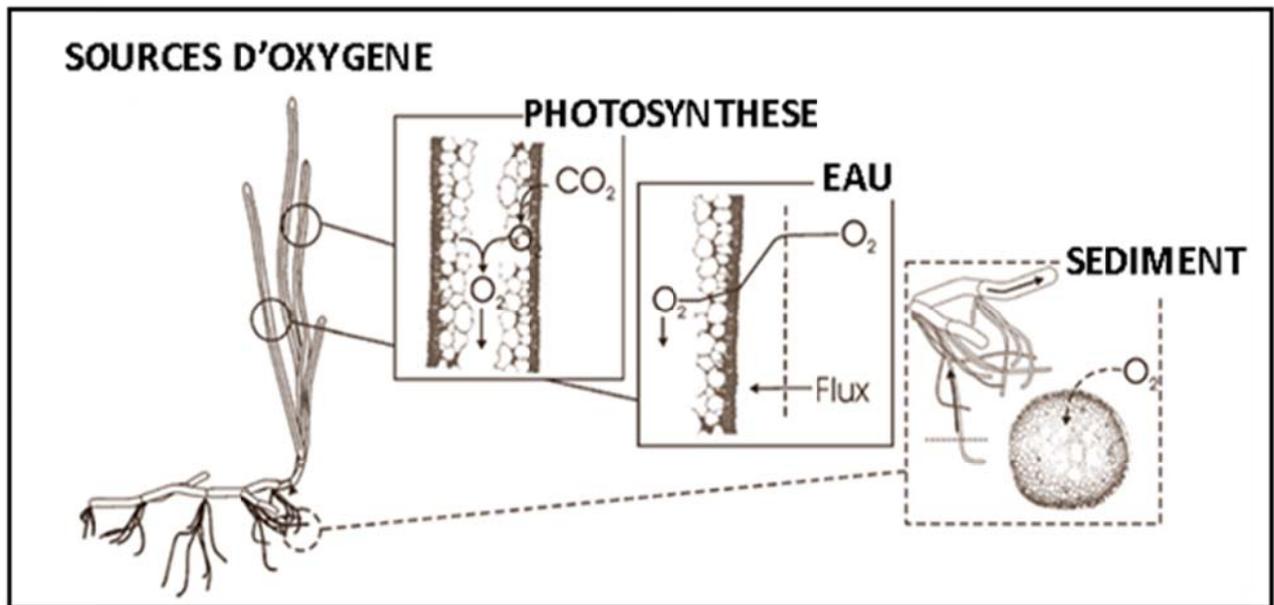


Figure 13 : Représentation des transferts possibles d'O<sub>2</sub> vers les racines et rhizomes. (BORUM et al, 2006).

## 2.7. Écologie

L'herbier de Posidonie est considéré comme un écosystème pivot du littoral Méditerranéen (MOLINIER et PICARD, 1952 ; BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982), abritant à plusieurs niveaux (matte, feuilles, canopée) et au cours des saisons, de nombreuses espèces à divers stades de développement. En mode calme, *Posidonia oceanica* peut se développer très près du niveau moyen de la mer, ses feuilles s'étalent alors à la surface.

La **profondeur** maximale dépend de la transparence de l'eau (BEN, 1971 ; PERGENT et al., 1985 ; BALLESTA et al., 2000, BIANCHI et PEIRANO, 1995 ,DIVIACCO et al., 2001,BOURCIER, 1979 ; CRISTIANI, 1980 ; HARMELIN et LABOREL, 1976,

MOLINIER, 1960 ; BAY, 1979 ; MEINESZ et *al.*, 1987 ; PASQUALINI, 1997, GIRAUD et *al.*, 1979, SCHEMBRI, 1995 ; AUGIER et BOUDOURESQUE, 1979 ; BOUDOURESQUE et *al.*, 1990 c).

**La lumière** constitue l'un des facteurs les plus importants pour la répartition et la densité de *P. oceanica* (ELKALAY et *al.*, 2003).

*Posidonia oceanica* craint la **dessalure** c'est une espèce sténohaline. Elle dépérit immédiatement en deçà de 33‰ et au-delà de 41‰, ce qui explique sa absence aux embouchures des fleuves (BEN ALAYA, 1972). L'absence de *P. oceanica* de la partie centrale de nombreuses plages pourrait correspondre à la zone de résurgence de la nappe phréatique (LERICHE, 2004). L'espèce semble mieux résister aux salinités élevées, en effet, elle est présente dans des lagunes hyper salines de Tunisie (46‰ en moyenne en été) et de Libye (39 - 44‰, en fonction de la saison) ; dans ces lagunes, sa vitalité (nombre de feuilles produites par an, croissance des rhizomes) semble identique, voire supérieure à ce qui est observé en mer ouverte (PERGENT et ZAOUALI, 1992 ; PERGENT et PERGENT-MARTINI, 2000 ; PERGENT et *al.*, 2002). Les températures extrêmes mesurées dans un herbier à *P. oceanica* sont 9,0 et 29,2°C (AUGIER et *al.*, 1980 ; ROBERT, 1988).

Il est possible toutefois que les **températures** basses (moins de 10°C) et hautes (plus de 28°C) ne soient supportées qu'exceptionnellement. L'absence de *P. oceanica* des côtes de la Méditerranée Orientale, et sa rareté dans le Nord de l'Adriatique et le long des côtes languedociennes, pourraient être dues respectivement aux températures estivales et hivernales (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982). Par ailleurs, en profondeur, MAYOT et *al.* (2005) suggèrent que l'augmentation de la température de l'eau de mer qui est observée actuellement (SALAT et PASCUAL, 2002) pourrait avoir un effet négatif sur *P. oceanica*.

*Posidonia oceanica* craint un **hydrodynamisme** trop intense. Les tempêtes arrachent des faisceaux de feuilles, dont certains constitueront des boutures. Elles peuvent éroder la matre, soit directement, soit en la vidant de son sédiment, ce qui la fragilise.

Dans la littérature, il n'est pas rare que la présence de *matte morte* ait été interprétée à tort, comme le signe univoque d'un impact de l'homme (MORENO *et al.*, 2001).

## 2.8. Structure des herbiers à *Posidonia oceanica*

Les rhizomes de *P. oceanica* croissent en hauteur, même en l'absence de sédimentation. Pour résister à l'ensevelissement, ils sont capables d'accélérer leur croissance (MOLINIER et PICARD, 1952 ; CAYE, 1980 ; BOUDOURESQUE et JEUDY DE GRISSAC, 1983 ; BOUDOURESQUE *et al.*, 1984 ; JEUDY DE GRISSAC et BOUDOURESQUE, 1985 ; BOUDOURESQUE *et al.*, 1994b).

On nomme **matte** l'ensemble constitué par les rhizomes, les écailles, les racines et par le sédiment qui remplit les interstices. Les rhizomes, les écailles et les racines sont peu putrescibles et se conservent donc, à l'intérieur de la *matte*, pendant plusieurs siècles ou millénaires (BOUDOURESQUE *et al.*, 1980d; BOUDOURESQUE et JEUDY DE GRISSAC, 1983). Au cours du temps, la *matte* monte vers la surface. La montée de cette *matte* peut amener l'herbier au voisinage de la surface.

En **mode battu**, cette montée s'arrête à 1 ou 2m sous la surface. L'hydrodynamisme s'oppose en effet à la poursuite de cette élévation et détermine la formation d'une *pénéplaine de matte morte* (Figure 14) (MOLINIER et PICARD, 1952 ; BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982).

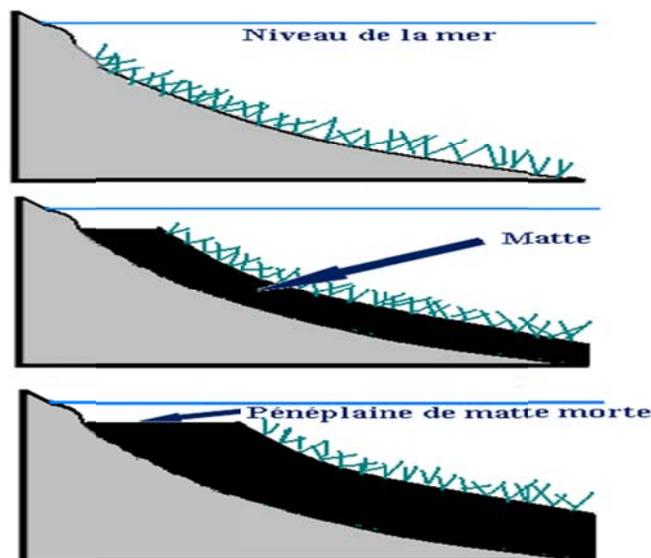


Figure 14 : Dynamique de l'herbier à *Posidonia oceanica* en mode battu. La montée de la "matte", au cours du temps, s'arrête à 1-2m de profondeur. L'érosion par l'hydrodynamisme de surface détermine la formation d'une *pénéplaine de "matte morte"* (BOUDOURESQUE 1982, modifié).

### 2.8.1. Récif-frangeant

En mode calme, plus particulièrement au fond des baies, en revanche, la montée de la marée peut se poursuivre jusqu'à la surface. Les feuilles s'étalent à la surface. Dans un premier temps, l'émersion de l'extrémité des feuilles se localise le long de la côte. Par la suite, la poursuite de la montée de la marée élargit le récif-frangeant. Au sein du récif-frangeant, les feuilles et la faible profondeur gênent la circulation des eaux ; la température peut descendre en dessous (en hiver) ou s'élever au-dessus (en été) des limites de tolérance de *P. oceanica* ; il en va de même de la salinité, lors des épisodes de pluie. Entre la côte et le front d'émersion de *P. oceanica*, les Posidonies meurent : il se forme ainsi un **lagon** (Figure 15) (MOLINIER et PICARD, 1952 ; BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982).

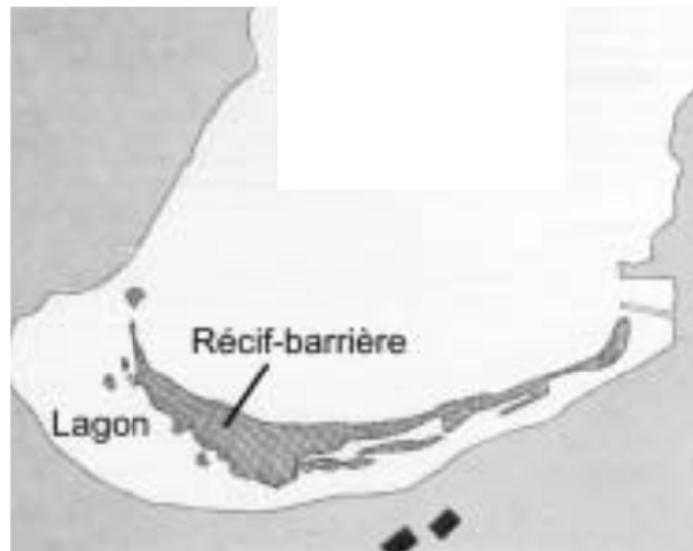


Figure 15 : Le récif-barrière de Posidonie de la baie de Port-Cros (Var, France), au début du 20ème siècle (BOUDOURESQUE et al. 1975).

### 2.8.2. Récif-barrière

Le front d'émersion de *P. oceanica* constitue alors un récif-barrière. Avec le temps, le récif-barrière progresse vers le large et le lagon s'élargit (Figure 16). (MOLINIER et PICARD, 1952 ; AUGIER et BOUDOURESQUE, 1970 a). La progression vers le large du récif-barrière a été estimée à 8-10 m par siècle. Dans le lagon, dont le fond est vaseux, deux Magnoliophytes à feuilles plus étroites et plus courtes que celles de la Posidonie peuvent s'installer : *Cymodocea nodosa* et *Nanozostera noltii*.

De nombreux récifs-barrières ont été détruits, du fait de leur localisation dans des baies qui ont été transformées en ports. Les récifs-barrières les plus spectaculaires encore existants sont ceux de Port-Cros, du Brusc et de la Madrague de Giens (Var, France) (MOLINIER et PICARD, 1952; AUGIER et BOUDOURESQUE, 1970a ; BOUDOURESQUE *et al.*, 1975 ; BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982 ; BERNARD *et al.*, 2002 ; CHARBONNEL *et al.*, 2002). Des récifs-barrières moins typiques, ou moins bien connus, existent également (ou ont existé) au Sud de Port-Bou (Catalogne, France), à Puerto de Sanitja (Minorque, Baléares, Espagne), à Rapallo et Prelo (Italie), dans l'anse de Kouali et entre Bou-Ismaïl et Sidi-Ferruch (Algérie), à La Marsa et à Sidi-el-Reiss (Tunisie), à Urla-Iskele (golfe d'Izmir, Turquie) et enfin à Abu-Qir (Egypte) (MOLINIER et PICARD, 1954 ; ALEEM, 1955 ; MOLINIER et PICARD, 1956 ; MOLINIER, 1960 ; BEN ALAYA, 1969 ; BOUDOURESQUE *et al.*, 1985b ; PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1985 ; BOUDOURESQUE *et al.*, 1994b ; BIANCHI et PEIRANO, 1995 ; CHARBONNEL *et al.*, 1996 ; RIBERA *et al.*, 1997 ; SANCHEZ-LIZASO, 2004).

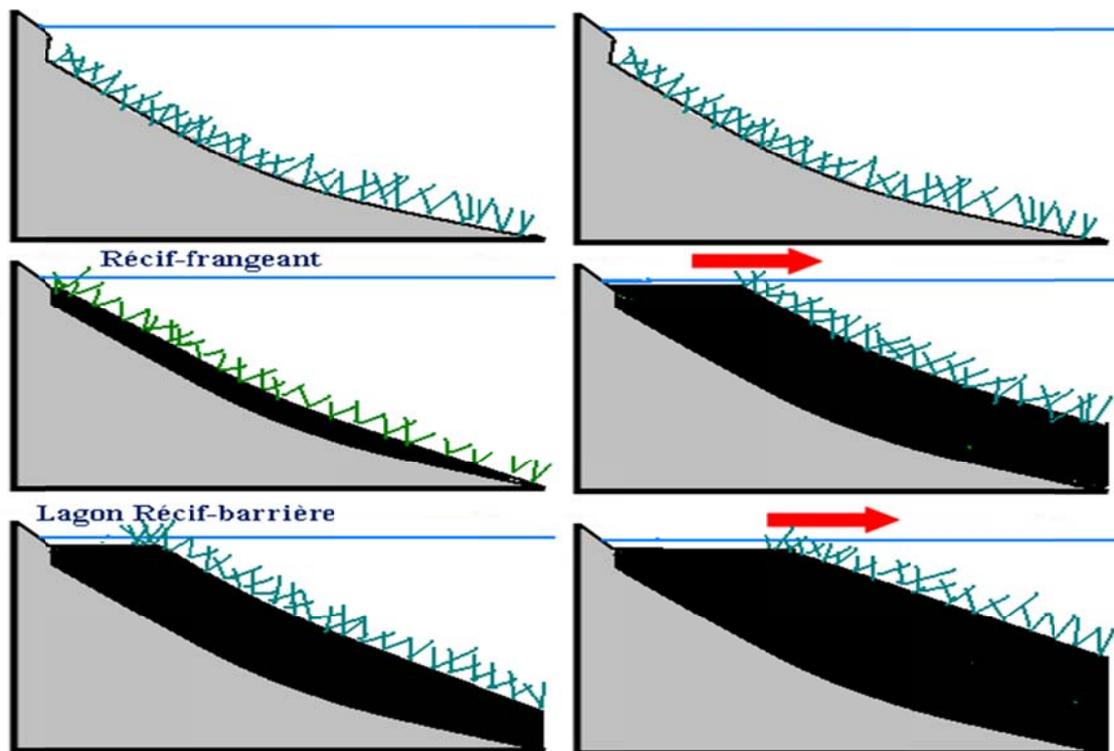


Figure 16 : Dynamique de l'herbier à *Posidonia oceanica* en mode calme. La montée de la "matte", au cours du temps, peut se poursuivre jusqu'à la surface. Il se forme d'abord un récif-frangeant, puis un récif-barrière séparé de la côte par un lagon. Avec le temps, le récif-barrière progresse vers le large (BOUDOURESQUE 1982, modifié).

## 2.9. Les types d'herbier à *Posidonia oceanica*

L'herbier à *Posidonia oceanica* peut se présenter sous un certain nombre de types morpho-structuraux qui sont liés à l'hydrodynamisme, aux courants et/ou à la température des eaux. Toutefois, ces types d'herbier ne semblent pas avoir d'influence sur la densité des faisceaux, la longueur des feuilles, le nombre de feuilles par faisceau ou la biomasse (BORG *et al.*, 2005).

### 2.9.1. L'herbier de plaine

Constitue le type d'herbier le plus courant en Méditerranée, tout particulièrement en Méditerranée Occidentale (Figure 17). Il se présente sous la forme d'une prairie plus ou moins continue, horizontale ou en pente modérée, interrompue par des structures érosives (tombants de matte, intermattes érosives, intermattes déferlantes, rivières de retour) et des mattes mortes non érosives (intermattes structurelles) (BOUDOURESQUE *et al.*, 1980d, 1985a). Toutes ces structures sont d'origine naturelle (BLANC et JEUDY DE GRISSAC, 1984).

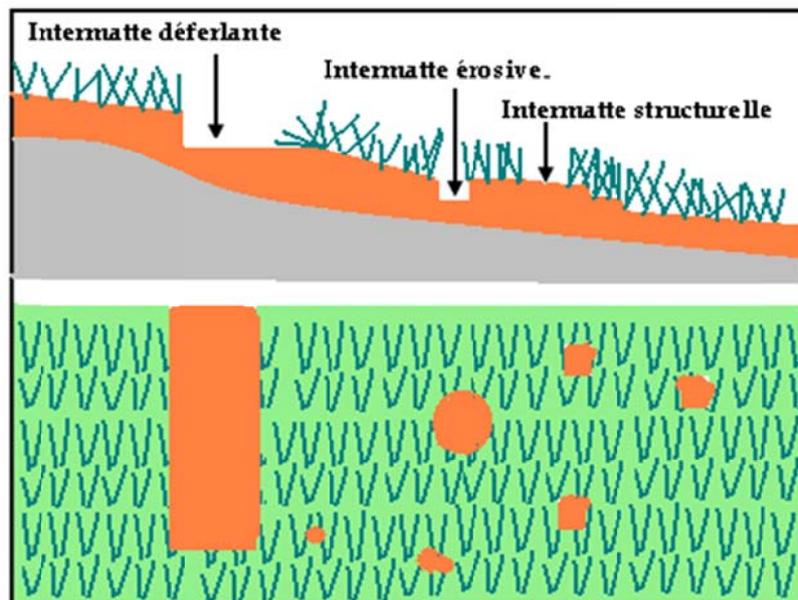


Figure 17 : L'herbier de plaine. En haut, coupe perpendiculaire à la côte. En bas, vue de dessus des mêmes structures (BOUDOURESQUE 1982, Modifié).

### 2.9.2. L'herbier de colline

Il est moins fréquent. Il se rencontre entre 15 et 30m de profondeur, dans des secteurs où l'hydrodynamisme est important (BOUDOURESQUE *et al.*, 1985a). Dans l'herbier de colline, des boutures de *P. oceanica* donnent naissance à des collines qui

s'accroissent en largeur et en hauteur. Les collines sont généralement entourées par du sable (Figure 18). La croissance en hauteur des collines les expose à l'hydrodynamisme : à leur sommet, le sédiment de la matte se maintient mal et les rhizomes se déchaussent. Les rhizomes déchaussés sont vulnérables, de telle sorte qu'une intermatte se forme. Avec le temps, cette intermatte s'élargit, jusqu'à ce que la colline soit entièrement (ou presque) détruite. La durée de vie d'une colline, entre sa naissance et sa destruction, serait de l'ordre d'un siècle (BOUDOURESQUE et *al.*, 1985a, 1986a). Il semble que la destruction ne soit pas toujours complète, et qu'une nouvelle colline puisse naître des restes d'une ancienne colline.

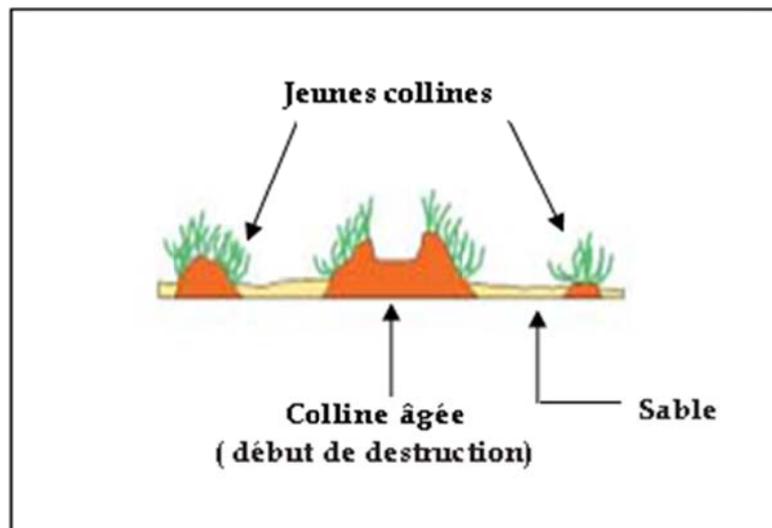


Figure 18 : Coupe transversale dans un herbier de colline (BOUDOURESQUE 1982, Modifié).

### 2.9.3. L'herbier tigré

Correspond généralement à des bandes d'herbier à *P. oceanica* de 1 à 2m de largeur, plusieurs dizaines de mètres de longueur, séparées par de la "matte morte" occupée par un peuplement à *Cymodocea nodosa* et/ou *Caulerpa prolifera* (Figure19). Les bandes d'herbier se déplacent parallèlement à elles-mêmes, contre le courant dominant, à une vitesse moyenne de 10 cm/an. En coupe transversale, une bande d'herbier comporte d'un côté un front de rhizomes plagiotropes, qui progresse sur la "matte morte", une pente douce en arrière du front, et un petit tombant érosif au niveau duquel la bande se détruit (BOUDOURESQUE et *al.*, 1985b ; BOUDOURESQUE et *al.*, 1990a).

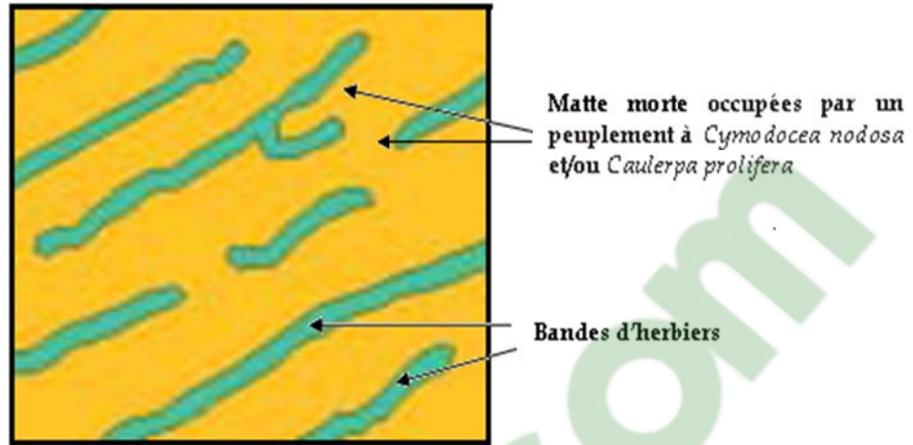


Figure 19 : Un herbier tigré, vu de dessus (BOUDOURESQUE et *al.* 1985b)

#### 2.9.4. Les micro-atolls

Les micro-atolls de *P. oceanica* sont souvent associés à l'herbier tigré. Un micro-atoll est, à l'origine, une tache plus ou moins circulaire de *P. oceanica*, à très faible profondeur. La Posidonie meurt au centre de la tache, tandis que celle-ci s'agrandit, grâce à des rhizomes plagiotropes, à sa périphérie, donnant ainsi naissance à une couronne de Posidonie (Figure 20) (BOUDOURESQUE et *al.*, 1990a). Des micro-atolls ont été décrits en Turquie, à Marsala (Sicile Occidentale) et à Sain-Florent (Corse) (CALVO et FRADA-ORESTANO, 1984 ; BOUDOURESQUE et *al.*, 1990a ; PASQUALINI et *al.*, 1995).

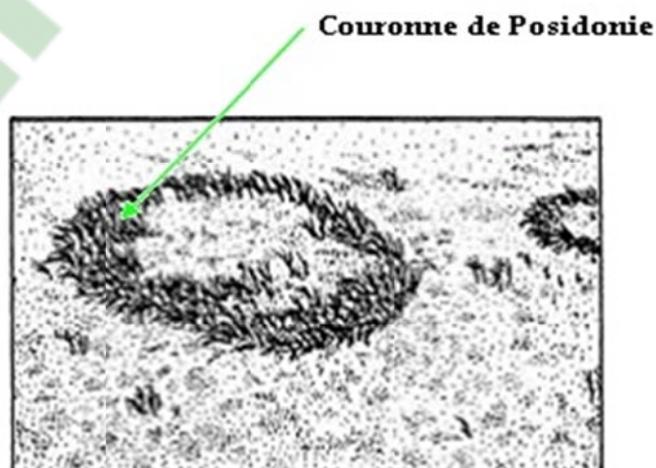


Figure 20 : Micro-atoll de *Posidonia oceanica* (CIRIK in BOUDOURESQUE et *al.* 1990a).

### 2.9.5. L'herbier en pain de sucre

Il a été décrit par MOLINIER et PICARD (1954) en Tunisie. Au départ, il s'agit d'un herbier de plaine à faible profondeur. Sans doute en raison de la température de l'eau trop élevée, l'herbier meurt, à l'exception de taches plus ou moins circulaires. Ces taches continuent à monter vers la surface, en même temps que leur diamètre diminue, déterminant ainsi des "pains de sucre" caractéristiques (Figure 21). En dehors des côtes tunisiennes, ce type d'herbier a été observé dans la rade de Giens (Var, France).

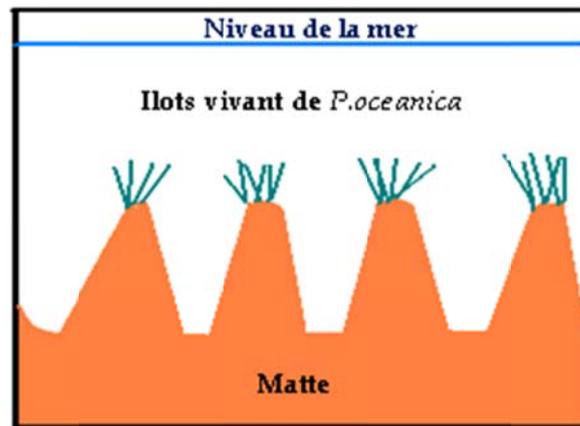


Figure 21 : Ilots vivants de *P.oceanica* au sommet de "pains de sucre" (BOUDOURESQUE 1982, modifié).

### 2.9.6. L'herbier en escalier

Il se développe sur des substrats durs en pente relativement forte, parcourus par des courants de fond descendants (BOUDOURESQUE, 1982). Le fonctionnement est similaire à celui de l'herbier tigré. Des bandes d'herbier, parallèles entre elles, larges de 0.5 à 3m, remontent la pente, contre le courant descendant. Du côté amont de chaque "marche" d'escalier, des rhizomes plagiotropes progressent, à la vitesse moyenne de 10cm/an, du côté aval, le courant érode le tombant de la "marche" (Figure 22).

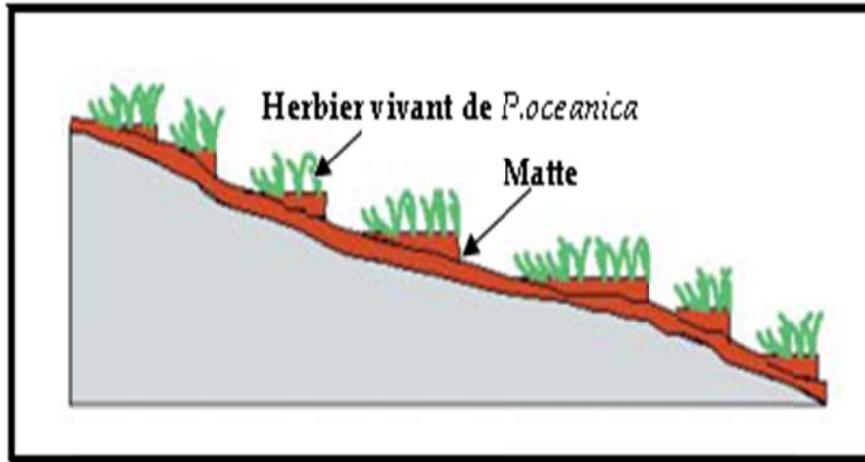


Figure 22: Coupe transversale dans un herbier en escalier (BOUDOURESQUE, 1982, modifié)

### 2.9.7. L'herbier ondoyant

L'herbier ondoyant se développe vers la limite inférieure de *P. oceanica*, entre 25 et 40m de profondeur, sur substrat sub-horizontale (CLAIREFOND et JEUDY DE GRISSAC, 1979). Il a toutefois également été observé à faible profondeur (EL ASMI-DJELLOULI et *al.*, 2000). Il est caractérisé par des bandes d'herbier larges (jusqu'à une dizaine de mètres), parallèles entre-elles et anastomosées, en très léger relief, séparées par des bandes de sable recouvrant de la matte morte, parallèles entre elles également (Figure 23).

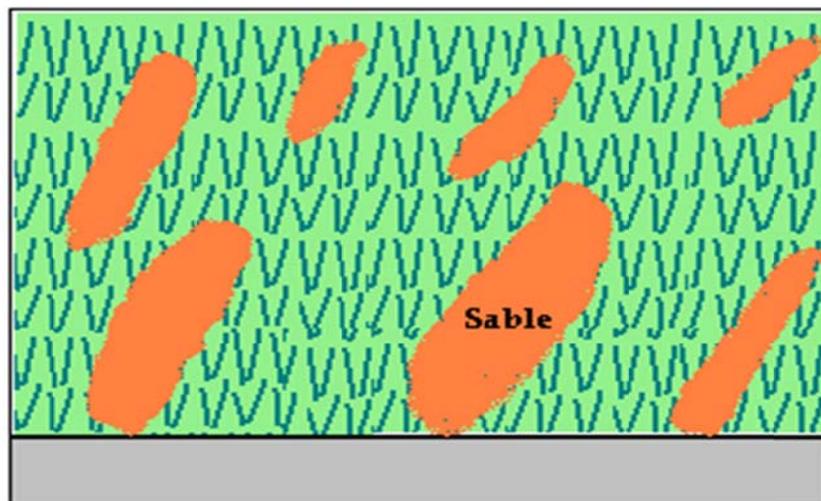


Figure 23 : Coupe et vue en perspective d'un herbier ondoyant à *Posidonia oceanica* (BONHOMME et *al.*, 1999, modifié).

## 2.10. Fonctionnement de l'écosystème à *Posidonia oceanica*

Les herbiers à *P. oceanica* constituent l'un des écosystèmes les plus productifs de la planète. Cet écosystème est constitué par la juxtaposition de deux compartiments de **production primaire** principaux (MATEO et *al.*, 2006; BAROWITZKA et *al.*, 2006).

Le premier producteur primaire n'est autre que la phanérogame marine tandis que les algues épiphytes correspondent au second. On peut cependant ajouter le microphytobenthos vivant sur le sédiment entre les pousses. Les différentes contributions à la production primaire totale dans les herbiers de *P. oceanica* se situeraient en général à 24-38% pour la production foliaire, 33-42% pour les macroalgues benthiques et à 20-60% pour la flore épiphyte (MATEO et *al.*, 2006; DUARTE et CHISCANO, 1999; LEPOINT et *al.*, 1999).

La **biomasse végétale** est très élevée jusqu'à 900 g MS/m<sup>2</sup> pour les feuilles, jusqu'à 470 g MS/m<sup>2</sup> pour les épiphytes des feuilles (Figure 24), jusqu'à 50 g MS/m<sup>2</sup> pour les épiphytes des rhizomes et jusqu'à 5500 g MS/m<sup>2</sup> pour les rhizomes, les écailles et les racines ; elle diminue avec la profondeur (THELIN et BEDHOMME, 1983 ; PIRC, 1983 ; LIBES, 1984 ; BOUDOURESQUE et JEUDY DE GRISSAC, 1986 ; BALLESTEROS, 1987 ; FRANCOUR, 1990 ; MAZZELLA et *al.*, 1992). Aucun autre écosystème marin (à l'exception de la mangrove) ne présente une biomasse végétale aussi élevée. Cela est dû au stockage de la biomasse, sur une longue période de temps, dans la matre. Biomasse végétale élevée et stockage sont des attributs habituellement associés aux écosystèmes forestiers continentaux.



Figure 24 : Feuilles de *Posidonia oceanica* couvertes d'épiphytes, (Cap Carbon) (PH CHAHROUR 2013) .

La **biomasse animale** est considérablement plus faible que la biomasse végétale. Il s'agit également d'une caractéristique que l'écosystème à *P. oceanica* partage avec les écosystèmes forestiers continentaux. Pour chaque groupe taxonomique ou compartiment trophique, les valeurs varient considérablement d'une station à l'autre et en fonction de la profondeur (Tableau 2).

Tableau 2: Valeur de la biomasse animale de chaque compartiment trophique constituant l'écosystème à *P. oceanica* (JIMENEZ et al., 1997) (MS : matière sèche)

Compartiment trophique	Biomasse (g MS/m <sup>2</sup> )
Epiphytes des feuilles	de 2 à 180
Poissons	de 2 à 25
Etoile de mer ( <i>Marthasterias glacialis</i> )	0,2
Mollusques et crustacés vagiles	de 3 à 6
Oursins ( <i>Paracentrotus lividus</i> et <i>Psammechinus microtuberculatus</i> )	de 2 à 33
Holothuries ( <i>Holothuria polii</i> et <i>Holothuria tubulosa</i> )	de 6 à 9
Endofaune de la matte	de 50 à 70

Une faible part (moins de 10 %) de la production primaire de *P. oceanica* est utilisée par des herbivores. Il s'agit principalement du poisson *Sarpa salpa* (Figure 25), de l'oursin *Paracentrotus lividus*, des crustacés isopodes *Idotea hectica*, des araignées de mer *Pisa mucosa* et *P. nodipes* (RICO-RAIMONDINO, 1995 ; BOUDOURESQUE et VERLAQUE, 2001).



Figure 25: Le poisson *Sarpa salpa* (saupe) est l'un des principaux consommateurs de *Posidonia oceanica* (PH CHAHROUR 2013).

Une partie importante de la production primaire (24 à 85%) est exportée, sous forme de feuilles mortes (CEBRIAN et DUARTE, 2001). Ces feuilles mortes constituent,

dans d'autres écosystèmes, une ressource alimentaire non négligeable : elles peuvent constituer jusqu'à 40% du contenu digestif de l'oursin *Paracentrotus lividus*, dans une communauté de substrat dur éloignée de plusieurs centaines de mètres de l'herbier le plus proche (VERLAQUE et NEDELEC, 1983 ; CEBRIAN et DUARTE, 2001). Elles peuvent également s'accumuler, temporairement, sur les plages, où elles constituent des banquettes (Figure 23) qui peuvent parfois atteindre des hauteurs de 2,5 mètres (FARGHALY et DENIZOT, 1984).

Une partie des feuilles mortes de *P. oceanica* reste au sein de l'herbier, où elles constituent la litière. C'est en été et en automne (à faible profondeur) et en hiver (en profondeur) que la litière est la plus abondante. Sa masse augmente avec la profondeur, et représente entre 25 et 200% par rapport à la biomasse des feuilles vivantes (PERGENT-MARTINI et al., 1992b ; ROMERO et al., 1992 ; MATEO-MINGUEZ, 1995).

Sa dégradation (micro-organismes et détritivores) est relativement lente (PERGENT et al., 1994). La voie des **détritivores** constitue la principale voie de transfert de la production primaire des feuilles de *P. oceanica* dans l'écosystème (CHESSA et al., 1983 ; BOUDOURESQUE et al., 1994b).

Au début de la chaîne des détritivores se situent les oursins *Psammechinus microtuberculatus* et *Sphaerechinus granularis*, les crustacés amphipodes *Atylus guttatus*, *Melita palmata* et *Gammarella fucicola*, l'isopode *Zenobiana prismaticus* et le brachyoure *Sirpus zariquieyi*, qui dilacèrent les feuilles mortes (MAZZELLA et al., 1986). Plus loin dans la chaîne trophique, on trouve l'holothurie *Holothuria tubulosa* et les ophiures *Ophiura texturata* et *Ophioderma longicauda* (VERLAQUE, 1981 ; ZUPI et FRESI, 1984 ; COULON et JANGOUX, 1992). En fait, la dégradation effective est surtout le fait de bactéries et de Fungi (*Corollospora maritima*), les autres organismes jouant surtout un rôle dans la **fragmentation** des débris de feuill

es (CUOMO et al., 1982 ; MAZZELLA et al., 1995).

De nombreux prédateurs se nourrissent des invertébrés de petite taille, qu'ils vivent sur les feuilles, dans la litière ou dans la matte (Figure 26).

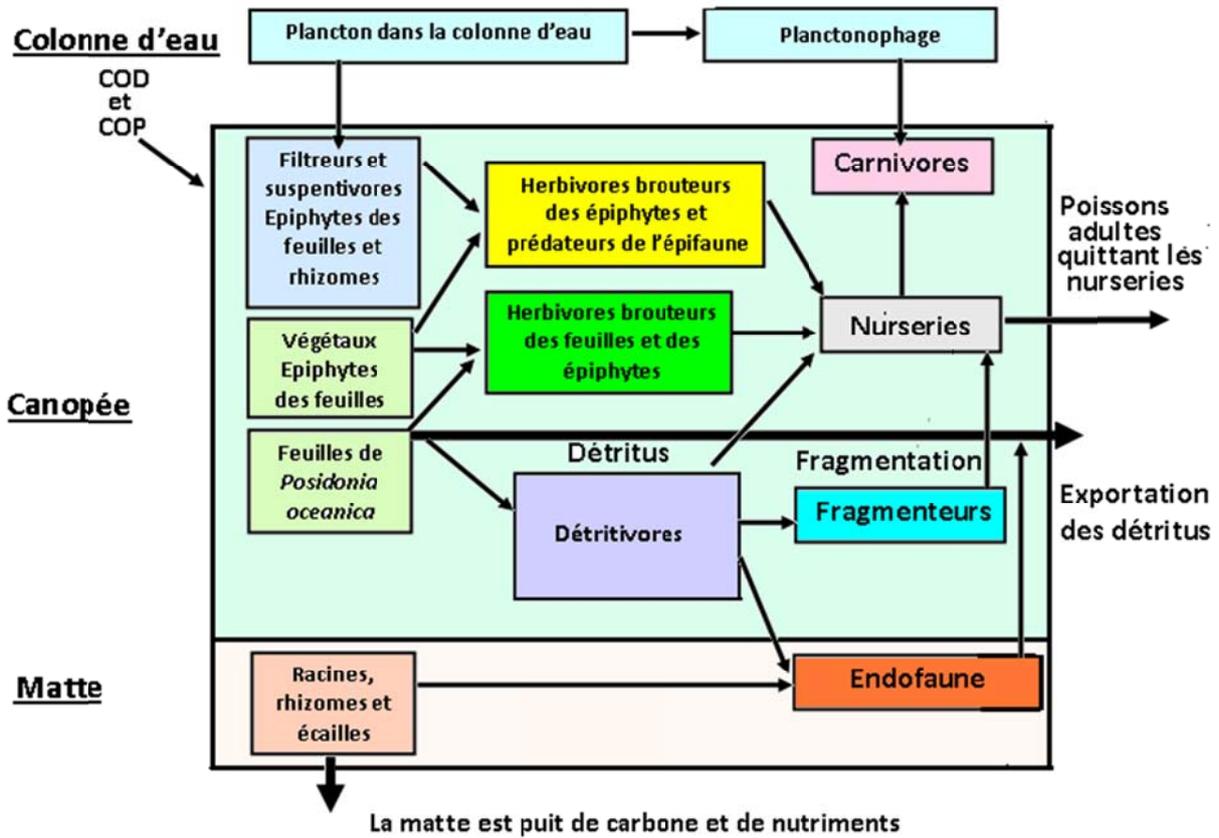


Figure 26 : Relations trophiques au sein de l'écosystème à *Posidonia oceanica* (BOUDOURESQUE, 2006, modifié). COD : carbone organique dissous ; COP : carbone organique particulaire.

Les poissons **planctonophages** qui exploitent, le jour, la colonne d'eau, tels que la castagnole *Chromis chromis* et les mandoles *Spicara smaris* et *S. maena*, dorment la nuit dans l'herbier (HARMELIN-VIVIEN, 1984). Ils sont susceptibles d'y être consommés par les prédateurs piscivores (Figure 26), dont certains sont actifs la nuit, tels que les congres et les rascasses (HARMELIN-VIVIEN, 1982, 1984), ce qui représente une entrée de carbone organique dans l'écosystème (BOUDOURESQUE et al., 1994b).

Une autre entrée d'énergie dans l'écosystème est constituée par les filtreurs et les **suspensivores** épiphytes des feuilles (hydrides, bryozoaires) ou fixés sur les rhizomes (le polychète *Spirographis spallanzani*, le bivalve *Pinna nobilis* et l'ascidie *Halocynthia papillosa*) (Figure 26) (MAZZELLA et al., 1986 ; BOUDOURESQUE et al., 1994b). Certaines des caractéristiques de l'écosystème à *P. oceanica* sont inhabituelles en milieu marin, et le rapprochent des **écosystèmes forestiers continentaux** (BOUDOURESQUE, 1996) :

- ❖ Accumulation de biomasse végétale sur plusieurs décennies, avec pour conséquence une biomasse végétale exceptionnellement élevée.
- ❖ Biomasse animale relativement modeste et concentrée dans la matte.
- ❖ Faible utilisation de la production par les herbivores, la voie majeure de son transfert vers les niveaux trophiques supérieurs étant celle des détritivores.

Toutefois, le système est plus ouvert que les écosystèmes forestiers, avec des entrées de carbone organique (filtreurs, suspensivores, poissons planctonophages), des sorties importantes (feuilles mortes, poissons adultes) et surtout la médiocre conservation des nutriments issus du recyclage de la matière organique. Il est enfin original par la juxtaposition de deux types de production primaire (à recyclage lent et à recyclage rapide) et par la matte, qui constitue un puits pour le carbone (Figure 26)

## **2.11. Rôle des herbiers à *Posidonia oceanica***

Le rôle des herbiers à *Posidonia oceanica*, en milieu marin littoral, est souvent assimilé, à juste titre, à celui exercé par la forêt en milieu terrestre. Ces herbiers constituent la base de la richesse des eaux littorales en Méditerranée, par les surfaces qu'ils occupent soit 20 à 50% des fonds entre 0 et 50 m de profondeur ce qui équivaut à une surface de 25.000 à 50.000 km<sup>2</sup> qui correspond à taux de 1 à 2% de la surface totale de cette mer (PASQUALINI *et al*, 1998), ce qui, au vu de la faible étendue du plateau continental, en fait l'écosystème le plus important du domaine côtier méditerranéen.

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

### **2.11.1. Rôle de l'herbier à *Posidonia oceanica* dans les équilibres écologiques du système littoral**

Comme la majeure partie des peuplements édifiés par des espèces de Magnoliophytes marines, les herbiers à *Posidonia oceanica* assument un rôle écologique de tout premier plan. Toutefois, comme dans la plupart des écosystèmes composés de Magnoliophytes marines, la part de **la production primaire** consommée directement par les herbivores est très faible (Figure 27). La majorité de cette production est soit stockée dans la matte ou dégradée par les détritivores au niveau

de la litière de l'herbier, Soit exportée vers d'autres écosystèmes sous forme de feuilles mortes (PERGENT et al., 1994). L'exportation de grandes quantités de feuilles mortes de *Posidonia oceanica* (Figure 26) constitue une aubaine pour les zones plus profondes (peu ou pas éclairées) et les plages qui bénéficient de cette production allochtone (WOLFF, 1976 ; WALKER et al., 2001).

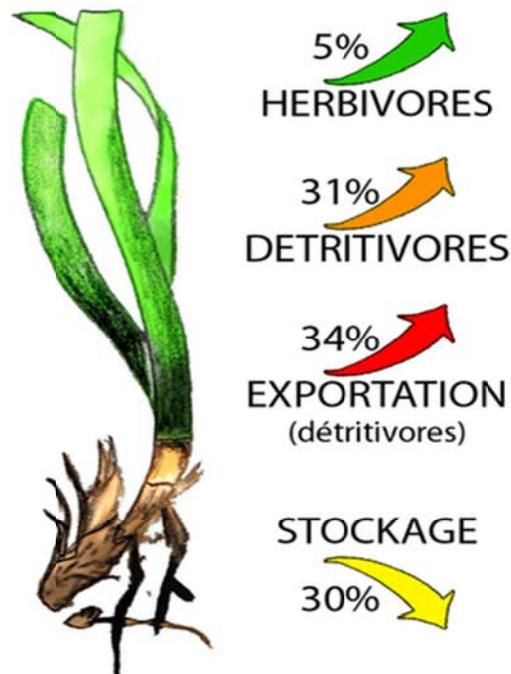


Figure 27 : Devenir de la production primaire (en pourcentage de carbone) de *Posidonia oceanica*. (PERGENT et al 1997).

Il convient également de noter que les Magnoliophytes servent de support pour de nombreuses espèces de végétaux épiphytes qui assurent une forte production primaire, qui s'ajoute à celle de la Magnoliophyte elle-même (MODIGH et al., 1998) et surtout une nourriture spécifique pour de nombreuses espèces animales (BOROWITZKA et LETHBRIDGE, 1989 ; MAZZELLA et al., 1992 ; HAVELANGE et al., 1997).

Chez *Posidonia oceanica*, la biomasse des épiphytes varie entre 6 et 34% de la biomasse épigée (MAZZELLA et OTT, 1984 ; LEPOINT et al., 1999). Les bactéries présentes sur la plante, mais également au niveau du substrat, ainsi que la forte production phytoplanctonique mesurée au niveau de la canopée, contribuent de façon significative à cette production (VELIMIROV et WALENTA-SIMON, 1992 ;

ELKALAY, 2002 ; GOBERT, 2002). Une des conséquences de la Photosynthèse des végétaux est également la production d'oxygène (Figure 26).

Même si, à la mort des feuilles, une partie de cet oxygène est consommée pour leur dégradation (MATEO ET ROMERO, 1996), la production d'oxygène peut-être considérable, au niveau des faisceaux foliaires et des végétaux épiphytes associés, notamment à faible profondeur (ALCOVERRO et al., 1998).

Les quantités produites sont largement excédentaires et les herbiers à *Posidonia oceanica* constituent donc un facteur important de l'oxygénation de l'eau de l'étage infralittoral (BAY, 1978 ; FRANKIGNOULLE et DISTECHE, 1984).

De ce fait l'herbier à *Posidonia oceanica* est considéré comme **le poumon de la Méditerranée**. Par exemple, à 10 mètres de profondeur, en Corse, 1 m<sup>2</sup> d'herbier dégage jusqu'à 14 litres d'oxygène par jour (BAY, 1978).

Enfin, les herbiers à *P. oceanica* constituent une frayère, une nurserie ou un habitat permanent pour de très nombreuses espèces (Figure 28) ; plus de 400 espèces différentes de végétaux et plusieurs milliers d'espèces animales peuplent les herbiers à *P. oceanica*, et font de ces prairies sous-marines un pôle de biodiversité (hot spot) unique (BELL et HARMELIN-VIVIEN, 1982 ; BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982 ; BELLAN-SANTINI et al., 1994 ; FRANCOUR, 1997 ; BOUDOURESQUE, 2004).

Base des réseaux trophiques, les herbiers sont un facteur essentiel de l'organisation des communautés animales et contrôlent la complexité de l'habitat, la diversité des espèces et l'abondance des invertébrés associés (HECK et WETSTONE, 1977 ; STONER, 1980 ; MAZZELLA et al., 1992).

Toutes ces espèces vivent à la surface des feuilles (fixées ou vagiles), du sédiment, au voisinage des feuilles mais également au sein de la matrice qui héberge une faune particulièrement riche et variée (BELLAN-SANTINI et al., 1986 ; FRANCOUR, 1990 ; SOMASCHINI et al., 1994).

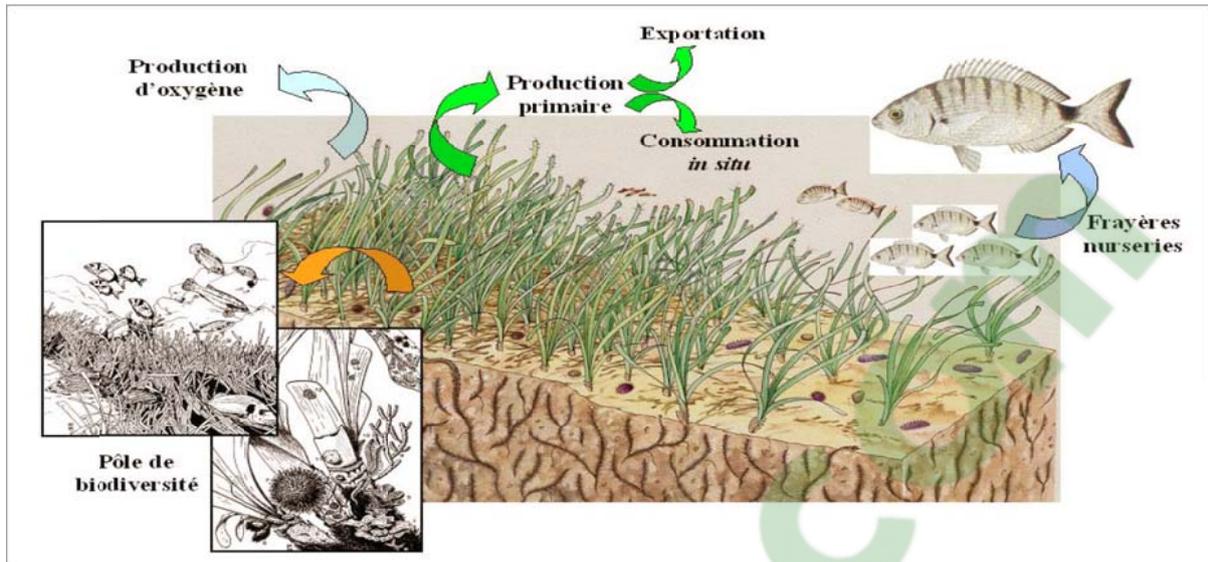


Figure 28: Rôle écologique de l'herbier à *Posidonia oceanica* (HARMELIN, 1993).

### 2.11.2. Rôle de l'herbier à *Posidonia oceanica* dans les équilibres physiques du système littoral

En Méditerranée, l'herbier à *Posidonia oceanica* joue un rôle que l'on compare souvent à celui des forêts en milieu terrestre :

Il contribue à l'équilibre sédimentaire des fonds par sa capacité à piéger les particules présentes dans l'eau (au même titre que la végétation terrestre sur les dunes), il en résulte une diminution de la turbidité dans les zones où *Posidonia oceanica* se développe (TERRADOS et DUARTE, 2000) et favorise la décantation et la sédimentation des particules en suspension dans la colonne d'eau (piégeage des sédiments) (BOUDOURESQUE ET MEINESZ, 1982 ; BOUDOURESQUE et JEUDY DE GRISSAC, 1983 ; JEUDY DE GRISSAC et BOUDOURESQUE, 1985 ; GACIA et DUARTE, 2001 ; SDAGE, 2003 ; ROMERO, 2004b).

Ce sédiment est ensuite retenu, sous la canopée, entre les rhizomes et les racines pour constituer ainsi une structure unique, la matre, dans laquelle il représente entre 20 et 60% du volume (Figure 29 et 30) (JEUDY DE GRISSAC, 1984a). Cet apport de sédiment d'origine allochtone, associé à la sédimentation autochtone (débris d'organismes ayant vécu sur les feuilles et à la base des rhizomes), génère une

croissance verticale des rhizomes et donc de la matre, permettant de lutter contre l'enfouissement (MOLINIER et PICARD, 1952).

La croissance verticale, mesurée sur plusieurs décennies, correspond en fait au bilan entre les phénomènes d'accrétion (croissance) et d'érosion (BLANC et JEUDY DE GRISSAC, 1978 ; MATEO et *al.*, 1997) ; elle peut atteindre un mètre par siècle (MOLINIER et PICARD, 1952).

La protection de la frange côtière de l'érosion marine est assurée par l'effet conjugué de l'atténuation de la force des vagues sur les banquettes de Posidonies et de celle des courants et de la houle par les feuilles au niveau des fonds (BLANC et JEUDY DE GRISSAC, 1978 ; BOUDOURESQUE et JEUDY DE GRISSAC, 1983 ; GAMBI et *al.*, 1989 )

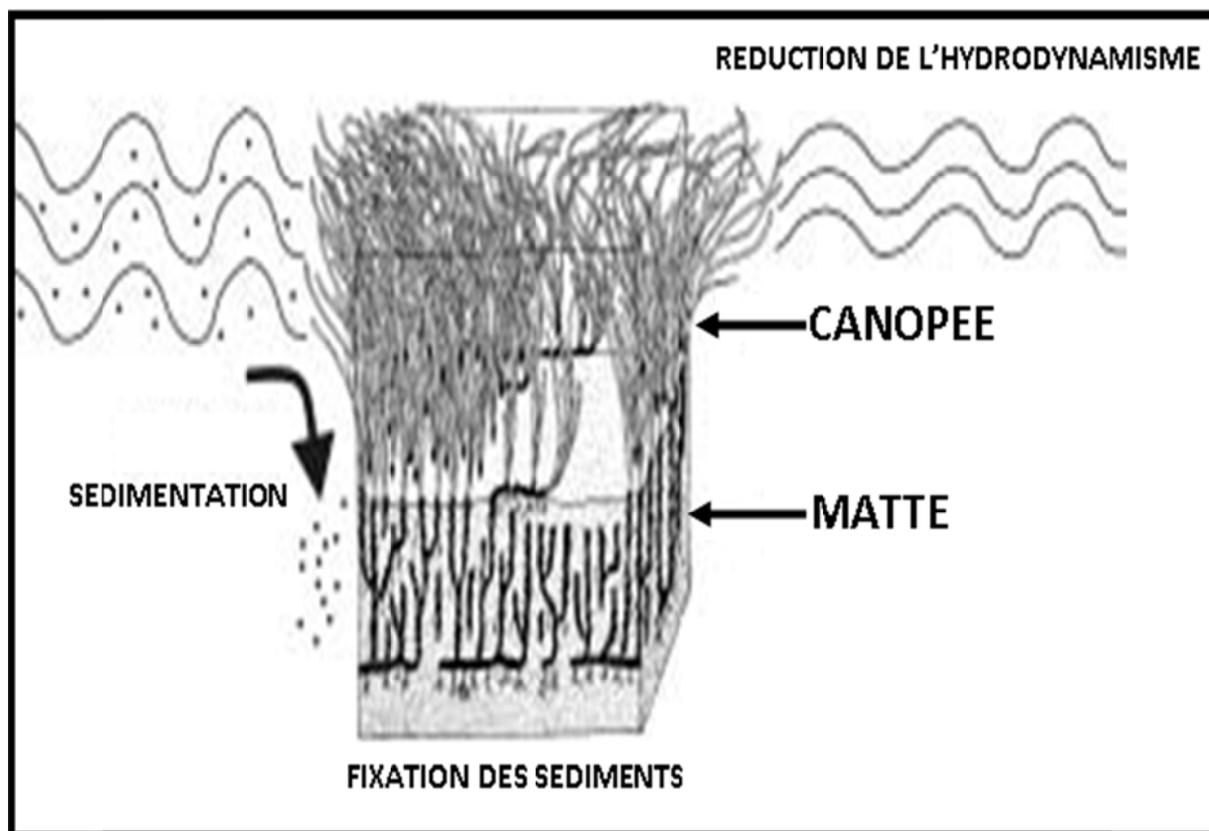


Figure 29 : Piégeage du sédiment et réduction de l'hydrodynamisme dans un herbier à *Posidonia oceanica*. (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982, modifié).



Figure 30 : Une vue de l'épaisseur de la mat, au niveau de l'herbier à *Posidonia oceanica* de Cap Carbon (Photo CHAHROUR, 2013).

L'hydrodynamisme est également réduit au-dessus de l'herbier (Figure 28).

A quelques dizaines de centimètres au-dessus de la canopée, la réduction de la vitesse du courant est de 20% (GACIA et DUARTE, 2001).

En automne, l'augmentation de la masse de feuilles mortes (rythme de chute des feuilles, taille des feuilles) se conjugue aux conditions météorologiques (renforcement de l'hydrodynamisme, tempêtes d'équinoxe) pour transporter de grandes quantités de cette matière végétale morte vers les plages (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982 ; PERGENT et *al.*, 1997 ; WALKER et *al.*, 2001).

Les feuilles s'accumulent sur le rivage au gré des courants et constituent de véritables banquettes à même de protéger les plages de l'érosion, en amortissant les vagues, notamment lors des tempêtes hivernales (Figure 31) (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982 ; JEUDY DE GRISSAC et AUDOLY, 1985 ; CHESSA et *al.*, 2000 ; SDAGE, 2003).



Figure 31 : Banquette de feuilles mortes de *Posidonia oceanica* à Cap Carbon  
(Photo CHAHROUR, 2013).

### 2.11.3. Rôle économique de l'herbier à *Posidonia oceanica*

Le rôle économique de l'herbier à *Posidonia oceanica* découle, d'une façon générale, de son importance dans les équilibres écologiques et physiques du système littoral évoqués ci-dessus.

Il concerne bien évidemment la gestion des ressources vivantes à travers sa forte production biologique, la protection qu'il assure pour les alevins et les jeunes organismes vis à vis des prédateurs (nurseries), mais il constitue également une frayère tout particulièrement recherchée par de nombreuses espèces présentant un intérêt commercial (Crustacés, Céphalopodes, Poissons) (JIMENEZ et *al.*, 1996 ; FRANCOUR, 1997 ; ROMERO, 1999 ; LE DIREACH et FRANCOUR, 2001).

Ce rôle s'observe partout dans le monde en Australie, par exemple, les espèces de *Zostera* et de *Posidonia* sont à la base de l'alimentation d'une espèce de poisson exploitée par la pêche (CONNOLLY et *al.*, 2005).

Il concerne également le développement du tourisme et des activités balnéaires, à travers le maintien de la qualité des eaux (transparence) à laquelle il contribue et surtout la stabilisation de la ligne de rivage (plages) qu'il assure en la protégeant contre l'érosion (réduction de l'hydrodynamisme, banquettes de feuilles mortes). De plus, même si les herbiers ne constituent pas toujours des "spots" recherchés par les plongeurs, ils sont néanmoins à l'origine d'une exportation significative de richesse biologique (en termes d'espèces et de nourriture) vers d'autres biotopes plus recherchés (fonds rocheux).

L'importance économique des herbiers à *Posidonia oceanica* est souvent mise en lumière, *a contrario*, par les conséquences négatives de sa régression ou de sa disparition. De façon plus générale, si l'importance des écosystèmes naturels est reconnue par tous, notamment en terme de maintien des équilibres naturels (rôle écologique), en revanche leur valeur économique globale est plus difficile à évaluer (COSTANZA *et al.*, 1997 ; AMI et BOUDOURESQUE, 2002). Cette évaluation économique doit prendre en compte les bénéfices directs (par exemple pêche et plongée), indirects (services rendus, par exemple protection du littoral contre l'érosion, oxygénation des eaux). Au delà des chiffres avancés, il est intéressant de remarquer que les herbiers marins sont, à l'échelle mondiale, l'un des groupes d'écosystèmes dont la valeur économique (19000 US\$ par hectare et par an) est la plus élevée (Tableau 3) : 10 fois plus que les forêts tropicales et 3 fois plus que les récifs coralliens (COSTANZA *et al.*, 1997).

**Tableau 3 : Valeur annuelle moyenne des services fournis par quelques grands types d'écosystèmes terrestres et marins. Mha = millions d'hectares. G\$ = milliards de dollars US. (COSTANZA *et al.* 1997).**

ECOSYSTÈMES	Surface (en Mha)	Valeur /ha /an	Valeur totale /an
<b>TERRESTRES</b>			
Forêts tempérées et boréales	2955	302 \$	894 G\$
Forêts tropicales	1900	2007 \$	3813 G\$
Prairies	3898	232 \$	906 G\$
Zones humides	330	14785 \$	4879 G\$
Lacs et rivières	200	8 498 \$	1700 G\$
Autres (déserts, toundras, glaciers, etc.)	6040	< 100 \$	< 130 G\$
<i>Total</i>	<b>15323</b>	<b>804 \$</b>	<b>12319 G\$</b>
<b>MARINS</b>			
Océans (au large)	33200	252 \$	8381 G\$
Océans (zones côtières)	2660	1610 \$	4283 G\$
Estuaires	180	22832 \$	4110 G\$
Peuplements de Macrophytes (herbiers, etc.)	200	19004 \$	3801 G\$
Récifs coralliens	62	6075 \$	375 G\$
<i>Total</i>	<b>36302</b>	<b>577 \$</b>	<b>20949 G\$</b>

#### **2.11.4. Rôle de bioindicateur de l'herbier à *Posidonia oceanica***

En Méditerranée, l'herbier à *Posidonia oceanica* constitue un puissant intégrateur de la qualité globale des eaux marines (AUGIER, 1985 ; PERGENT, 1991 ; PERGENT *et al.*, 1995) ; PERGENT-MARTINI *et al.*, 2005 b). Très largement distribué sur tout le littoral, particulièrement « réceptif » à la pollution (AUGIER *et al.*, 1984 ; BOURCIER,

1989) et aux agressions liées aux activités humaines (MEINESZ et LAURENT, 1978 ; BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982 ; ARDIZZONE et PELUSI, 1984 ; TUNESI et BOUDOURESQUE, 2006), solidaire du fond, il rend compte, par sa présence et sa vitalité (ou sa régression matérialisée par des « mattes mortes »), de la qualité des eaux qui dérivent au-dessus de lui.

Outre leur capacité à enregistrer certains paramètres physico-chimiques, les herbiers à *Posidonia oceanica* intègrent également d'autres paramètres susceptibles de les dégrader : aménagement du littoral, pression de mouillage, chalutage, turbidité, modification de l'hydrodynamisme. Cet indicateur global de la qualité des eaux fonctionne à différents niveaux (PERGENT et KEMPF, 1993 ; PERGENT et PERGENT-MARTINI 1995)

#### **2.11.4.1. Au niveau de la population**

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

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

#### **2.11.4.2. Au niveau de l'individu**

↳ La biométrie foliaire de *Posidonia oceanica*, peut également apporter des renseignements quant à la qualité globale de l'eau. En effet, en milieu pollué, la longueur moyenne des feuilles peut subir une réduction importante.

En outre, une biomasse importante d'épiphytes sur les feuilles matérialise la présence de fortes concentrations en matière organique et en nutriments dans le milieu.

↪ Au niveau anatomique, les cellules à tannin, qui sont des cellules riches en acide phénolique, et les enzymes de détoxification semblent augmenter en réponse à un état de stress de la plante.

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

## **2.12. Les causes à l'origine de la disparition des habitats d'herbiers à *Posidonia oceanica***

Au cours du 20<sup>ème</sup> siècle, et sans doute plus particulièrement depuis les années 1950, l'herbier à *Posidonia oceanica* a considérablement régressé, en particulier aux alentours des grands centres urbains et portuaires (PERES ET PICARD, 1975 ; BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982 ; PERES, 1984 ; BOUDOURESQUE, 1996, 2003 ; ROMERO, 2004b ; SOLIS-WEISS *et al.*, 2004). Il est clair que les activités humaines constituent le principal facteur de régression des herbiers à *Posidonia oceanica*. Bien que ces causes agissent le plus souvent en synergie, et qu'il ne soit pas toujours facile de les isoler. Ils peuvent être directes ou indirectes et d'importance variable.

### **2.12.1. Causes directes**

Les causes directes sont généralement faciles à mettre en évidence et n'affectent, le plus souvent que des secteurs localisés du littoral. Elles consistent en l'arrachage des plantes par des engins de pêche ou des mouillages de bateaux ou la destruction des faisceaux par utilisation d'explosifs (ex: pêche à la grenade).

#### **2.12.1.1. Utilisation de chaluts de fond ou d'arts traînants**

Constitue la principale menace directe sur les herbiers de Méditerranée. En effet, bien que la législation interdise l'utilisation de ces engins sur les fonds de moins de 50 m ou à proximité des côtes, ils n'en restent pas moins utilisés (RELINI, 1992 *in*

BOUDOURESQUE, 1996). Les chalutages provoquent une abrasion du fond, la remise en suspension des sédiments, la destruction involontaire d'espèces non commerciales et donc des modifications à long terme des communautés benthiques (BOUDOURESQUE, 1996). Ces altérations sont donc loin d'être négligeables, d'autant qu'une étude le long du littoral Corse, où la pêche constitue une activité marginale peu développée (avec seulement 250 embarcations), démontre que dans certains secteurs, les destructions d'herbiers dues aux arts traînants représentent jusqu'à 23% des surfaces étudiées (PASQUALINI *et al.*, 1999).

#### **2.12.1.2. Mouillage des bateaux**

Les mouillages sont de plusieurs types (ex: ancres, corps morts isolés et chaînes mères, corps morts et pontons flottants). L'immersion de corps morts s'accompagne de l'arrachage de faisceaux, et peut provoquer l'abrasion des mattes, des phénomènes d'affouillement au niveau des structures immergées et un remaniement du substrat (PORCHER, 1984).

Les ancres des bateaux génèrent des phénomènes similaires, bien que plus réduits. Néanmoins, FRANCOUR *et al.* (1999) montrent que chaque ancrage provoque l'arrachage de 20 faisceaux en moyenne, ce qui n'est pas sans conséquences dans les secteurs où l'on assiste à une sur-fréquentation touristique en période estivale.

#### **2.12.1.3. Utilisation d'engins explosifs**

Dans le cadre des activités de pêche, semblent aujourd'hui anecdotiques. En effet, ces pratiques sont interdites par toutes les législations nationales en raison de leurs conséquences sur les stocks et l'environnement (BOUDOURESQUE, 1996) et, lorsqu'elles continuent d'être pratiquées, elles n'affectent que de petites surfaces (généralement moins d'un hectare ; PASQUALINI *et al.*, 1999).

#### **2.12.2. Causes indirectes**

Toute introduction dans le milieu marin peut constituer une cause indirecte de mortalité des herbiers, dans la mesure où elle modifie les paramètres chimiques, physiques ou biologiques du milieu. Ce n'est souvent que la conjonction de plusieurs facteurs qui, en augmentant la vulnérabilité des individus, finit par provoquer des mortalités importantes. Les principaux facteurs sont comme suit:

#### **2.12.2.1. Température**

Le rejet d'eau réchauffée peut entraîner une modification de la température de l'eau de mer, qui peut constituer une menace pour les organismes. Cependant, aucune preuve probante n'a été apportée, à ce jour, quant à la nuisance réelle d'une forte différence de température ; au contraire, des variations de 20°C ont été enregistrées pour *P. oceanica* (AUGIER et al., 1980) sans que cela semble altérer la vitalité de la plante.

#### **2.12.2.2. Salinité**

Un rejet d'eau douce (ex: fleuves, émissaires urbains) dans le milieu marin modifie, tout au moins à proximité du point de rejet, la salinité du milieu.

Cette diminution de salinité ne semble devoir affecter que *P. oceanica*, dans la mesure où c'est la seule espèce relativement sténohaline de Méditerranée.

Si aucune étude spécifique n'a été consacrée à ce problème, exception faite des observations de BEN ALAYA (1972), c'est sans doute car il apparaît comme mineur, tout au moins en tant que facteur anthropique à l'origine de la régression des herbiers. En effet, en tant que facteur d'origine naturelle, il suffit de regarder le recul des herbiers, au niveau de l'embouchure des fleuves côtiers du littoral oriental de la Corse, pour se persuader de son importance (PASQUALINI et al., 1999).

#### **2.12.2.3. Turbidité**

L'augmentation de la turbidité des eaux apparaît souvent comme un facteur aggravant qui vient s'ajouter à une autre perturbation, telle qu'un apport en nutriments, en sédiment ou en substances toxiques. C'est sans doute l'un des paramètres majeurs de la régression des herbiers, tout au moins au niveau de leur limite inférieure. En effet toute augmentation de la teneur en particules dissoutes provoque une modification quantitative et qualitative de la lumière (phénomènes d'absorption et de réflexion), qui affectent la Photosynthèse et peut provoquer une remontée de la position de la limite inférieure (PERES et PICARD, 1975; PERES, 1984).

#### **2.12.2.4. Apports en nutriments**

Les apports de sels nutritifs sont un phénomène normal et nécessaire. Cependant l'augmentation générale de ces apports depuis quelques décennies (BETHOUX et al.,

1990 in BOUDOURESQUE, 1996), dans un milieu généralement considéré comme oligotrophe, n'est pas sans conséquence. En effet, cet enrichissement profite, en premier lieu aux organismes planctoniques, qui par leur développement massif peuvent réduire la transparence des eaux (ex: bloom phytoplanctonique).

L'impact de cet enrichissement est ensuite différent d'une espèce de phanérogames à l'autre. Il semble que les espèces pionnières, comme *C. nodosa*, soient à même d'utiliser très rapidement ces sels nutritifs, qui sont souvent des facteurs limitants (ex: Phosphore), pour leur propre croissance (PEREZ et al., 1991). A l'inverse, chez les espèces climaciques, comme *P. oceanica*, on note un développement massif des épiphytes, qui entrent en compétition, vis-à-vis de la lumière avec la plante-hôte. Cette compétition peut se traduire par une diminution de la croissance foliaire, voire lorsque les apports nutritifs sont maintenus pendant plusieurs semaines, une mortalité des faisceaux. Plusieurs auteurs évoquent d'ailleurs ces développements massifs d'épiphytes pour expliquer la régression des herbiers dans les secteurs anthropisés (SHEPHERD et al., 1989).

#### **2.12.2.5. Apports en polluants**

Les apports polluants résultent de l'existence des grands complexes industrialo-portuaires, pétrochimiques et des chantiers navals. Ils se traduisent soit par le rejet direct de déchets non traités, soit par l'introduction accidentelle de produits polluants ou de substances non toxiques mais dont la combinaison donne lieu à des éléments toxiques.

Les expérimentations menées dans ce domaine concernent majoritairement *P. oceanica* et ont souvent conclu à une diminution de la vitalité de la plante que ce soit par des métaux-traces (PERGENT-MARTINI et PERGENT, 2000), des déchets industriels :phospho-gypses (DARMOUL et al., 1980) ou des détergents (AUGIER et al, 1984b).

Ainsi des études concernant le mercure et d'autres métaux-traces montrent une accumulation importante par la plante, mais qui ne semble pas, en l'état actuel des connaissances, perturber son développement (PERGENT-MARTINI et PERGENT, 2000). Cela semble également le cas pour des radio-isotopes comme le Césium 137 (CALMET et al., 1991).

Pour ce qui est des hydrocarbures, après l'accident du «Haven» dans le port de Gènes (Italie), SANDULLI *et al.* (1992 in BOUDOURESQUE, 1996) ne sont pas parvenus à mettre en évidence un impact significatif des hydrocarbures sur *P. oceanica*.

#### **2.12.2.6. Aquaculture côtière**

La mise en place de fermes aquacoles dans les eaux côtières s'est accélérée au cours des dernières années. Les études réalisées montrent clairement que les fermes piscicoles, quand elles sont situées à proximité d'un herbier à *Posidonia oceanica*, ont un impact fort sur celui-ci : la teneur en matière organique et en azote du sédiment, la teneur en phosphore de l'eau interstitielle et en phosphore total du sédiment augmentent au fur et à mesure que l'on s'approche du site de la ferme piscicole, avec pour conséquence la diminution de la vitalité de l'herbier : diminution de la densité des faisceaux et baisse de la production primaire de la plante (CANCEMI *et al.*, 2000). Il semble que la cause principale de l'impact des fermes piscicoles soit la libération de matière organique, dont l'oxydation induit des conditions anoxiques dans le sédiment situé sous et au voisinage des fermes (DELGADO *et al.*, 1999), et la synthèse de composés réduits qui peuvent être toxiques pour *P. oceanica* (HEMMINGA, 1998). En outre, l'enrichissement des eaux en nutriments peut déterminer un accroissement des épiphytes des feuilles, avec pour conséquence la réduction de la Photosynthèse de *P. oceanica* (par limitation de l'accès à la lumière), et l'augmentation du broutage des feuilles par les herbivores (PERGENT *et al.*, 1999 ; RUIZ-FERNANDEZ, 2000). Enfin, l'ombre portée des cages, également par limitation de l'accès à la lumière, réduit significativement la densité des faisceaux (RUIZ-FERNANDEZ, 2000 ; RUIZ et ROMERO, 2001).

#### **2.12.2.7. Apports et les déficits de sédiments**

Une modification, à moyen ou à long terme, des bilans sédimentaires provoque un ensevelissement des points végétatifs ou au contraire un déchaussement des rhizomes, qui peut provoquer à terme la mortalité des faisceaux de *P. oceanica* (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982). Une diminution de 70% de l'éclairement provoque, en 3 mois, la mort de près de 90% des faisceaux. Au total, la réponse de l'herbier à *P. oceanica* à une diminution de l'éclairement, se manifeste d'abord sous la

forme d'une diminution du recouvrement et de la densité des faisceaux, puis par la mort de l'herbier, qui peut être rapide (RUIZ-FERNANDEZ, 2000 ; RUIZ ET ROMERO, 2001, 2003).

#### **2.12.2.8. Introduction d'espèces invasives**

L'introduction d'espèces invasives susceptibles d'entrer directement en compétition avec les phanérogames marines est un phénomène relativement récent. La Caulerpe (*Caulerpa taxifolia*) (Figure 32) est originaire d'Australie et a été accidentellement introduite en Méditerranée Nord-Occidentale en 1984 (MEINESZ et HESSE, 1991). Son expansion géographique a été relativement rapide et, à la fin 2000, elle était présente dans 103 stations, réparties dans six pays (Croatie, Espagne, France, Italie, Monaco, Tunisie) et colonisait au total 131km<sup>2</sup> (MEINESZ et *al.*, 2001a). *Caulerpa taxifolia* est en mesure de coloniser presque tous les types de substrats, en particulier la "matte morte" et les prairies à *Posidonia oceanica* (BOUDOURESQUE et *al.*, 1995c). Même si la capacité de *C. taxifolia* à éliminer un herbier à *P. oceanica* à bonne vitalité n'a pas été démontrée sur le court terme, les herbiers stressés et dégradés constituent un milieu très favorable pour cette espèce, et elle peut accentuer leur recul (VILLELE et VERLAQUE, 1995 ; TORCHIA et *al.*, 2000).

Sur le long terme, la capacité de *C. taxifolia* à remplacer les herbiers à *P. oceanica* non dégradés, ou certains d'entre eux, reste une question ouverte (CECCHERELLI et CINELLI, 1997, 1998 ; CHISHOLM et *al.*, 1997 ; MOLENAAR, 2001). Quoiqu'il en soit, la présence de *C. taxifolia* dans un herbier à *P. oceanica* modifie profondément le fonctionnement de l'écosystème (RUITTON et BOUDOURESQUE, 1994 ; GELIN et *al.*, 1998 ; HARMELIN-VIVIEN et *al.*, 1999).



**Figure 32 : *Caulerpa taxifolia* (Chlorobionte, Plantae) : aspect général de l'extrémité d'un rhizome sur lequel sont fixées quelques feuilles. (MEINESZ, 1982)**

En conclusion il n'est pas toujours facile de faire la part entre facteurs naturels et facteurs anthropiques, ni de faire la part entre les différents facteurs anthropiques, qui agissent presque toujours simultanément et sans doute avec des effets synergiques, ne doit pas masquer une certitude scientifique robuste, l'homme est bien responsable de la plus grande partie des régressions observées depuis la seconde moitié du 20<sup>ème</sup> siècle.

### **2.13. Protection de l'herbier à *Posidonia oceanica***

Peu de textes réglementaires visent directement à la protection des espèces marines autres que les Tortues, les Oiseaux et les Mammifères, et ce même si des progrès notables ont été enregistrés, généralement à l'initiative d'ONG. C'est ainsi que 5 espèces d'invertébrés marins ont été ajoutées à la liste des espèces protégées en France, en 1993, puis une vingtaine d'espèces d'invertébrés et une dizaine de macrophytes en 1999 (BOUDOURESQUE et *al.*, 1991 ; BOUDOURESQUE, 1996 ; BOUDOURESQUE et *al.*, 1996 ; BOUDOURESQUE, 2002c). Les formations végétales, et en particulier les herbiers de Posidonies, ont bénéficié de cette prise de conscience, et un nombre croissant de dispositions nationales, de directives communautaires (Union Européenne) et de conventions internationales y font référence. Il convient cependant de différencier les mesures de protection légale **directe** qui concernent soit l'espèce *Posidonia oceanica*, soit les habitats qu'elle constitue, des mesures réglementaires qui, sans viser directement à la protection des herbiers, peuvent favoriser **indirectement** leur conservation.

#### **2.13.1. Les mesures de protection directe**

##### **2.13.1.1. Conventions internationales et textes communautaires**

En termes réglementaires, l'approche écosystémique est une approche relativement récente (Sommet de Rio de Janeiro, 1992), et seules les conventions internationales postérieures à 1990, ou antérieures à cette date, mais qui ont bénéficié d'une actualisation, tiennent éventuellement compte des herbiers à *Posidonia oceanica*.

C'est le cas de la Convention de Berne, relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe, signée en 1979, sous les auspices du Conseil de l'Europe, par plusieurs pays Méditerranéens (Tableau 4). En effet, alors qu'elle ne

faisait initialement mention d'aucune espèce végétale marine, ses annexes ont été modifiées (en 1996) avec l'ajout de 3 des 7 espèces de Magnoliophytes marines de Méditerranée (*Cymodocea nodosa*, *Posidonia oceanica*, *Zostera marina*). Ces espèces sont mentionnées comme méritant une protection (BOUDOURESQUE et al., 1996 ; PLATINI, 2000). En dehors d'une protection de l'espèce proprement-dite, la convention prévoit (Chapitre II - article 4) que :

*« 1 - Chaque Partie contractante prend les mesures législatives et réglementaires appropriées et nécessaires pour protéger les habitats des espèces sauvages de la flore et de la faune, en particulier de celles énumérées dans les annexes I et II, et pour sauvegarder les habitats naturels menacés de disparition.*

*2 - Les Parties contractantes tiennent compte, dans leurs politiques d'aménagement et de développement, des besoins de la conservation des zones protégées visées au paragraphe précédent, afin d'éviter ou de réduire les plus possibles toutes détériorations de telles zones.*

*Les Parties contractantes s'engagent à coordonner autant que de besoin leurs efforts pour protéger les habitats naturels visés au présent article lorsqu'ils sont situés dans des régions qui s'étendent de part et d'autre des frontières. »*

Il en est de même pour la **Convention de Barcelone**, adoptée en 1976, qui constitue la convention-clé pour la protection des espaces et des espèces en Méditerranée.

Outil juridique du Plan d'Action pour la Méditerranée (PAM), lancé par le PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) pour la protection des mers régionales, la convention s'est initialement focalisée sur la lutte contre la pollution marine (TAVOSO, 1997). Mais dès 1982, avec l'adoption du protocole relatif aux aires spécialement protégées de la Méditerranée, les 20 pays signataires (Albanie, Algérie, Bosnie-Herzégovine, Croatie, Chypre, Égypte, Espagne, France, Grèce, Israël, Italie, Liban, Libye, Malte, Maroc, Monaco, Slovénie, Syrie, Tunisie, Turquie) et la Communauté Économique Européenne ont manifesté leur intérêt pour une protection des habitats marins.

Tableau 4 : Pays Méditerranéens qui ont adopté (A) ou ratifié (R) les conventions internationales, état au 3/04/2003. - : donnée manquante ; \* : données actualisées selon CAR/ASP (2003).

PAYS	RAMSAR	BERNE	BARCELONE
Albanie	1995 A*	1998 R*	1990 A
Algérie	1984 A	-	1981 A
Bosnie	2001 R*	-	1994 A
Chypre	2001 R*	1988 R	1979 R
Croatie	1993 R*	2000 R	1993 A
Egypte	1988 R*	-	1978 R
Espagne	1982 A	1986 R	1977 R
France	1986 A	1990 R	1978 R
Grèce	1975 A	1983 R	1979 R
Israël	1997 R*	-	1978 R
Italie	1977 A	1982 R	1979 R
Liban	1999 R*	-	1977 A
Libye	2000 R*	-	1979 R
Malte	1988 A*	1993 A*	1977 R
Maroc	1980 R*	2001 R*	1980 R
Monaco	1997 A	1994 R	1977 R
Slovénie	1992 A*	1999 R*	1992 A*
Syrie	1998 R*	-	1978 A
Tunisie	1981 A	1996 R	1977 R
Turquie	1994 A	1999 R	1981 R
Union Européenne	-	-	1978 R
Yougoslavie <sup>a</sup>	1991 A	1999 R	-

<sup>a</sup> Aujourd'hui Serbie-Monténégro.

En dehors de ces conventions internationales, il convient d'ajouter les Directives communautaires qui n'intéressaient, au départ, que 4 des États Méditerranéens (Espagne, France, Grèce et Italie), mais qui se sont étendues, au fur et à mesure de leur entrée dans l'Union Européenne, aux pays comme Chypre, Malte et la Slovénie.

Ainsi la Directive Habitats, du 21 mai 1992 (92/43 CEE/Habitats Naturels) constitue la base juridique de la politique de conservation des habitats naturels de la faune et de la flore sauvage et du maintien de la biodiversité sur le territoire de l'Union Européenne (PLATINI, 2000). La Directive est accompagnée de 6 annexes, dont l'annexe 1 qui identifie les types d'habitats naturels d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite la désignation de Zones Spéciales de Conservation (ZSC). C'est au sein de cette annexe que figurent, dans le cadre des habitats côtiers et de la végétation halophytique, les herbiers à *Posidonia oceanica* qui sont d'ailleurs référencés en tant qu'habitat prioritaire (n° 1120).

De même, au travers de la procédure Natura 2000, les États ont identifié des habitats d'herbiers comme méritant de bénéficier de mesures de conservations adaptées (PLATINI, 2000).

### **2.13.1.2. Textes réglementaires dans les pays de la zone RAMOGE**

#### **1) Réglementation en France**

En France, la protection légale de la Magnoliophyte marine *Posidonia oceanica* s'intègre dans le cadre de la Loi du 10 juillet 1976, relative à la protection de la nature et de son Décret d'application du 25 novembre 1977 concernant la protection de la flore et de la faune sauvages du patrimoine naturel français. Cette protection est officialisée par l'Arrêté interministériel du 19 juillet 1988 (J.O. du 9 août 1988, p. 10 à 128) relatif à la liste des espèces végétales marines protégées qui spécifie "*afin de prévenir la disparition d'espèces végétales menacées et de permettre la conservation des biotopes correspondants, sont interdits, en tout temps et sur tout le territoire métropolitain, la destruction, la coupe, l'arrachage, la mutilation, la cueillette ou l'enlèvement, le colportage, l'utilisation, la mise en vente, la vente ou l'achat de tout ou partie des spécimens sauvages des espèces ci-après énumérées (...) Posidonia oceanica et Cymodocea nodosa*" (in PERGENT, 1991a). Ce texte ajoute : "*Toutefois, l'interdiction de destruction, n'est pas applicable aux opérations d'exploitation courantes des établissements de cultures marines sur les parcelles habituellement cultivées*".

#### **2) Réglementation en Principauté de Monaco**

En principauté de Monaco les taxons, qui figurent dans les annexes des conventions internationales ayant fait l'objet d'une adoption, bénéficient également d'une protection spécifique en droit monégasque (PLATINI, 2000).

#### **3) Réglementation en Italie**

En Italie, les compétences nationales en matière de défense de la biodiversité du milieu marin et côtier, des espèces marines protégées et de l'environnement marin dans son ensemble sont du ressort de la Direction pour la Protection de la Nature du Ministère de l'Environnement et de la Défense du Territoire.

### **2.13.2. Les mesures de protection directe**

De nombreuses mesures **indirectes** protègent également les herbiers de Posidonie : les Aires Marines Protégées (qui sont actuellement au nombre de 23), les mesures destinées à restreindre les rejets polluants, à restreindre certaines techniques de pêche telles que les arts traînants et l'obligation de procéder à une **étude d'impact**,

préalablement à toute demande d'autorisation d'un projet qui pourrait porter atteinte à l'environnement.

### **2.13.3. Autres textes réglementaires en Méditerranée**

En dehors de la zone RAMOGE, plusieurs pays disposent, d'ores et déjà, d'une législation spécifique vis à vis des herbiers ou envisagent de telles procédures, ne serait-ce que pour rendre applicables les dispositions mentionnées dans les conventions internationales qu'ils ont signées ou ratifiées.

**1) En Espagne**, les gouvernements autonomes de Catalogne (Catalunya) et de la Comunitat Valenciana (sur les 5 qui ont autorité sur la façade Méditerranéenne) disposent d'une protection effective des espèces de Magnoliophytes marines. En effet, en Catalogne, l'Ordre du 31 juillet 1991 permet la protection de *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa* et de *Nanozostera noltii*. Dans la Comunitat Valenciana, l'Ordre du 23 janvier 1992 interdit "la destrucció de las praderas de Fanerógamas marinas, por ser zonas de interés pesquero" (BOUDOURESQUE et al., 1995b).

**2) En Libye**, une législation est en préparation pour permettre la protection d'un grand nombre d'espèces marines. Ces espèces seraient celles adoptées dans le cadre de la Convention de Berne et celles identifiées par le Protocole sur les Aires Spécialement Protégées (PLATINI, 2000).

**3) A Malte**, *Posidonia oceanica* n'est pas légalement protégée, mais Malte étant signataire de la Convention de Berne et de la Convention de Barcelone doit se mettre en mesure **d'appliquer ces** conventions. De plus, Malte a rejoint la Communauté Européenne et devra, au regard de la Directive Habitat, considérer les herbiers à *P. oceanica* comme des habitats prioritaires.

**4) En Slovénie**, *Posidonia oceanica* est incluse par un Règlement ministériel, du 24 septembre 2002, sur la liste rouge des végétaux et animaux menacés, avec *Zostera marina* et *Nanozostera noltii*, ce qui impose que l'État doit engager des mesures de conservation vis à vis de ces espèces. Actuellement, un Décret ministériel est en préparation sur la conservation du patrimoine naturel. Il est prévu que *P. oceanica* soit incluse dans ce Décret.

**5) En Turquie**, de strictes protections sont exprimées dans les Règlements de pêche du Ministère de l'Agriculture, pour les Magnoliophytes marines, *Posidonia oceanica* et *Nanozostera noltii*. *P. oceanica* est inscrite dans la Loi concernant les "produits aquatiques" (Ref n° 1380) et sa circulaire annuelle.

**5) En Croatie**, une réglementation est en cours de mise en place en vue de protéger les 4 espèces de Magnoliophytes marines, *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina* et *Nanozostera noltii* (PLATINI, 2000).

**6) En Algérie**, la Loi relative à la protection et à la valorisation du littoral (n° 02-02 du 22 Dhou El Kaada 1422 correspondant au 5 février 2002, parue au Journal Officiel n° 10 du 12 février 2002) indique que "*l'occupation et l'utilisation des sols littoraux doivent préserver les espaces terrestres et marins remarquables ou nécessaires au maintien des équilibres naturels. Sont concernés par la présente disposition, les côtes rocheuses d'intérêt écologique, les dunes littorales et les landes, les plages et les lidos, les forêts et les zones boisées littorales, les plans d'eau côtiers et leur proximité, les îlots et les îles et tous les sites d'intérêt écologique ou de valeur scientifique sur le littoral, tels que les récifs coralliens, les herbiers sous-marins et les formes ou formations côtières sous-marines*".

La protection totale et la suppression des impacts humains sur les phanérogames marines constituent les stratégies les plus efficaces pour assurer la persistance des herbiers et la conservation de leur valeur écologique.

---

---

## CHAPITRE II : ZONE D'ETUDE

---

---

## **1. Caractéristiques de la Méditerranée**

La Méditerranée se présente au plan structurel comme un ensemble de deux bassins (Occidental et oriental) séparés par un seuil dont la profondeur entre la Sicile et la Tunisie ne dépasse pas les quatre cents mètres. Cette mer présente une circulation profonde déficiente et a jusqu'à sa plus grande profondeur, une température qui est voisine de celle de l'Océan Atlantique au détroit de Gibraltar. Ainsi, les eaux de la Méditerranée présentent une température d'environ 13 °C depuis - 350 m au seuil de Gibraltar, jusqu'à ses plus grandes profondeurs. La Méditerranée est considérée comme une mer tempérée chaude. A partir de - 50 m et durant toute l'année la température est de 13 °C pour une salinité moyenne de 38 ‰ (THIBAUT, 2001).

En surface les eaux peuvent atteindre 28 °C en été. L'insolation, souvent très vive, augmente en été la température de la mer au contact du rivage, en hiver, la terre étant plus froide que la mer, l'inverse se produit (pendant des hivers très rigoureux, on a vu de la glace se former au niveau du rivage dans le golfe de Salonique et des bassins du port de Marseille). En dessous de la surface, en particulier, dans les premiers 50 m, la chute de température est assez rapide (THIBAUT, 2001).

C'est une mer relativement profonde dont la profondeur moyenne est estimée à 1500 m. Le point le plus profond de la Méditerranée est située dans l'une des fosses de Matapan (Grèce) 5121m. Le plateau continental n'excède pas les 200 m de profondeur. La superficie de la Méditerranée (3,5 millions km<sup>2</sup>) représente 1% de la superficie de tous les océans et mers du monde. La Méditerranée se développe sur 4000 km d'est en ouest et sa largeur la plus grande est de 800 km (entre le fond du golfe de Gênes et la Tunisie) et seulement de 138 km entre la Sicile et la Tunisie (THIBAUT, 2001).

Le courant général va de l'Ouest vers l'Est, entre en surface par le détroit de Gibraltar, suit les côtes algériennes, continue le long de la côte nord de la Sicile et remonte vers le Nord-Ouest en suivant les côtes italiennes. Il est dirigé vers l'Ouest dans le Golfe de Gênes et sur les côtes de Provence et vers le Sud- Ouest sur les côtes d'Espagne formant ainsi dans le bassin occidental un circuit complet en sens inverse des aiguilles d'une montre. Entre la Sicile et la Tunisie, existe un courant quasi-permanent dirigé vers l'Est, ce courant suit les côtes de Libye et d'Égypte pour

arriver à Port-Saïd (THIBAUT, 2001). Il remonte les côtes de Palestine et de Syrie vers le Nord Ouest et le Nord. Il se dirige vers l'Ouest au niveau des côtes d'Asie Mineure, où il est influencé par les vents. En mer Égée il remonte vers le Nord, mais à cause du courant des Dardanelles (3-4 nœuds), très puissant, s'écoulant de la Mer Noire, le courant général redescend vers le Sud au milieu de la Mer Égée et le long des côtes grecques. Au Cap Matapan, il porte à l'Ouest et remonte la mer Ionienne en contournant la Grèce. Un autre courant suit vers le Sud les côtes de Sicile et termine ainsi le circuit du bassin oriental (THIBAUT, 2001).

Les peuplements benthiques sont définis par une zonation verticale dont l'unité de base est l'étage. C'est l'espace vertical du domaine benthique marin où les conditions écologiques, fonctions de la situation par rapport au niveau de la mer, sont sensiblement constantes ou varient régulièrement entre deux niveaux critiques marquant les limites de l'étage. Chaque étage a des peuplements caractéristiques et ses limites sont révélées par un changement de ces peuplements au voisinage des niveaux critiques, marquant les conditions limites des étages concernés. En Méditerranée on rencontre successivement :

- l'**étage supralittoral**, zone d'humectation par les embruns, l'immersion y est exceptionnelle,
- l'**étage médiolittoral** ou zone d'humectation par les vagues et les marées, divisé en sous étages supérieur seulement mouillé par les vagues et inférieur, immergé lorsque les eaux sont hautes, sinon seulement mouillé par les vagues, lorsque les eaux sont basses,
- l'**étage infralittoral** ou zone constamment immergée, dont la limite inférieure est la profondeur encore compatible avec la vie des Magnoliophytes et des algues photophiles (de -20 à - 45 m),
- l'**étage circalittoral** s'étend jusqu'à la profondeur extrême compatible avec la vie d'algues pluricellulaires sciaphiles (-45 à -120 m),

Les étages inférieurs **bathyal**, **abyssal** et **hadal** sont absents en Méditerranée (THIBAUT, 2001).

## 2. Caractéristiques de la zone d'étude

### 2.1. Le Golfe d'Oran

Le Golfe d'Oran représente un assez grand bassin largement ouvert vers la Méditerranée. L'étendue de ce dernier avoisine les 180 kilomètres et représente une largeur moyenne de 20 à 25 Km (AIT TAYEB, 2001). Il est limitée à l'Est par le mont d'Arzew, et à l'Ouest par les plaines des Andalouses, où s'alternent avec un pourcentage à peu près équivalent des côtes rocheuses (54%) et des côtes basse de matériaux meubles (46%), ce dernier se caractérise par l'absence d'Oued, excepté de rares Oueds côtiers d'importance très modeste. (BOUTIBA et *al*, 2003). Le littoral oranais présente un plateau réduit avec d'importantes plages ouvertes dont une grande partie est constituée par un relief rocheux (BOUTIBA, 1992).

La sédimentation marine est très modeste dans le Golfe d'Oran, cela se traduit au niveau des fonds du Golfe par une couverture sédimentaire tout à fait particulière. Les études bio-sédimentaires sur le Golfe d'Oran ont permis d'identifier six faciès sédimentaires (GRIMES et *al*, 2004) :

- les graviers sableux,
- les sables graveleux envasés,
- les sables graveleux,
- les sables graviers légèrement envasés,
- les sables envasés graveleux,
- les vases pures réduites.

#### 2.1.1. Données climatiques

Le climat d'Oran est typiquement méditerranéen se caractérise par des hivers doux et humides, des printemps et automnes souvent humides et des étés secs. C'est un climat de transition entre un climat tempéré au nord et un climat subtropical ou désertique au sud (KADIR, 1987).

##### 2.1.1.1. Précipitations et températures

Les pluies en Algérie sont, en général des pluies longues de faibles intensités, irrégulières dans le temps et dans l'espace et de type frontal. La pluviométrie moyenne annuelle sur l'ensemble du littoral algérien s'élève à 6776 mm à Oran varie

entre 350 et 400 mm et peut ne pas dépasser 200 à 250 mm en certaines années sèches, ou plus du 60% du total annuel est enregistré pendant la seule saison hivernale (BELHOUARI, 2008). La pluviométrie de cette région reste une des faibles de l'Algérie du Nord. Ce phénomène étant du à l'assèchement des masses d'air suite à la traversée des montagnes espagnoles (BENKABOUCHE, 2007).

Selon l'Office National Météorologique d'Oran (ONM) (1999-2009), Oran enregistre une faible pluviométrie vu sa situation à une altitude plus basse que les régions Centre et Est algériennes (Tableau 5).

**Tableau 5 : Fréquences mensuelles des précipitations moyennes P (mm) et des températures relevées au niveau d'Oran (O.N.M., 1999- 2009).**

Mois	Nov 08	Déc	Jan 09	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct
P (mm)	55	45	42	44	35	29	25	03	01	02	12	59
T moy (°C)	16,01	14,1	10,16	12,8	14,50	17,75	21,34	23,64	27,90	27,60	23,27	19,58

### 2.1.1.2. Les Vents

Les vents de la baie d'Oran soufflent d'Ouest, Sud-Ouest, au mois de décembre ; les vents Ouest et Sud au mois de janvier, novembre, mars, avril et mai. Pour les trois derniers mois, on enregistre des vents Nord-Est (*in* GHODBANI, 2001). Il existe par ailleurs des vents chauds (Sirocco) provenant du Sud et Sud-Ouest, ce sont des vents chauds et secs de 9 à 16 jours par an. Selon l'ONM (1999-2009) la ville d'Oran enregistre une vitesse du vent maximale de 6,4 m/s au mois d'avril et de 5,28 m/s au mois de novembre (Tableau 6).

**Tableau 6 : Fréquences mensuelles des vitesses moyennes (V moy m/s), direction et force des vents relevées au niveau de la baie d'Oran (O.N.M., 2008-2009)**

Mois	Nov 08	Déc	Jan 09	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct
V moy (m/s)	5,28	4,94	2,85	3,44	4,23	6,4	4,24	4,04	4,20	4,13	4,17	4,40
Direction	SW	SW	SW	SW	NE	W	N	N	N	N	N	SW

## **2.2. Le Golfe d'Arzew**

Le Golfe d'Arzew est situé sur la côte Ouest algérienne (en moyenne sur le Méridien de Greenwich et 36° de latitude N).

Il s'étend du Cap Carbon (35°54 N - 0°20 W) au Cap Ivi (0°37 N - 0°13 W). Ces deux caps forment les limites du Golfe d'Arzew. La côte est orientée NE-SW jusqu'aux marais de la Macta qui marque le fond du Golfe d'Arzew.

Partant du Cap Ivi, on rencontre l'embouchure de l'Oued formé de sable et d'alluvions, puis à environ sept miles, la ville de Mostaganem marquée par l'implantation de plusieurs activités industrielles (BOUKHELEF, 2012). Ensuite une longue plage sableuse en arc de cercle se terminant sur le grand port méthanier de Bethioua-Arzew. Là, la côte rocheuse remonte au nord jusqu'aux îlots d'Arzew et se prolonge vers l'Ouest jusqu'au Cap Carbon (*in* DERMECHE, 1998).

Entre le Cap Carbon et Cap Ivi, le Golfe d'Arzew s'ouvre au nord sur 72 km. Du Cap Carbon à Arzew, le sable de cette cité côtière plonge dans l'eau et rend cette zone assez rude (*in* HOUARI, 2002).

A partir du port d'Arzew s'étend le sable de façon continue sur 13 Km. Une zone rocheuse peu élevée occupe ensuite les 3,5 Km qui nous séparent du petit port de Port-aux-Poules (Mersat El Hadjadj / wilaya de Mostaganem) (*in* DERMECHE, 1998).

Le substratum est caractérisé par des boues argilo-siliceuses, les fonds sont à 12 ou 13 miles du fond de la baie, Après la plage du sable qui forme la zone littorale, on rencontre rapidement le sable vaseux puis la vase molle et vers les fonds de 100 m, la zone de sable coquillier et enfin la vase molle jusqu'au talus du plateau continental.

### **2.2.1. Données climatiques**

Afin de caractériser le climat de cette zone d'étude, nous avons largement utilisé les données météorologiques fournies par l'Office National Météorologique d'Oran (1999-2009).

### 2.2.1.1. Précipitations et températures

L'étude de la précipitation et de la température du Golfe d'Arzew est résumée dans le tableau 7.

Tableau 7 : Fréquences mensuelles des précipitations moyennes (P mm) et des températures relevées au niveau d'Arzew (O.N.M., 1999- 2009).

Mois	Nov 08	Déc	Jan 09	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct
P (mm)	56	44	44	42	33	30	22	01	00	02	14	57
T moy (°C)	16,81	14,87	10,36	13,1	14,8	17,99	21,44	24,74	28,96	29,68	24,37	20,01

La proximité de la mer par son effet modérateur confère à cette région du littoral algérien un aspect particulièrement atténué (SAADA, 1997 in TERBECHE, 2007). Ainsi, les températures moyennes révélées dans notre station d'étude durant cette année, montre que la température moyenne ne descend jamais au dessous de 11°C et ne dépasse guère les 29,68°C (Tableau3).

Le climat de la région d'Arzew est de type méditerranéen, chaud l'été, la température maximale est de 35°C avec une saison sèche très marquée entre la mi-juin et la mi-septembre et doux et humide l'hiver. Ces caractéristiques sont sous des conditions estivales dues à l'alternance de brises de mer fraîche et humide et de brises de terre chaudes et sèches (SAADA, 1997 in TERBECHE, 2007).

### 2.2.1.2. Les vents

Selon de nombreux auteurs, les vents du nord (N-WW-NE) sont souvent porteurs d'une certaine humidité sur le littoral algérien, tandis que les vents du sud (Sirocco) amènent une sécheresse sévère (SAADA, 1997 in TERBECHE, 2007). Le Golfe d'Arzew est prédominé par des vents Sud-Ouest d'octobre à février et des vents de Nord de mai à septembre (Tableau 8).

Tableau 8 : Fréquences mensuelles des vitesses moyennes (moy m/s), direction et force des vents relevées au niveau de la baie d'Arzew (O.N.M., 1999-2009).

Mois	Nov 08	Déc	Jan 09	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct
V moy(m/s)	5,38	5,84	3,85	3,64	4,98	6,87	5,54	6,14	4,22	4,99	5,17	4,44
Direction	SW	SW	SW	SW	NE	W	N	N	N	N	N	SW

---

---

## CHAPITRE III : *MATERIELS ET METHODES*

---

---

## 1. Choix du site d'étude

Deux sites ont été pris en compte lors de cette étude, le premier, situé à proximité de l'agglomération d'Arzew (Cap Carbon) dont la position géographique est de  $35^{\circ} 54' 6.36$  N de latitude et  $0^{\circ} 20' 20,22$  W de longitude. Cette zone se trouve sous l'influence d'importants rejets urbains et industriels provenant de la présence d'unités et de complexes industriels pétrochimiques (Arzew-Ain El Bia) (DERMECHE, 1998; DERMECHE et *al*, 2010, BOUKHELF, 2012).

A l'inverse, le deuxième site, situé à une dizaine de kilomètres à l'Est d'Oran (Ain Franin) dont la position géographique est de  $35^{\circ} 46' 49,78$  N de latitude et  $0^{\circ} 31' 01,51$  W de longitude (Figure 33). Il se trouve implanté entre les deux caps formant la grande baie d'Oran, Cap Ferrat au Nord et le cap Falcon Sud-Est et à 28 Km de Kristel considéré comme une zone non impactée car l'action anthropique est très peu marqué (BELKHEDIM, 2010).

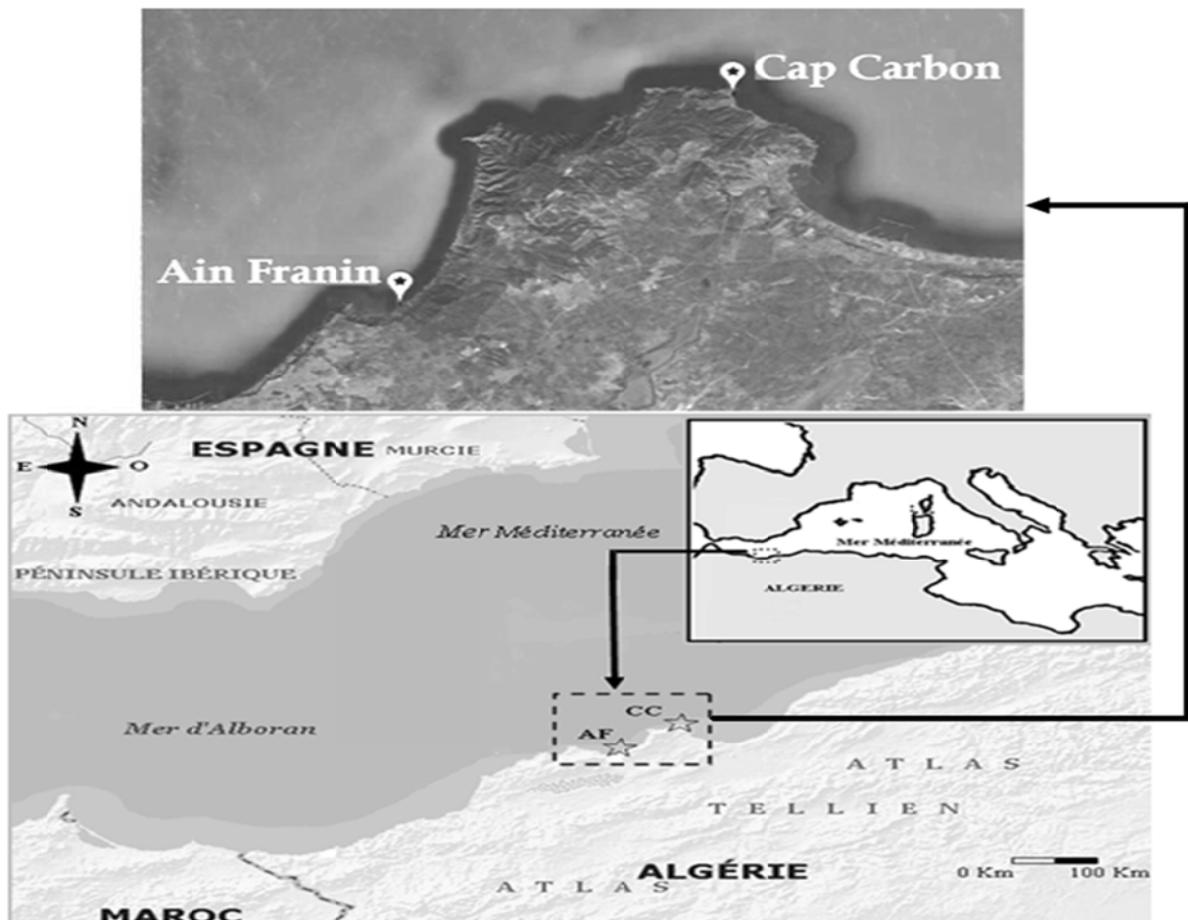


Figure 33 : Localisation des deux sites étudiés (AF Ain Franin ; CC Cap Carbon).

## 2. Transect

Le transect est réalisé en plongée en scaphandre autonome en partant du bord de la plage vers le large et ceci en déroulant un ruban gradué attaché a un pique planté au bord de la plage (distance 0 m et profondeur 0 m), tout en décrivant la nature du substrat sur lequel se positionne notre herbier ainsi que les différentes biocénoses présentes et ceci jusqu'à la limite (distance et profondeur) où a été effectué notre échantillonnage (Figure 34).



Figure 34 : Réalisation du transect au niveau du site Cap Carbon (Photo CHAHROUR, 2013).

## 3. Mesure des paramètres du milieu

Les mesures de température et de salinité (mesures ponctuelles) sont réalisées tous les mois, de novembre 2008 à novembre 2009. Lors des prélèvements des rhizomes à proximité de l'herbier de chaque site.

### 3.1. Température

Les mesures sont effectuées *in situ*, à l'aide d'un ordinateur de plongée du type Aladin 2G (Anexe1) de précision de + 0,5°C.

### 3.2. Salinité

Les bouteilles servant au prélèvement d'eau en vue de mesure de la salinité sont préalablement soigneusement lavées avec de l'eau acidifiée (2 à 3% d'acide chlorhydrique) et ensuite rincé à l'eau distillée et sécher.

L'eau de la colonne a été prélevée *in situ* à profondeur de 10 mètres à l'aide de bouteilles (250 ml) rincées en plongée trois fois avec l'eau de la colonne juste avant le prélèvement.

Les mesures de la salinité de l'eau de mer, prélevée dans les bouteilles, sont effectuées au laboratoire à l'aide d'un conductivimètre du type Hanna instruments modèle Ec 215.

## 4. Caractéristique de l'herbier à *P. oceanica*

### 4.1 Densité

Ce paramètre correspond au nombre de faisceaux de *Posidonia oceanica* présents par unité de surface, généralement le mètre carré (GIRAUD, 1977a, 1977b ; ROMERO, 1986 ; DUARTE et KIRKMAN, 2001 ; BUIA et *al.*, 2004). Seules les zones effectivement couvertes par l'herbier (à l'exclusion donc des intermattes) sont prises en considération pour la mesure de cette densité (Figure 35) (GIRAUD, 1977a, 1977b).

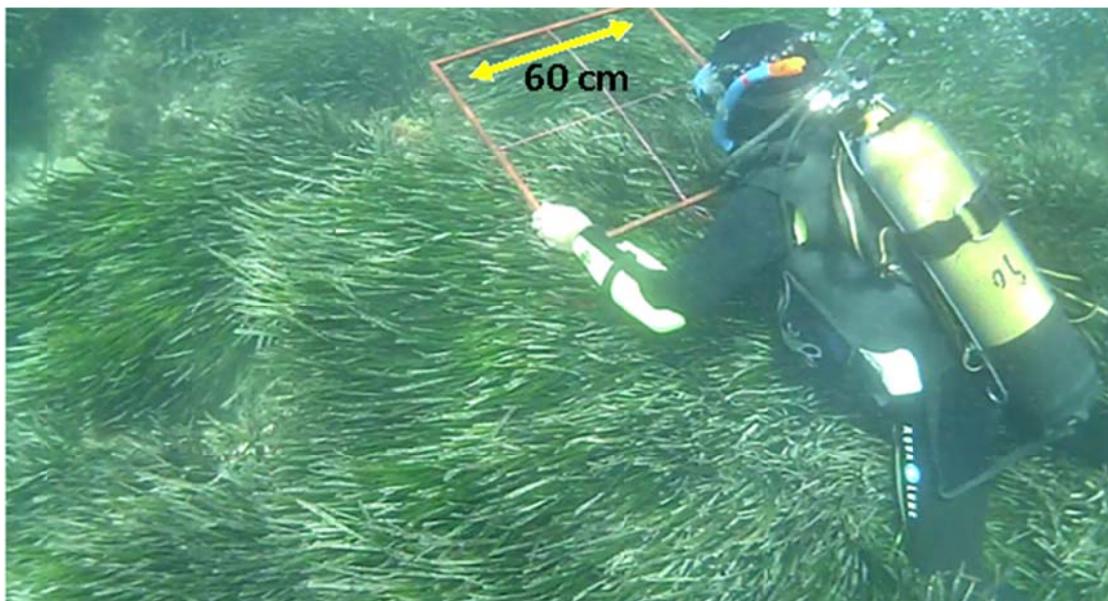


Figure 35: Détermination de la densité de l'herbier à *Posidonia oceanica* du site Cap Carbon (CHAHROUR 2013).

La densité a été déterminée par un comptage *in situ*, à l'intérieur d'un quadrat de 60 x 60 cm divisé en 4 carreaux de 30 cm de côté (BOUDOURESQUE et al., 1990).

Les mesures sont effectuées au hasard à l'intérieur de l'herbier homogène disposé au hasard (PANAYOTIDIS, 1980). Du fait de la structure agrégative des herbiers (répartition en taches), PANAYOTIDIS et al (1981) préconisent, dans l'évaluation de la densité moyenne, la réalisation de répliqués.

Trois comptages sont réalisés chaque mois, en plongée à 10 m de profondeur, dans chaque site (Annexe 3). Les faisceaux foliaires en division sont comptabilisés comme séparés (GIRAUD, 1977 b) (Tableau 9). Chaque valeur de densité est ramenée au mètre carré, la densité moyenne est ainsi estimée. En fonction de la densité moyenne, le type d'herbier est défini selon la classification proposée par GIRAUD (1970 b).

**Tableau 9 : Classification de l'herbier à *Posidonia oceanica* selon la densité des faisceaux de feuilles au m<sup>2</sup> (GIRAUD, 1977b).**

Nombre de faisceaux /m <sup>2</sup>	Types d'herbier
Plus de 700 faisceaux/m <sup>2</sup>	Type I, herbier très dense
De 400 à 700 faisceaux/m <sup>2</sup>	Type II, herbier dense
De 300 à 400 faisceaux/m <sup>2</sup>	Type III, herbier clairsemé
De 150 à 300 faisceaux/m <sup>2</sup>	Type I, herbier très clairsemé
De 50 à 150 faisceaux/m <sup>2</sup>	Type V, semi herbier
Moins de 50 faisceaux/m <sup>2</sup>	Faisceaux isolés

De même, il est possible, pour *P. oceanica*, d'analyser la densité des faisceaux en fonction de la profondeur et de l'état de l'herbier. Ainsi, pour une profondeur donnée, on peut déterminer quatre classes (Tableau 10) :

- ❖ La classe supra-normale, qui correspond à des situations particulièrement exceptionnelles en termes de vitalité de *P. oceanica* ou d'extension bathymétrique de l'herbier ;
- ❖ La classe normale, qui correspond à des valeurs de vitalité de *P. oceanica* satisfaisantes, que l'on doit pouvoir observer lorsqu'il n'existe pas de pression anthropique marquée ;
- ❖ La classe sub-normale, qui correspond à une réduction de la vitalité des herbiers

(diminution de la densité, ralentissement de la croissance, contamination), et doit constituer un signal d’alarme indiquant qu’il existe une perturbation de l’environnement à même d’affecter l’herbier ;

- ❖ La classe anormale, qui correspond à des situations critiques où la vitalité de l’herbier est extrêmement réduite.

Tableau 10 : Échelle d’évaluation de la densité (faisceaux / m<sup>2</sup>) des herbiers à *Posidonia oceanica* en fonction de la profondeur. DA = densité anormale ; DN = densité normale ; DSI = densité sub-normale inférieure ; DSS = densité sub-normale supérieure (PERGENT *et al.*, 1995).

Prof.	DA	DSI	DN	DS	Prof.	DA	DSI	DN	DSS
1	← 822	↔	934 ↔ 1158	→	21	← 48	↔	160 ↔ 384	→
2	← 646	↔	758 ↔ 982	→	22	← 37	↔	149 ↔ 373	→
3	← 543	↔	655 ↔ 879	→	23	← 25	↔	137 ↔ 361	→
4	← 470	↔	582 ↔ 806	→	24	← 14	↔	126 ↔ 350	→
5	← 413	↔	525 ↔ 749	→	25	← 4	↔	116 ↔ 340	→
6	← 367	↔	479 ↔ 703	→	26			106 ↔ 330	→
7	← 327	↔	439 ↔ 663	→	27			96 ↔ 320	→
8	← 294	↔	406 ↔ 630	→	28			87 ↔ 311	→
9	← 264	↔	376 ↔ 600	→	29			78 ↔ 302	→
10	← 237	↔	349 ↔ 573	→	30			70 ↔ 294	→
11	← 213	↔	325 ↔ 549	→	31			61 ↔ 285	→
12	← 191	↔	303 ↔ 527	→	32			53 ↔ 277	→
13	← 170	↔	282 ↔ 506	→	33			46 ↔ 270	→
14	← 151	↔	263 ↔ 487	→	34			38 ↔ 262	→
15	← 134	↔	246 ↔ 470	→	35			31 ↔ 255	→
16	← 117	↔	229 ↔ 453	→	36			23 ↔ 247	→
17	← 102	↔	214 ↔ 438	→	37			16 ↔ 240	→
18	← 88	↔	200 ↔ 424	→	38			10 ↔ 234	→
19	← 74	↔	186 ↔ 410	→	39			3 ↔ 227	→
20	← 61	↔	173 ↔ 397	→	40			↔ 221	→

#### 4.2. Taux de recouvrement

C’est le pourcentage moyen du substrat couvert (en projection verticale) par l’herbier à *Posidonia oceanica* (quelle que soit la densité des faisceaux au sein de l’herbier ou des taches de *P. oceanica*), par rapport à la surface totale du secteur considéré (sable, vase, peuplements algaux de substrat dur, “matte morte” et herbier vivant), l’estimation en plongée en scaphandre autonome du recouvrement de l’herbier de Posidonie, dans chaque site, s’est faite au moyen d’un quadrat de 1 mètre de côté, divisé en 4 carreaux de 50 cm de côté (chaque carreau représente une valeur de 25%) (Figure 36).

Pour une bonne reproductibilité 30 mesures ont été effectuées dans chaque station (Annexe 4), à intervalle à peu près régulier (un même nombre de coups de palmes).

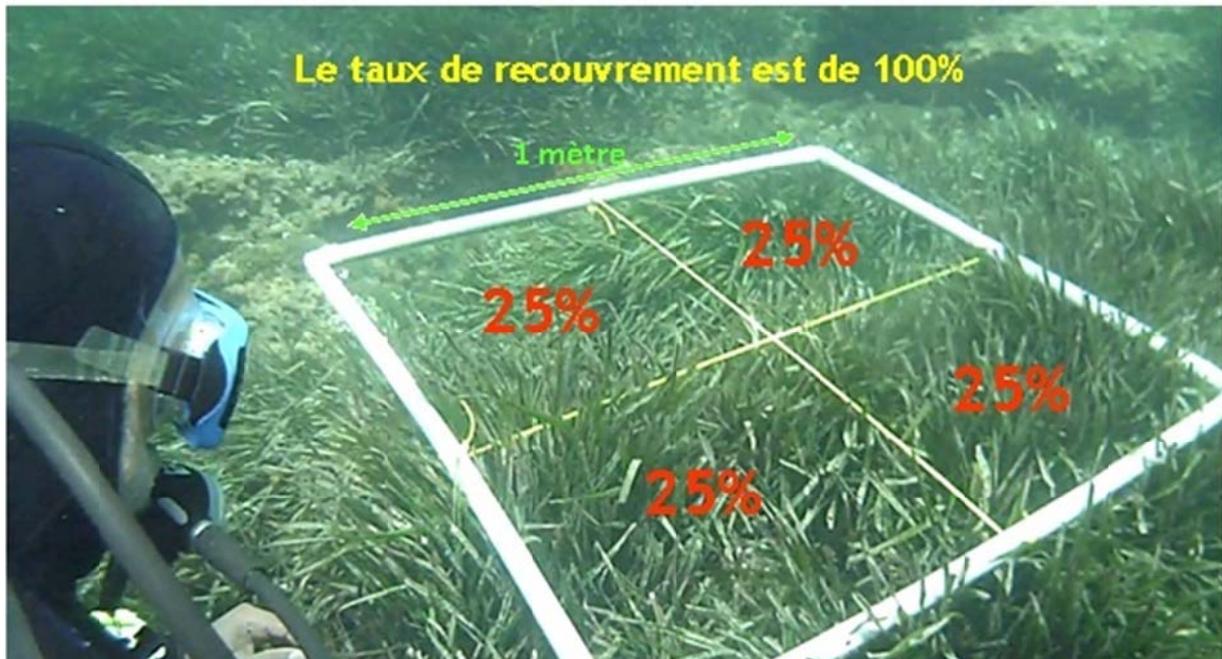


Figure 36 : Détermination du taux de recouvrement de l'herbier à *Posidonia oceanica* d'Ain Franin (Photo CHAHROUR, 2013).

## 5. Échantillonnage

Pour chaque site l'échantillonnage s'est échelonné de novembre 2008 à novembre 2009 (Tableau 11), à raison d'un prélèvement mensuel par site. La récolte s'est faite en scaphandre autonome. A Chaque prélèvement, 30 rhizomes terminés par des faisceaux vivants sont récoltés à une profondeur de 10 mètres.

Tableau 11 : Plan d'échantillonnage

	<i>Cap Carbon</i>	<i>Ain Franin</i>
<i>Novembre</i>	25/11/2008	30/11/2008
<i>Décembre</i>	17/12/2008	14/12/2008
<i>Janvier</i>	19/01/2009	23/01/2009
<i>Février</i>	15/02/2009	19/02/2009
<i>Mars</i>	14/03/2009	17/03/2009
<i>Avril</i>	25/04/2009	29/04/2009
<i>Mai</i>	24/05/2009	20/05/2009
<i>Juin</i>	23/06/2009	27/06/2009
<i>Juillet</i>	26/07/2009	22/07/2009
<i>Août</i>	15/08/2009	10/08/2009
<i>Septembre</i>	19/09/2009	16/09/2009
<i>Octobre</i>	25/10/2009	21/10/2009
<i>Novembre</i>	24/11/2009	29/11/2009

Les rhizomes orthotropes sont distants de 50 cm à 1 mètre les uns des autres, afin d'éviter de récolter des individus rattachés à un même rhizome plagiotrope encore vivant (PERGENT, 1987). Ils sont choisis les plus longs possible, et ne présentent pas de ramifications secondaires apparentes (Figure 37). Les rhizomes récoltés sont immédiatement conservés dans de l'eau de mer formolée à 10%. Ce mode de fixation permet de travailler après réhydratation sur un matériel très proche du matériel frais. Les faisceaux foliaires et les rhizomes sont ensuite disséqués pour des études phénologique et lépidochronologique.



Figure 37 : Récolte des rhizomes de *P. oceanica* au niveau du site d'Ain Franin (Photo CHAHROUR, 2013).

## 6. Structure des faisceaux

### 6.1. Étude phénologique

#### 6.1.1. Définition

Le terme phénologie, du grec *pheno* : montrer, est défini comme étant l'étude de phénomènes de périodicité en relation avec les variations du climat ; ces phénomènes intéressent la germination, l'apparition de la chute des feuilles, l'éclosion des bourgeons, la floraison, la fructification et la dissémination des diaspores (GIRAUD, 1977a).

Clicours.COM

Les caractéristiques morphologiques et l'âge des feuilles d'un faisceau diffèrent selon la position de la feuille dans le faisceau. Au sein de chaque faisceau, les feuilles se forment au centre et sont d'autant plus âgées qu'elles sont situées vers la périphérie (GIRAUD, 1977a ; CAYE, 1989). Ces dernières acquièrent un pétiole lorsque leur allongement est presque terminé (GIRAUD, 1977a).

Pour l'étude phénologique, seuls les faisceaux orthotropes sont pris en compte. En effet *Posidonia oceanica* peut présenter au cours de son développement deux types de croissances une croissance verticale ou orthotrope et une croissance horizontale ou plagiotrope (MOLINIER et PICARD, 1952 ; CAYE, 1980) ce dimorphisme lié au mode de croissance présente une diversité de fonction des rhizomes.

Les axes plagiotropes assurent la multiplication végétative et les axes orthotropes sont responsables du maintien en place et de la reproduction sexuelle (CAYE, 1989).

Du fait de cette diversité de fonction, les rhizomes plagiotropes et orthotropes ne présentent pas un rythme de développement similaire (nombre de feuilles produites, vitesse de croissance) et ne peuvent donc être comparés directement (CAYE et ROSSIGNOL, 1983; CAYE.1989).

### **6.1.2. Analyse biométrique**

Chaque faisceau est réhydraté, puis décortiqué feuille par feuille en respectant l'ordre distique de leur insertion (Figure 38). Les feuilles sont séparées selon le protocole de GIRAUD (1977b) en fonction de leur maturité :

- Les "**feuilles adultes**", de plus de 50 cm de long et pourvues d'un pétiole dont la longueur est supérieure ou égale à 2 mm.
- Les "**feuilles intermédiaires**" de plus de 50cm de long et dépourvues de pétiole (ou dont le pétiole est inférieur ou égal à 2 mm.
- Les "**feuilles juvéniles**" sans pétiole et de longueur n'excédant pas 50 mm.

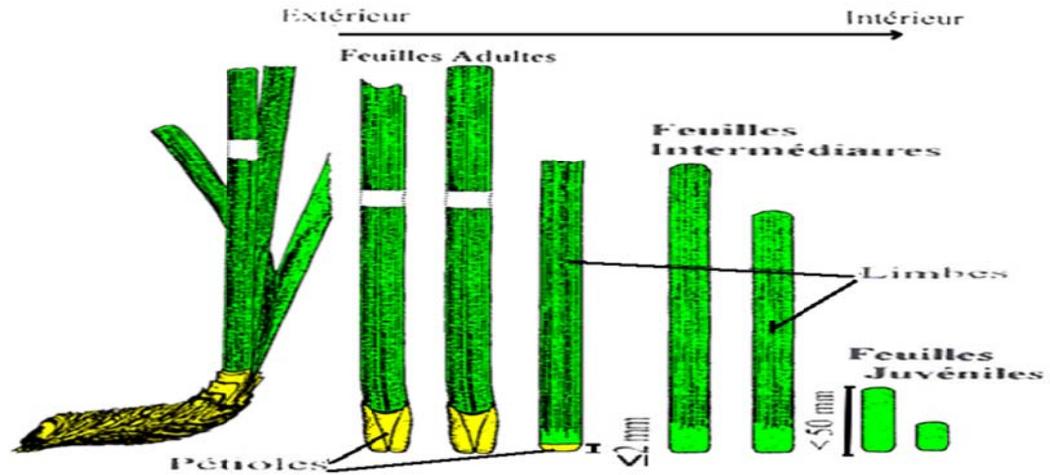


Figure 38 : Dissection phénologique de *Posidonia oceanica* (PERGENT, 1987).

Pour chaque faisceau, les paramètres biométriques (longueur totale de la feuille et largeur du limbe) sont mesurés et consignés dans un tableau (Annexe 4). Les différents paramètres relatifs à la phénologie des feuilles de *Posidonia oceanica* sont calculés pour les feuilles adultes et intermédiaires, à savoir :

**Le nombre moyen** de feuilles par faisceau ;

**La longueur et la largeur moyennes** des feuilles.

**Le "Coefficient A"** qui correspond au pourcentage de feuilles ayant perdu leur apex (GIRAUD, 1977a). En effet l'extrémité des feuilles ou apex peut être entière ou brisée, ce qui correspond soit à une consommation par les herbivores (NEDELEC, 1982 ; VELIMIROV, 1984 ; ZUPO et FRESI, 1984), ou à l'action de l'hydrodynamisme favorisée par la présence d'épiphytes (EUGENE, 1978 ; MAZZELLA et al., 1981 ; WITTMANN et al., 1981 ; MAZZELLA et al., 1992).

L'état des apex, paramètre purement descriptif apporte donc des indications pour un site donné sur le taux de broutage et par conséquent l'importance des populations herbivores.

**La surface foliaire par faisceaux (SF)**, correspond à la surface des feuilles exprimée en cm<sup>2</sup> par faisceau (DREW, 1971 ; DREW et JUPP, 1976). Seule une face est prise en compte, bien que les deux faces des feuilles de *Posidonia oceanica* soient chlorophylliennes ; cet indice ne représente donc que la moitié de la surface foliaire

réelle. Cette dernière est calculée à partir de l'équation suivante pour chaque catégorie de feuilles :

*SF des feuilles adultes* =  $(\Sigma \text{Long FA} \times \Sigma \text{Larg FA})$  par faisceau / Nombre de faisceaux

*SF des feuilles intermédiaires* =  $(\Sigma \text{Long FI} \times \Sigma \text{Larg FI})$  par faisceau / Nombre de faisceaux

*SF des feuilles totales* =  $[\Sigma \text{Long (FA+FI)} \times \Sigma \text{Larg (FA+FI)}]$  par faisceau / Nombre de faisceaux

*FA* : Feuilles adultes

*FI* : Feuilles intermédiaires

*Long* : Longueur

*Larg* : Largeur

Connaissant la densité, l'indice foliaire est calculé en multipliant la surface foliaire par la densité : il est alors exprimé en  $\text{m}^2/\text{m}^2$ .

## **7. Biomasse des feuilles et des épiphytes des feuilles**

Les faisceaux récoltés pour l'étude phénologique sont également utilisés pour déterminer la biomasse des feuilles et des épiphytes des feuilles (Annexe 4).

### **7.1. Biomasse des feuilles**

Pour chaque faisceau, les lots de feuilles adultes et intermédiaires débarrassées de leurs épiphytes, sont rincées à l'eau, puis séchées séparément à l'étuve pendant 48h à 70°C. Chaque lot est ensuite pesé (balance Denver instrument M-220 D, précision de 0,1mg). La biomasse des feuilles est exprimée en mg Ps (poids sec) par faisceau puis rapportée en g Ps / $\text{m}^2$  en multipliant cette dernière par la densité.

### **7.2. Biomasse des épiphytes des feuilles**

A l'aide d'une lame de rasoir, sur une plaque de verre, les deux faces de chaque feuille sont grattées soigneusement afin de séparer les épiphytes des feuilles (animaux, végétaux et algues encroûtantes ou dressées) (DAUBY et POULICEK, 1995).

Le produit du raclage des feuilles adultes et intermédiaires est séché séparément à l'étuve pendant 48h à 70°C. Chaque lot est ensuite pesé. La biomasse des épiphytes est alors exprimée en mg Ps par faisceau puis rapportée en g Ps / $\text{m}^2$ .

## 8. Étude lépidochronologique

### 8.1. Définition

Une fois que le limbe de *Posidonia oceanica* tombe, le pétiole (base foliaire) reste attaché sur le rhizome : il est alors désigné sous le nom d'"écaille" (GRENIER, 1860). Les écailles et les rhizomes sont peu putrescibles et peuvent persister plusieurs millénaires au sein de la matte (plus de 4600 ans selon BOUDOURESQUE et al., 1986b).

L'épaisseur des écailles ainsi que plusieurs paramètres anatomiques (nombres de couches de cellules de sclérenchyme dorsal et de parenchyme, aspect plus ou moins palissadique du sclérenchyme ventral, présence d'îlots de sclérenchyme dorsal, cellules à tanin) varient de façon cyclique en fonction de leur rang d'insertion sur le rhizome (CROUZET, 1981 ; PERGENT, 1990).

Ces cycles ont un caractère annuel avec un minimum d'épaisseur en février - mars qui correspond à l'apparition d'écailles "fine" et un maximum d'épaisseur en septembre - octobre qui correspond à l'apparition d'écailles "épaisses" (CROUZET et al., 1983 ; PERGENT et al., 1989a).

Par analogie à la dendrochronologie, l'étude de ces variations cycliques est appelée «lépidochronologie"(BOUDOURESQUE et al., 1983a). Le terme "année lépidochronologique" est utilisé pour définir la période de temps comprise entre deux minima d'épaisseur (CALMET et al., 1988), celle-ci correspond en fait à l'année où les feuilles sont tombées et non à celle où elles ont vécu (PERGENT, 1987).

Les variations de l'épaisseur des écailles peuvent avoir une origine aléatoire ou traduire une réaction de la plante en réponse à des facteurs endogènes (variation intrinsèque), exogènes (température, luminosité, hydrodynamisme) (PERGENT, 1987).

L'appellation « année lépidochronologique » est utilisée pour définir la période de temps comprise entre deux minima d'épaisseur. Cela permet d'éviter toute confusion avec les années calendaires (PERGENT, PERGENT-MARTINI, 1994)

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

## 8.2. Étude au laboratoire

Les mêmes rhizomes qui ont servi pour l'étude phénologique sont nettoyés de façon à retirer le sédiment présent entre les écailles, ainsi que les épiphytes et les épibiontes macroscopiques qui colonisent le rhizome.

Les écailles de chaque rhizome sont très soigneusement détachées en respectant l'ordre distique de leur insertion en partant des plus anciennes vers les plus récentes (Figure 39) (PERGENT, 1987). L'épaisseur des écailles est appréciée au toucher (RICO-RAIMONDINO, 1995).

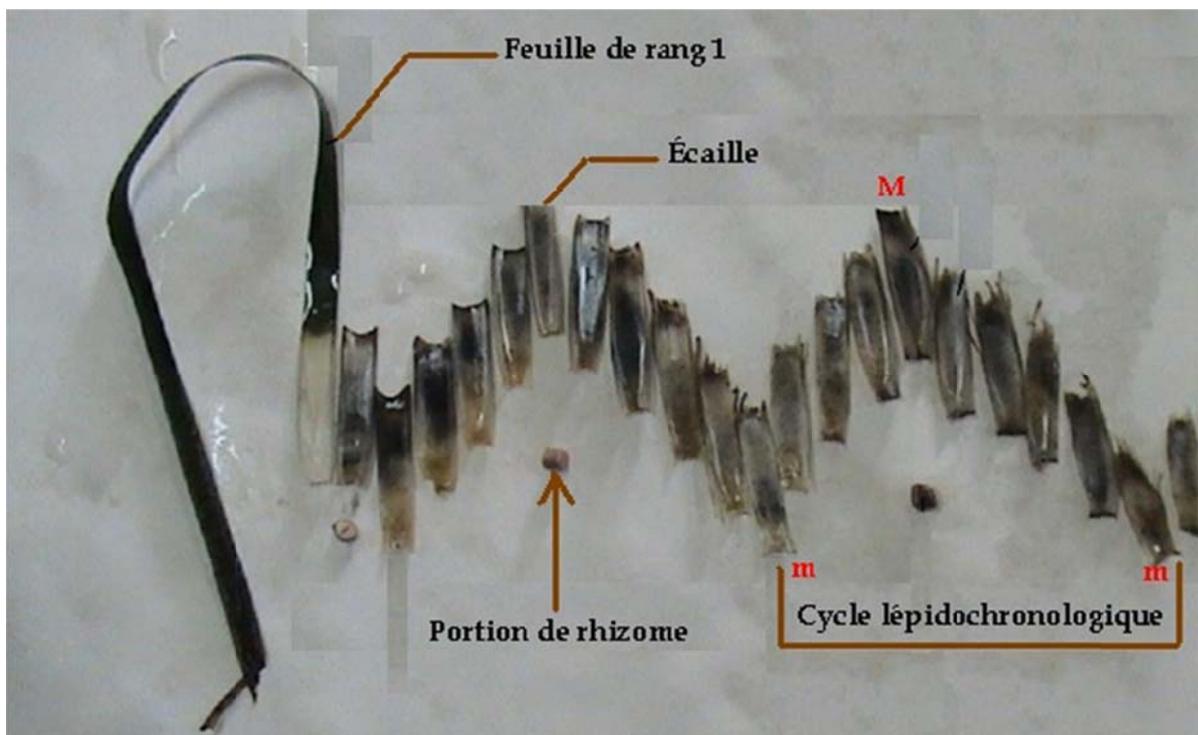


Figure 39 : Dissection d'un rhizome orthotrope de *P. oceanica*. M : Maxima ; m : minima (Photo CHAHROUR, 2013).

Lorsque l'épaisseur de l'écaille est minimale, le rhizome est coupé au niveau de l'insertion de cette écaille. Des tronçons de rhizomes délimités par deux minima

d'épaisseur des écailles sont numérotés en fonction de l'année lépidochronologique à laquelle ils appartiennent (Figure 40), leur longueur est mesurée et sont ensuite placés dans une étuve (72 h à 70°C), et pesés afin de déterminer leur poids sec. Le nombre d'écailles (Annexe 4) apparenté à chaque tronçon de rhizome est comptabilisé.

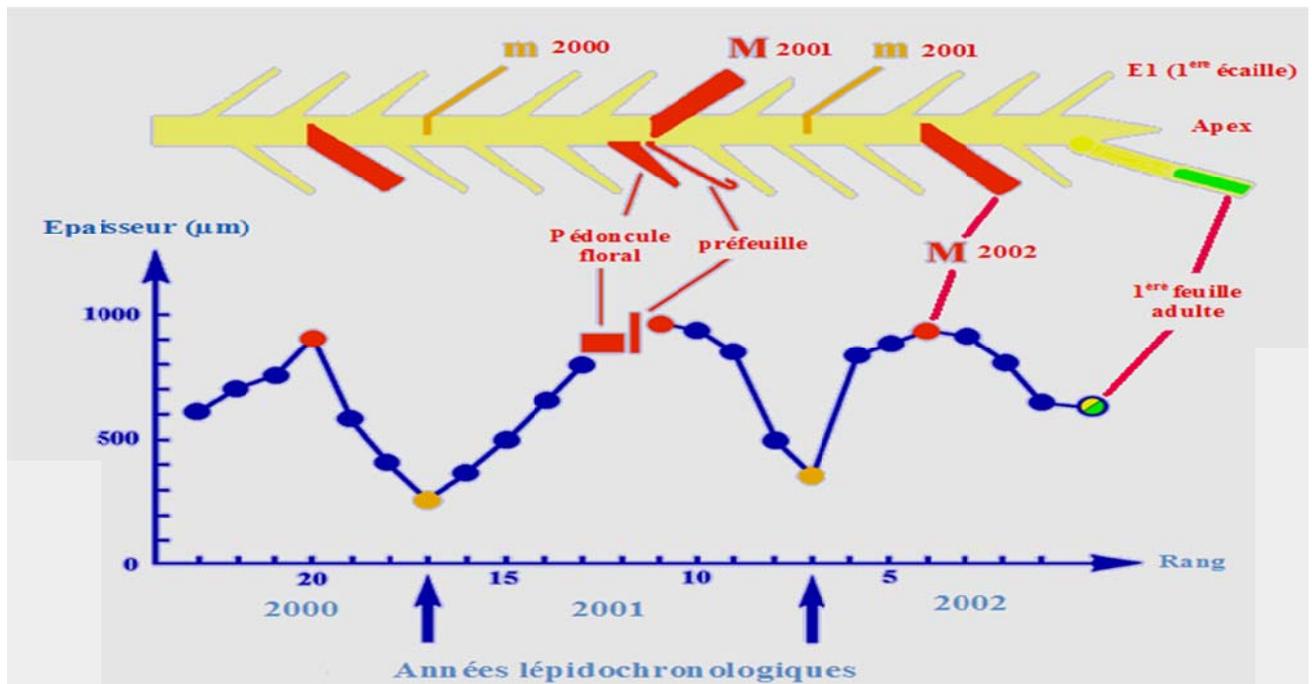


Figure 40: Le cycle d'épaisseur des écailles et la notion d'années lépidochronologiques.

M : maximum. m : minimum (PERGENT et al., 1989).

## 9. Traitements statistiques

Les Traitements statistiques énoncés ci-après ont été réalisés grâce au logiciel Statistica (Version 7.01).

### 9.1. Moyenne arithmétique

La moyenne arithmétique ( $m_a$ ), appelée simplement moyenne, est un paramètre de position qui sert à caractériser l'ordre de grandeur des observations (DAGNELIE, 1973).

Elle correspond à la somme de chacune des valeurs observées d'une variable divisée par le nombre de valeurs observées, c'est à dire la fréquence totale.

Si on désigne les n valeurs observées d'une variable par  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , alors on a :

$$m_a = \sum x_i / n$$

## **9.2. Calcul de la variance et de l'écart-type**

La variance mesure la dispersion autour de la moyenne arithmétique (DAGNELIE, 1973). La variance d'une distribution de fréquence est la moyenne des écarts par rapport à la moyenne au carré. On a alors :

$$V = \sum (x - m)^2 / n$$

L'écart-type (s) est la racine carrée de la variance

## **9.3. Analyse variance**

L'analyse de variance pour un facteur a pour but de comparer les moyennes de plusieurs populations supposées normales et de mêmes variances, à partir d'échantillons indépendants les uns des autres (DAGNELIE, 1973). Autrement dit elle permet d'établir si la source de variance est du uniquement à la variabilité à l'intérieur des échantillons ou si le facteur contrôlé introduit une variation entre les échantillons (DODGE, 1993). Les moyennes diffèrent significativement dans leur ensemble au risque 5% si F dépasse la limite  $F^{C-1, N-C}$  lue dans la table de F pour un degré de liberté (C-1) et (N-C) (SCHWARTZ, 1993).

## **9.4. Test de KRUSKAL-WALLIS**

Test non paramétrique visant à déterminer si K populations sont toutes identiques ou si au moins une des populations tend à fournir des observations différentes des autres populations (DODGE, 1993).

Pour pouvoir effectuer ce test les échantillons tirés de ces populations sont aléatoires et indépendantes. Les observations sont classées par ordre croissant sans tenir compte de l'appartenance aux échantillons ; un rang est attribué à chaque observation.

L'hypothèse nulle identique de deux populations est rejetée si la valeur calculée est supérieure à celle donnée par la table du  $\chi^2$  à 5% correspondant au nombre de degrés de liberté.

## 9.5. Test de MANN-WHITNEY

Le test de MANN-WHITNEY test non paramétrique visant à tester l'égalité de deux populations. Sa statistique notée **U**, est définie comme étant le nombre total de fois qu'un élément du premier groupe précède un élément du second groupe dans la classification par ordre croissant de *n* observations.

L'hypothèse nulle d'identité des deux populations est rejetée si **U** calculé est supérieur à la valeur donnée par la table de MANN-WHITNEY à 5%.

## 9.6. Relations biométriques

L'étude des relations allométriques chez *P. oceanica* se réfère aux relations entre variables aléatoires telles que le poids sec des rhizomes, et leurs longueurs. Les valeurs obtenues par lecture directe sur une balance et règle graduée; elles sont par conséquent sujettes à erreur. Les deux variables sont aléatoires. Dans ce cas, le modèle de régression linéaire qu'on doit utiliser est celui de l'axe principal réduit (SCHERRER, 1984). Nous calculons cependant la droite de régression par la méthode qui est la plus fréquemment utilisée, celle des moindres carrés.

### 9.6.1 Relation entre la longueur des pétioles des feuilles de rang 1 et leur limbe

Afin de caractériser, d'un point de vue biométrique l'herbier de *P. oceanica* des deux sites d'études, nous avons établi la relation allométrique entre la longueur des pétioles (mm) et la longueur de leurs limbes (mm) pour un échantillon de 390 faisceaux orthotropes par site.

Nous avons corrélé ces variables au moyen du modèle linéaire :

$$\mathbf{LBR1} = \mathbf{a} \mathbf{LFAR1} + \mathbf{b}$$

Où

**LBR1** = Longueur des pétioles (mm).

**LFAR1** = Longueur de leurs limbes (mm).

**a et b** = Paramètres des équations.

### **9.6.2 Relation entre le poids sec et la longueur des rhizomes**

Afin de caractériser, d'un point de vue biométrique l'herbier de *P.oceanica* des deux sites d'études, nous avons établi la relation allométrique entre le poids sec des rhizomes (mg) et la longueur des rhizomes (mm) pour un échantillon de 390 faisceaux orthotropes par site. Nous avons corrélié ces variables au moyen du modèle linéaire :

$$\mathbf{PS = a L + b}$$

Où

**PS** = Poids sec des rhizomes (mg).

**L** = Longueur des rhizomes (mm).

**a et b** = Paramètres des équations.

---

---

## CHAPITRE IV : *RESULTATS ET DISCUSSION*

---

---

## 1. Le transect

**Le transect de Cap Carbon** (Figure 41) débute sur la plage et se dirige dans la direction Sud-Est Nord-Ouest, dans l'axe médian de la plage qui est située au pied d'une falaise. Le transect débute par un fond sableux colonisé par un nombre important d'espèces photophyles suivit par un amas rocheux qui s'étend sur quelques dizaines de mètres et qui sont tapissés par des échinides (*Echinaster sepositus*, *Sphaerechinus granularis* et en particulier *Paracentrotus lividus*, fait suite à cela un fond sableux très meuble sur lequel on peut voir un début de matre provoquant une élévation du fond composé essentiellement d'une Magoliophyte *Cymodocea nodosa* suivit instantanément de l'herbier de *Posidonia oceanica* (à l'intérieur duquel on rencontre la grande nacre *Pinna nobilis* et des Holothuries) qui s'étend pratiquement à des profondeurs supérieures à 15m en suivant une pente très douce, car les 10 m de profondeur ne sont atteints qu'à une distance de 800 m à partir du rivage.

**Le transect d'Ain Franin** (Figure 42) se présente comme suit, il débute sur la plage et se dirige dans la direction Sud-Nord vers le large. Les cents premiers mètres de ce transect sont constitués d'une étendue de sable grossier et débris de coquilles de mollusques avec la présence de quelques peuplements photophyles à une profondeur ne dépassant pas les 2,5 m.

Fait suite à cette bande sableuse une zone rocheuse occupée par un peuplement d'échinodermes constitué essentiellement d'oursin *Paracentrotus lividus*.

A partir de 200 m de la plage la pente est importante et descend de 4 à 7m de façon brutale, à cette profondeur les premiers faisceaux de *Posidonia oceanica* surmontent une matre morte d'épaisseur presque homogène (40 cm). Au-delà de 7m de profondeur l'herbier devient moins dense et s'étend jusqu'à des profondeurs dépassant les 10m. Il est à retenir que la densité des holothuries présent dans cet herbier est assez remarquable en comparaison avec celle de Cap Carbon, par contre durant toute la campagne d'échantillonnage on a remarqué que la nacre géante été presque absente à l'exception de deux individus présent à l'intérieur de cet herbier.

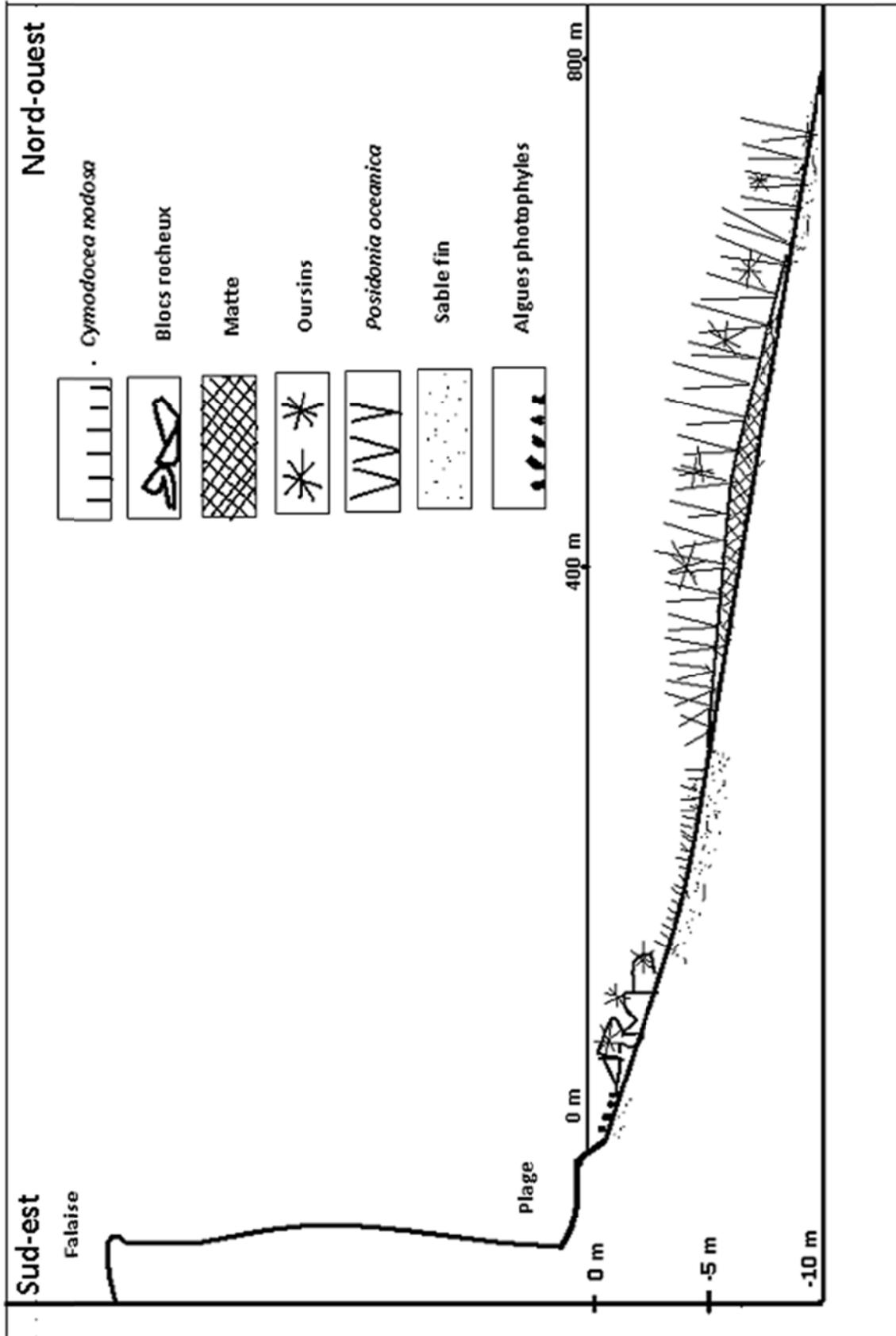
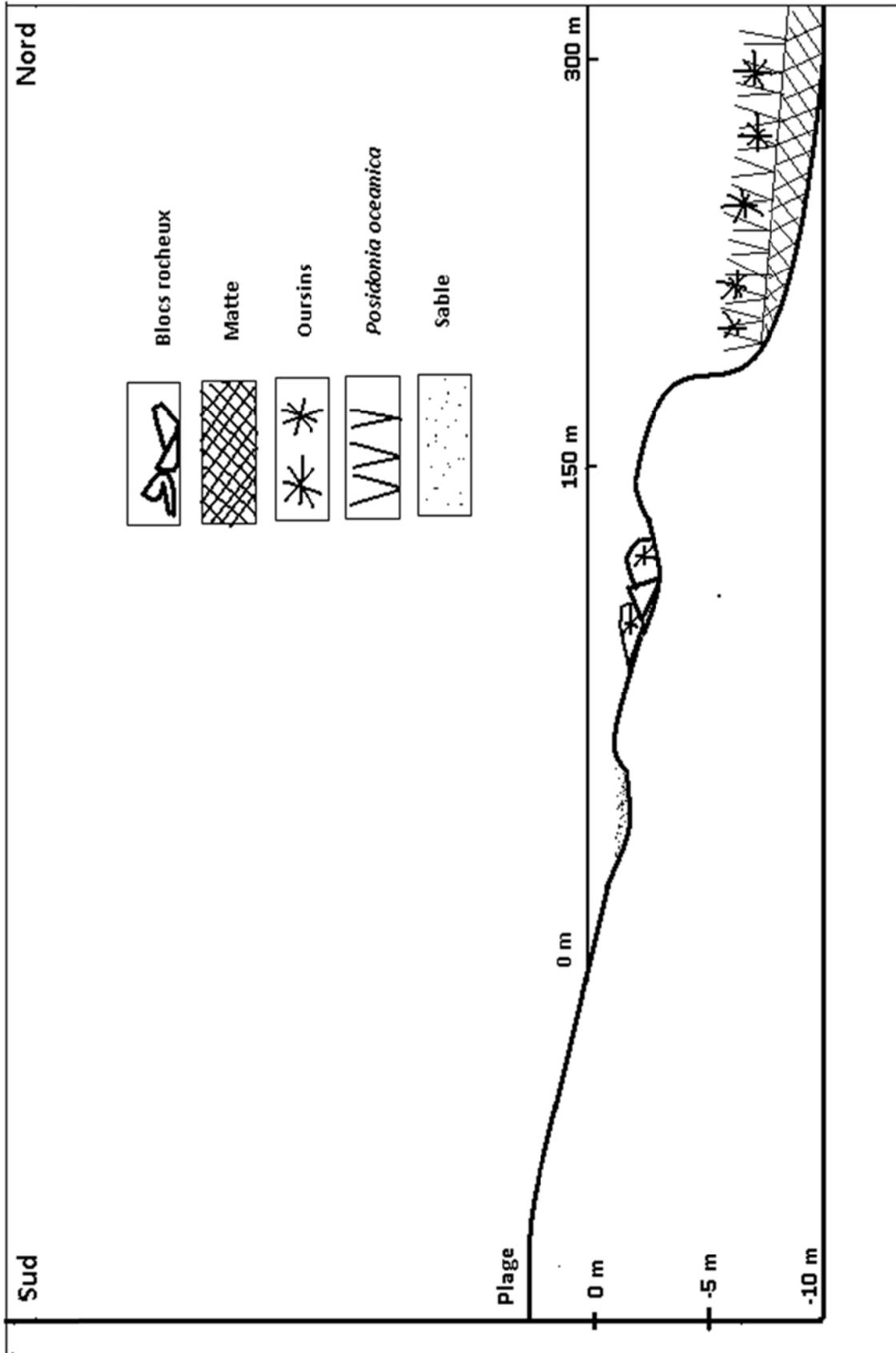


Figure 41: transect topographique realise a Cap Carbon.



## 2. Paramètres physico-chimiques

### 2.1. Température

Les relevés mensuels de température (température instantanée) réalisés sur un cycle annuel (Annexe 1) montrent que les variations enregistrées témoignent bien de l'étagement climatique relatif aux différentes saisons. Les plus hautes températures sont enregistrées pendant la saison estivale et les plus faibles pendant la saison hivernale (Figure 43).

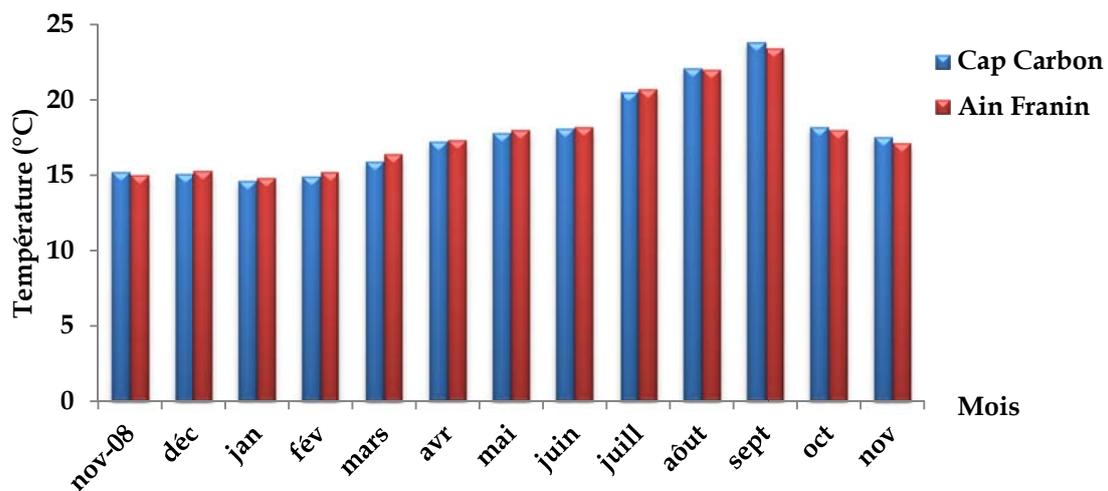


Figure 43 : Évolution saisonnière de la température dans les deux sites d'étude.

D'une manière générale, les valeurs de température obtenues et leurs variations au cours de l'année sont conformes à celles observées en Méditerranée dans des sites similaires ; à Port Cros, France (AUGIER *et al.*, 1980), Espagne (ESTEBAN, 1989 ; SANCHEZ LIZASO, 1993), Algérie (BOUMAZA, 1995) et en Corse (GOBERT, 2002) .

La moyenne annuelle, les valeurs maximales et minimales ont montrés que *Posidonia oceanica* est capable de tolérer de grandes variations de températures ; plante eurytherme par excellence selon AUGIER *et al.*, (1980). Cette caractéristique lui permet de coloniser de vastes surfaces de l'étage infralittoral (AUGIER et BOUDOURESQUE, 1979).

### 2.2. Salinité

Les mesures ponctuelles de salinité, réalisées dans les deux sites, montrent que les variations mensuelles enregistrées sont plus au moins faibles (Annexe 2).

Les teneurs de la salinité enregistrées en été dans les sites étudiés sont légèrement plus élevées par rapport à celles relevées le reste de l'année, particulièrement en hiver (Tableau 12). Elles sont dues au phénomène d'évaporation important durant l'été. En effet, les variations de la salinité sont gouvernées par l'évaporation et les précipitations (GUILCHER, 1979).

Tableau 12 : Moyennes estivale et hivernale de salinité (psu)  $\pm$  erreur standard enregistrées dans les deux sites d'étude.

Site	Cap Carbon	Ain Franin
Été	36,46 $\pm$ 0,40	36,35 $\pm$ 0,36
Hiver	35,50 $\pm$ 0,24	35,58 $\pm$ 0,30

Les valeurs de salinité obtenues sont conformes à celles mesurées habituellement sur les côtes algériennes (BENZOHRA, 1993 ; BOUMAZA, 1995) et correspondent à celles généralement relevées au niveau des herbiers à *Posidonia oceanica* (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982).

### 3. Caractéristiques de l'herbier

La phénologie fournit des renseignements importants sur la structure des herbiers, et complète ceux obtenus par l'étude lépidochronologique. Une meilleure connaissance des herbiers à *Posidonia oceanica* nécessite la prise en considération de la totalité des données fournies par ces deux méthodes. Cette partie concerne donc les résultats fournis par l'étude phénologique.

#### 3.1. Densité des faisceaux

La densité moyenne, estimée à partir des 39 comptages à raison de trois comptages par mois pendant 13 mois pour chaque site (Annexe 3), est de 350  $\pm$  50, 39 faisceaux par m<sup>2</sup> au niveau de l'herbier de Cap Carbon et de 403  $\pm$  47,44 faisceaux m<sup>2</sup> au niveau d'Ain Franin. La densité ne varie pas en fonction de la saison (ANOVA, P= 0,42 à Ain Franin et P=0,16 à Cap Carbon).

Selon la classification de GIRAUD (1977), l'herbier de Cap Carbon est du type III qualifié de « clairsemé » et l'herbier d'Ain Franin est du type II qualifié de « dense » (Figure 44). Selon la classification plus récente de PERGENT et al (1995) qui tient compte de la profondeur, les herbiers des sites étudiés sont considérés en « bon

état », autrement dit les valeurs de vitalité de *P.oceanica* des herbiers étudiés sont satisfaisantes.

Une différence significative est enregistrée entre les densités des deux herbiers considérés (ANOVA,  $P < 0,01$ ). La comparaison de la densité pour des stations présumées peu « anthropisées » et pour des stations fortement « anthropisées » montre à des profondeurs équivalentes, des valeurs élevées dans les stations peu « anthropisées » (PERGENT-MARTINI, 1994).

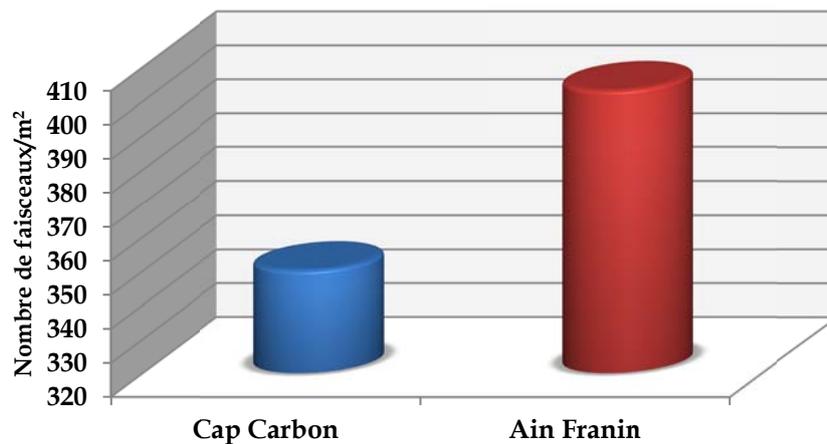


Figure 44 : Densité moyenne des faisceaux au niveau des herbiers de Posidonies des sites d'étude.

Pour des profondeurs équivalentes les valeurs obtenues se rapprochent de celles observées dans d'autres sites de la Méditerranée (Tableau 13). Effectivement, la variabilité du facteur densité est liée à plusieurs paramètres comme la turbidité moyenne, la pollution, l'hydrodynamisme ou la nature du substrat (PERGENT-MARTINI, 1994).

### 3.2. Taux de recouvrement

La structure morphologique des deux herbiers étudiés se présente sous l'aspect de plaine et c'est le cas le plus courant en Méditerranée. A Cap Carbon la prairie est plus au moins continue, en pente douce. En revanche celle d'Ain Franin est horizontale. Ces prairies sont interrompues par des intermattes érosives (BOUBOURESQUE et al., 1980d, 1985a). Le taux de recouvrement moyen calculé à partir de 30 comptages pour chaque site (Annexe 4) est de 73,33% Cap Carbon et de 70% à Ain Franin.

Tableau 13 : Densités moyennes des herbiers à *Posidonia oceanica* relevés dans la littérature pour différentes localités et profondeurs.

Références	Localités	Profondeurs (m)	Densité (Faisceau/m <sup>2</sup> )	Type
AUGIER et CRISTIANI, 1984	Carry-Sausset, (Côte Bleu, France)	10	400	II
CRISTIANI, 1980	Anse du Rouet (Côte Bleue, France)	10	503	II
EUGENE, 1978	Tiboulén (Ile de Frioul, France)	10	468	II
GIRAUD, 1977 b	Marine d'Elbo (France)	10	1100	I
PERGENT-MARTINI, 1994	Plateau des Chèvres (Marseille, France)	10	551	II
RICO-RAIMONDINO, 1995	Ischia, (Golfe de Naples, Italie)	10	312	III
	Cortiou (Plateau des Chèvres, France)		444	II
	Riou, (Marseille, France)		523	II
SEMROUD, 1993	Tamentfous (Algérie)	8	114	V
	La Marsa (Algérie)		172	IV
SINNASSAMY <i>et al.</i> , 1993	Anse de la Corbière (Marseille, France)	10	650	II
BOUMAZA, 1995	Anse de Kouali (Algérie)	10	386	III
GANTEAUME <i>et al.</i> , 2005	Baie de la Palud (Var, France)	9	349	III
	Bagaud interdit (Var, France)		482	II
	Bagaud Nord (Var, France)		558	II
	Passe de Port Cros (Var, France)		366	III
	Baie de Port-Man (Var, France)		551	II
SGHAIR <i>et al.</i> , 2006	El Kantaoui (Tunisie)	10	144	V
	Monastir (Tunisie)		231	IV
	Hergla (Tunisie)		267	IV
	Mahdia (Tunisie)		441	II
BEN BRAHIM <i>et al.</i> , 2007	Attaya (Golf de Gabes, Tunisie)	10	219	IV
	Mahrés (Golf de Gabes, Tunisie)		267	IV
SINNASSAMY <i>et al.</i> , 1993	Anse de la Corbière (Marseille, France)	10	650	II
MABROUK <i>et al.</i> , 2009	Ben Ghayadha (Tunisie)	8	806	I
	Sidi Salem (Tunisie)	10	518	II
	Cap Africa (Tunisie)	10	756	I
	Corniche (Tunisie)	12	881	I
Présent travail	Cap Carbon (Algérie)	10	350	III
	Ain Franin (Algérie)		403	II

## 4. Évolution saisonnière des paramètres phénologiques

### 4.1. Nombre de feuilles par faisceau

#### 4.1.1. Nombre de feuilles globales (adultes et intermédiaires)

Les proportions des différents types de feuilles constituant les faisceaux varient selon la période où sont effectués les prélèvements (Annexe 5).

Ces fluctuations du nombre de feuilles composant le faisceau sont notées par plusieurs auteurs (SEMROUD, 1993 ; RICO-RAIMONDINO, 1995 ; BOUMAZA, 1995, GOBERT, 2002 et BELGACEM *et al.*, 2007).

Ce nombre est maximum en hiver et minimum en automne à Cap Carbon, tandis qu'il est maximum au printemps et minimum à la fin de l'été à Ain Franin (Figure 45).

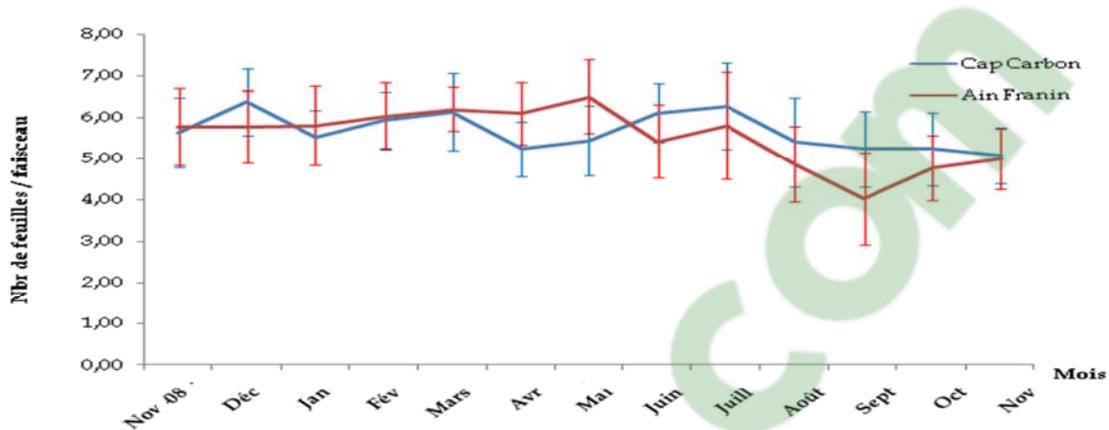


Figure 45 : Nombre moyen des feuilles par faisceau (adultes et intermédiaires) dans les sites étudiés en fonction des dates de récolte.

Ce décalage du nombre moyen de feuilles par faisceau peut être du, soit au nombre de feuilles formées qui diffère d'une année à l'autre, soit aux conditions météorologiques qui peuvent entraîner une perturbation du rythme de chute des feuilles une année donnée (hydrodynamisme). Aucune différence significative du nombre de feuilles n'a été enregistrée entre les deux herbiers considérés ( $P < 0,01$ ).

Les valeurs obtenues sont du même ordre que celles enregistrées à des profondeurs similaires dans plusieurs régions du bassin méditerranéen (Tableau 15).

#### 4.1.2. Nombre de feuilles adultes par faisceau

Le nombre moyen des feuilles adultes (moyenne mensuelle) par faisceau ne varie pas beaucoup au cours de l'année et ne présente pas la même évolution dans les sites d'étude (Tableau 13). Cette disparité est liée au rythme de chute de feuilles. Ce dernier est influencé par des facteurs externes à savoir l'hydrodynamisme.

Les minimas sont enregistrés respectivement le mois de janvier à Ain Franin et au mois de novembre à Cap Carbon (Tableau 14). En revanche les maximas sont enregistrés en automne pour le site de Cap Carbon et au printemps pour le site d'Ain Franin (Tableau 13). Ce constat s'explique par le fait que les feuilles adultes persistent plus longtemps sur les rhizomes durant l'été, car l'hydrodynamisme est très faible pendant cette saison (MAZZELLA et OTT, 1984 ; CAYE, 1989). Ce n'est qu'avec les

premières tempêtes d'équinoxe, à l'automne, que la chute des feuilles s'accélère (CAYE, 1982).

Tableau 14 : Nombre des feuilles adultes (moyenne mensuelle et annuelle) dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte des rhizomes. m : minimum ; M : maximum.

Mois	Années	Cap Carbon		Ain Franin	
		moyenne	s.e.	moyenne	s.e.
Novembre	2008	3,13	0,67	2,70	0,59
Décembre	2008	3,27	0,60	2,60	0,49
Janvier	2009	2,87	0,62	2,47 m	0,50
Février	2009	2,77	0,42	2,73	0,44
Mars	2009	3,00	0,52	2,87	0,43
Avril	2009	2,83	0,37	3,00	0,58
Mai	2009	2,53	0,62	3,50 M	0,50
Juin	2009	3,83	0,52	3,20	0,54
Juillet	2009	3,67	0,60	3,13	0,72
Aout	2009	3,70	0,90	3,10	0,65
Septembre	2009	3,80	0,83	2,87	0,72
Octobre	2009	4,00 M	0,73	2,97	0,55
Novembre	2009	2,20 m	0,48	2,80	0,48
<b>Moyenne</b>		<b>3,20</b>	<b>0,07</b>	<b>2,92</b>	<b>0,08</b>

#### 4.1.3. Nombre de feuilles intermédiaires par faisceau

Le nombre de feuilles intermédiaires reste relativement faible quelque soit la période de l'année et le site considéré par rapport à celui des feuilles adultes (GIRAUD *et al.*, 1979). Le nombre de feuilles intermédiaires est maximum en hiver et minimum en fin d'été début et automne (Tableau16). Ces résultats s'accordent avec ceux de PANAYOTIDIS et GIRAUD (1981) SEMROUD (1993), BOUMAZA (1995), GOBERT (2002), SGHAIR *et al* (2006), BELGACEM *et al* (2007) et MABROUK *et al* (2009).

Tableau 15 : Nombre des feuilles intermédiaires (moyenne mensuelle et annuelle) dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte des rhizomes. m : minimum ; M : maximum.

Mois	Années	Cap Carbon		Ain Franin	
		m	s.e.	m	s.e.
Novembre	2008	2,50	0,56	3,07	0,63
Décembre	2008	3,10	0,70	3,17	0,69
Janvier	2009	2,63	0,48	3,33	0,70
Février	2009	3,17 M	0,52	3,30 M	0,64
Mars	2009	3,13	0,67	3,33	0,54
Avril	2009	2,40	0,55	3,10	0,65
Mai	2009	2,90	0,83	3,00	0,63
Juin	2009	2,27	0,57	2,23	0,62
Juillet	2009	2,60	0,71	2,67	0,83
Aout	2009	1,70	0,59	1,77	0,72
Septembre	2009	1,43	0,50	1,17 m	0,73
Octobre	2009	1,23 m	0,42	1,80	0,40
Novembre	2009	2,87	0,62	2,20	0,60
<b>Moyenne</b>		<b>2,46</b>	<b>0,09</b>	<b>2,63</b>	<b>0,08</b>

**Tableau 16 : Nombre moyen des feuilles globales (adultes et intermédiaires) par faisceau de *Posidonia oceanica*. Valeurs extrêmes (Maximum : M ; minimum : m) relevées dans la littérature pour différente localités et profondeurs.**

Localités	Profondeur (m)	Nombre de feuilles par Faisceau	Références
Cap Carbon (Algérie)	10	6,37 (Décembre) M 5,07 (Novembre) m	Présent travail
Ain Franin (Algérie)		6,50 (Mai) M 4,03 (Septembre) m	
Anse de Kouali (Algérie)	10	7,40 (Février-Septembre) M 5,35 (Juin) m	BOUMAZA, 1995
Tamentfoust (Algérie)	8	6,80 (Avril) M 5,40 (Octobre) m	SEMROUD, 1993
La Marsa (Algérie)	8	6,80 (Avril) M 5,40 (Juin) m	
Port-Cros (France)	11	6,20 (Décembre) M 4,20 (Août) m	PERGENT, 1987
Monterosso (Italie)	10	6,65 (Décembre) M 5,65 (Juin) m	SILVESTRI, 1993
Tabarca (Espagne)	12,5	6,90 (Décembre) M 3,30 (Juillet) m	SANCHEZ-LIZAZO, 1993
Ile de Riou (France)	10	6,70 (Mars-Mai) M 4,00 (Septembre) m	RICO-RAIMONDINO, 1995
Lacco Ameno (Ishia, Italie)	10	6,10 (Novembre) M 4,40 (Juin) m	
Baie de La Revellata-Calvi (Corse)	10	9,00 (Décembre) M 4,20 (Juin) m	GOBERT, 2002
El Kantaoui (Tunisie)	10	2,8*	SGHAIR et al, 2006
Monastir (Tunisie)		5,6*	
Hergla (Tunisie)		4,8*	
Mahdia (Tunisie)		5,7*	
Ras Jebel (Tunisie)	5	5,15 (Hivers) M 4,17 (Automne) m	BELGACEM et al., 2007
Port-Princes (Cap Bon, Tunisie)	6,5	4,35*	KSONTINI et al, 2007
Attaya (Golfe de Gabes, Tunisie)	10	7,90*	BEN BRAHIM et al, 2007
Mahrés (Golfe de Gabes, Tunisie)	10	9,63*	

\*Moyenne annuelle

## 4.2. Longueurs des feuilles

### 4.2.1. Longueur des feuilles globales (adultes et intermédiaires)

La longueur moyenne des feuilles globales varie de façon importante au cours de l'année et ces variations dépendent, d'une part, de la saison et de la station étudiée (Annexe 5) et, d'autre part, de la période considérée (PERGENT, 1987 ; RICO-RAIMONDINO ,1995).

Dans les deux sites d'étude, les feuilles les plus longues (moyenne mensuelle) apparaissent en été.

En effet, selon MOLINIER et ZIVACO (1962), OTT (1980), CAYE (1980) et WITTMAN (1984), le printemps correspond à la période la plus favorable à la croissance des feuilles. Par contre les feuilles les plus courtes sont mesurées en hiver, car la croissance des feuilles est ralentie (Figure 46).

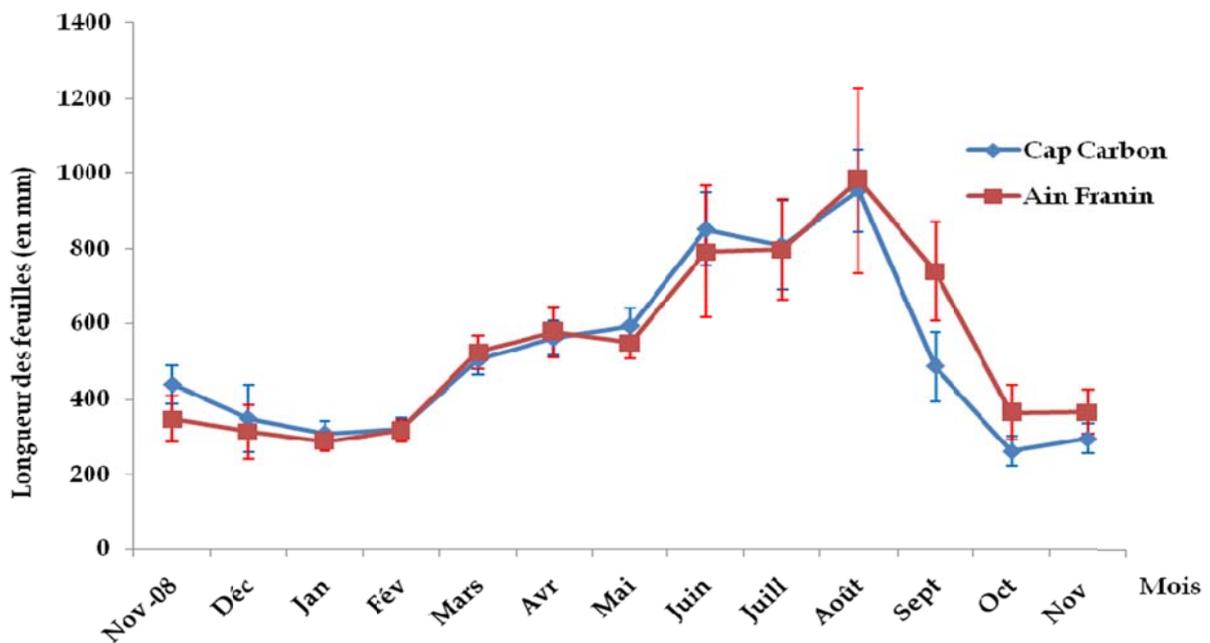


Figure 46 : Longueur des feuilles (mm) par faisceau (adultes et intermédiaires) dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte.

Nos résultats sont en accord avec ceux de la littérature (Tableau 17).

**Tableau 17 : Longueur moyenne des feuilles globales (adultes et intermédiaires) de *Posidonia oceanica*. Valeurs extrêmes (Maximum : M ; minimum : m) relevées dans la littérature pour différentes localités.**

Localités	Profondeurs (m)	Longueur des feuilles globales en (mm)	Références
Cap Carbon (Algérie)	10	952,20 (Août) M 294,30 (Novembre) m	Présent travail
Ain Franin (Algérie)		981,30 (Août) M 287,90 (Janvier) m	
Monterosso (Italie)	10	570,00 (Juin) M 246,00 (Décembre) m	SILVESTRI, 1993
Ile de Riou (France)	10	604,2 (Août) M 155,8 (Janvier) m	RICO-RAIMONDINO ,1995
Lacco-Ameno (Ishia,Italie)		652,6 (Juillet) M 181,8 (Novembre) m	
Anse de Kouali (Algérie)	10	779,45 (Juin) M 336,02 (Février) m	BOUMAZA, 1995
Tamentfoust (Algérie)	8	330,00 (Juillet) M 198,00 (Janvier) m	SEMROUD, 1993
La Marsa (Algérie)		445,00 (Juillet) M 281,00 (Janvier) m	
Port-Cros (France)	10	620,00 (Juillet) M 230,00 (Janvier) m	PERGENT et PERGENT-MARTINI ,1988
Cap Passero (Italie)	10	490,00 (Juin) M 290,00(Novembre) m	BIUA et al, 1989
Attaya (Golf de Gabes, Tunisie)	10	589,06*	BEN BRAHIM et al, 2007
Mahrés (Golf de Gabes,Tunisie)	10	473,00*	
Baie de La Revellata-Calvi (Corse)	10	(Été) M (Hiver) m	GOBERT, 2002

\*Moyenne annuelle

#### 4.2.2. Longueur des feuilles adultes

Selon le Tableau 18, la longueur moyenne des feuilles adultes fluctue aléatoirement d'une manière importante durant l'année en fonction du site d'étude et de la période de récolte considérée. Ceci n'est pas particulier à *Posidonia oceanica* puisque ZIEMAN (1974) observe de telles variations chez *Thalassia testudium*. Pour les deux sites d'étude, les feuilles les plus longues apparaissent en été en revanche les feuilles les plus courtes sont mesurées en hiver.

De nombreux auteurs mentionnent le même schéma évolutif (PERGENT, 1987 ; PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1988 ; SEMROUD, 1993 ; BOUMAZA, 1995 ;

RICO-RAIMONDINO, 1995 ; GOBERT, 2002 ; SGHAIR et al, 2006; BEN BRAHIM et al, 2007; MABROUK et al, 2009).

Si l'on compare les deux sites, la station de Cap Carbon est significativement différente d'Ain Franin (MANN-WHITENEY,  $P < 0,01$ ).

**Tableau 18 : Longueur moyenne (en mm) des feuilles adultes dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte des rhizomes. m : minimum ; M : maximum.**

Mois	Années	Cap Carbon	Ain Franin
Novembre	2008	242,92 ± 39,39	226,33 ± 35,06
Décembre	2008	231,19 ± 81,82	181,18 ± 48,26
Janvier	2009	176,92 ± 23,90	<b>m</b> 128,21 ± 20,56
Février	2009	<b>m</b> 145,24 ± 11,96	140,79 ± 17,9
Mars	2009	207,81 ± 24,36	211,85 ± 30,12
Avril	2009	235,64 ± 23,83	237,83 ± 59,63
Mai	2009	240,91 ± 29,57	232,96 ± 29,18
Juin	2009	352,84 ± 59,13	311,76 ± 34,62
Juillet	2009	472,66 ± 69,68	428,00 ± 107,11
Aout	2009	<b>M</b> 545,31 ± 51,82	<b>M</b> 624,93 ± 89,94
Septembre	2009	337,87 ± 52,43	511,24 ± 72,11
Octobre	2009	187,32 ± 25,50	273,12 ± 36,92
Novembre	2009	186,87 ± 28,90	247,31 ± 34,40
<b>Moyenne</b>		<b>274,12 ± 115,77</b>	<b>288,89 ± 141,19</b>

#### 4.2.3. Longueur des feuilles intermédiaires

La longueur des feuilles intermédiaires (moyenne annuelle) est toujours inférieure à celles des feuilles adultes, ceci s'explique par le fait que ces feuilles n'ont pas encore achevé leur croissance (Tableau 19).

Sauf exceptionnellement au printemps où la longueur des feuilles intermédiaires est supérieure à celles des feuilles adultes ; cette inversion a déjà été signalée dans la littérature; (SEMROUD, 1993 ; BOUMAZA, 1995 ; RICO-RAIMONDINO, 1995).

Aucune différence significative n'est mise en évidence entre les stations (KRUSKAL-WALLIS,  $P = 0.51$ ).

Tableau 19 : Longueur moyenne (en mm) des feuilles intermédiaires dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte des rhizomes. m : minimum ; M : maximum.

Mois	Années	Cap Carbon	Ain Franin
Novembre	2008	195.18 ± 28,59	120.46 ± 28,79
Décembre	2008	116.16 ± 22,49	132.21 ± 31,51
Janvier	2009	132.04 ± 16,41	159.66 ± 21,53
Février	2009	174.95 ± 25,59	174.73 ± 28,88
Mars	2009	293.65 ± 27,61	311.38 ± 33,62
Avril	2009	324.79 ± 37,58	338.59 ± 41,72
Mai	2009	350.91 ± 39,81	314.98 ± 29,88
Juin	2009	<b>M</b> 498.24 ± 84,84	479.55 ± 171,25
Juillet	2009	336.04 ± 89,84	368.84 ± 76,13
Aout	2009	406.93 ± 94,70	<b>M</b> 488.68 ± 22,40
Septembre	2009	146.93 ± 65,25	300.50 ± 51,71
Octobre	2009	73.63 ± 23,25	89.48 ± 47,97
Novembre	2009	<b>m</b> 107.43 ± 21,09	<b>m</b> 117.35 ± 35,35
<b>Moyenne</b>		<b>242.84 ± 128,06</b>	<b>261.26 ± 132,54</b>

Nos valeurs s'accordent avec celles signalées dans la littérature (Tableau 20).

Tableau 20 : Longueurs moyennes des feuilles adultes et intermédiaires de *Posidonia oceanica*. Moyennes annuelles ou valeurs ponctuelles pour un mois donné.

Localités	Profondeurs (en m)	Longueurs moyennes (en mm)		Références
		Feuilles adultes	Feuilles intermédiaires.	
<b>Cap Carbon (Algérie)</b>	<b>10</b>	<b>274,12</b>	<b>242.84</b>	<b>Présent travail</b>
<b>Ain Franin (Algérie)</b>		<b>288,89</b>	<b>261.26</b>	
Plateau des Chèvres (France)	10	343	332	RICO-RAIMONDINO, 1995
Ile de Riou (France)		327	310	
Lacco-Ameno (Ishia,Italie)		469	311	
Anse de Kouali (Algérie)	10	881 (Juin) 400 (Février)	470 (Mars) 167 (Décembre)	BOUMAZA, 1995
Tamentfoust (Algérie)	8	355	271	SEMROUD, 1993
La Marsa (Algérie)		276	209	
Port-Cros (France)	11	395	258	PERGENT, 1987
Cap Passero (Italie)	10	64 (Juin) 35 (Novembre)	59 (Juin) 18 (Novembre)	BUIA <i>et al</i> , 1989
Baie de La Revellata-Calvi (Corse)	10	130 (été)		GOBERT, 2002
Ras Jebel (Tunisie)	5	174,90 (Automne) 482,30 (été)	75,60 (Automne) 368,7(Printemps)	BELGACEM <i>et al</i> , 2007
El Kantaoui (Tunisie)	10	200,3	63,9	SGHAIR <i>et al</i> , 2006
Monastir (Tunisie)		245,5	130	
Hergla (Tunisie)		301,5	92,3	
Mahdia (Tunisie)		637,5	451	
Attaya (Tunisie)	10	58,96*		BEN BRAHIM <i>et al</i> , 2007
Mahres (Tunisie)		47,30*		
Ben Ghayadha (Tunisie)	8	43,0 (été)	41,8 (été)	MABROUK <i>et al</i> , 2009
Sidi Salem (Tunisie)	10	30,0 (été)	31,0 (été)	
Cap Africa (Tunisie)	10	35,2 (été) 24,2 (hiver)	32,4 (été) 23,8 (hiver)	
Corniche (Tunisie)	12	50,7(été)	54,6 (été)	
		20,7 (hiver)	20,3 (hiver)	

### 4.3. Largeur des feuilles

La largeur des feuilles augmente généralement de l'intérieur du faisceau (feuilles les plus jeunes), vers la périphérie (feuilles les plus âgées). Les feuilles adultes (moyennes mensuelles) sont donc toujours plus larges que les feuilles intermédiaires, quels que soit la station considérée (THELIN et GIORGI, 1984 ; PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1988 ; SANCHEZ LIZASO, 1993 ; SEMROUD, 1993 ; PERGENT-MARTINI, 1994 RICO-RAIMONDINO, 1995 ; BOUMAZA, 1995).

Les feuilles en fin de croissance présentent une largeur moyenne qui varie peu au cours de l'année (Annexe 6).

#### 4.3.1. Largeur des feuilles globales (adultes et intermédiaires)

La largeur des feuilles globales présente des variations en fonction de la saison (Figure 47) ; elle est maximale au printemps et minimale en hiver dans les deux sites d'étude.

Cette variation ne corrobore pas avec celle qui est mentionnée par de nombreux auteurs (FRADA'ORESTANO et *al*, 1993 ; SANCHEZ LIZASO ,1993 ; SEMROUD, 1993 ; SILVESTRI, 1993 ; BOUMAZA, 1995 ; GOBERT, 2002) qui enregistrent une variation saisonnière maximale en hiver et minimale en été.

Selon la littérature la largeur des feuilles varie de façon importante en fonction de la localité (GIRAUD, 1977a ; GIORGI et THELIN, 1983 ; PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1988 ; RICO-RAIMONDINO, 1995 ; BOUMAZA, 1995 ; SGHAIR et *al* ,2006 ; BELGACEM et *al* ,2007).

Les valeurs obtenues sont comprises dans l'intervalle donné par ces derniers entre 8 mm et 12 mm, néanmoins elles restent inférieures à celles mesurées par PERGENT-MARTINI, (1994) à l'archipel de Rhiou et par SEMROUD et *al* (1992) à la Marsa pour qui ce paramètre constitue l'un des critères de différenciation d'une population à « feuilles larges ».

Les deux stations présentent des largeurs moyennes de feuilles globales significativement différentes ( $P < 0,01$ ).

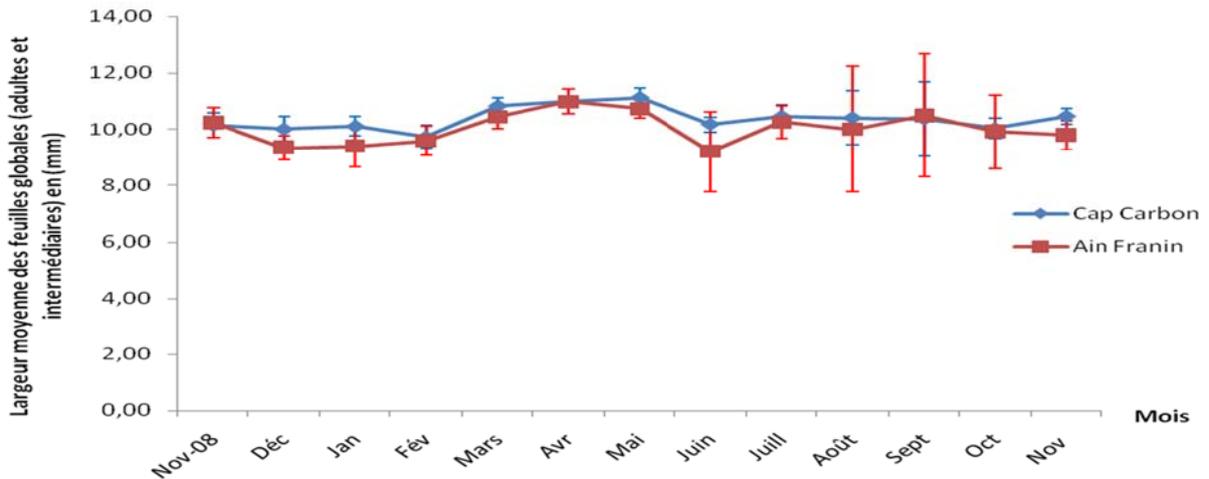


Figure 47 : Largeur moyenne des feuilles globales (mm) par faisceau (adultes et intermédiaires) dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte.

#### 4.3.2. Largeur moyenne des feuilles adultes

La largeur moyenne des feuilles adultes montre également des variations mensuelles au niveau des deux sites considérés.

Les valeurs extrêmes (maximum et minimum) de la largeur de ces feuilles coïncident avec celles des feuilles globales dans les deux sites (Figure 48).

Les deux sites étudiés présentent des largeurs moyennes de feuilles adultes significativement différentes ( $P < 0,01$ ).

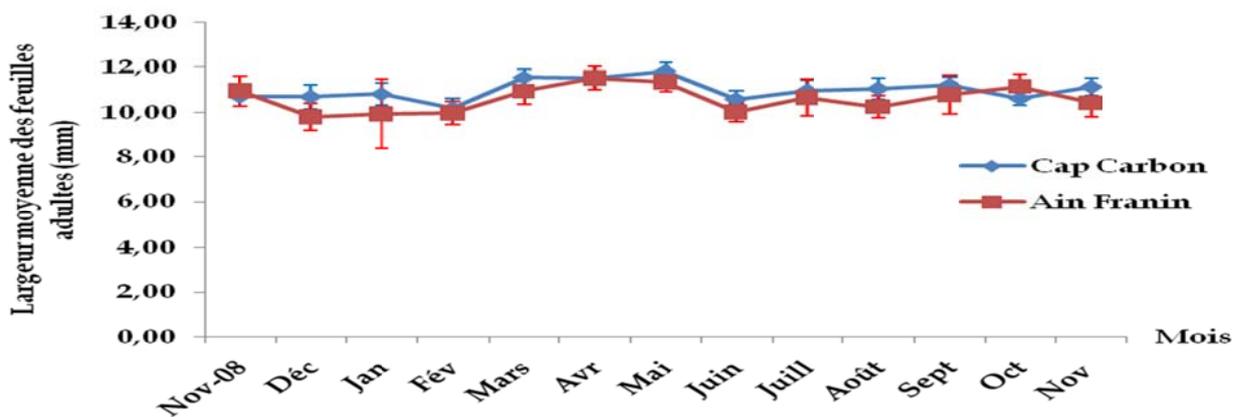


Figure 48 : Largeur moyenne des feuilles adultes (mm) dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte.

#### 4.3.3. Largeur moyenne des feuilles intermédiaires

La largeur de ces feuilles suit le même schéma évolutif que celui des feuilles adultes (Figure 49).

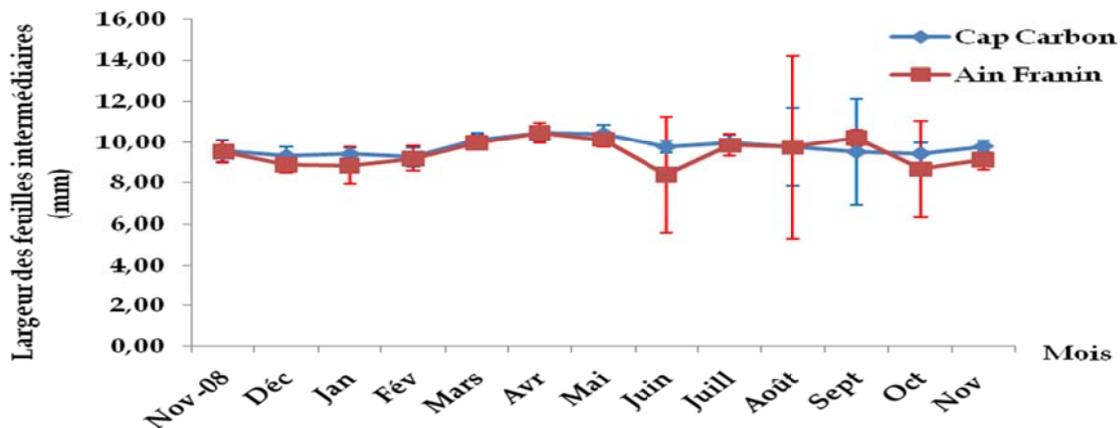


Figure 49 : Largeur moyenne des feuilles intermédiaires (mm) dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte.

Les valeurs obtenues pour la largeur des feuilles adultes et intermédiaires sont similaires à celles relevées dans la littérature (Tableau 21).

Tableau 21 : Largeur moyenne des feuilles adultes et intermédiaires en mm. Valeur relevées dans la littérature pour différentes localités et profondeurs.

Localités	Références	Prof. (m)	Largeur en (mm) des feuilles adultes	Largeur en (mm) des feuilles intermédiaires
Anse de Kouali (Algérie)	BOUMAZA, 1995	10	10,4	11,0
Banyuls-sur-Mer (France)	PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1988	12	9,6	9,9
Port Cros, Var (France)		11	10,25	10,5
Cotiu (France)	PERGENT et PERGENT-	9	11,3	12,0
Plateau des Chèvres (France)	RICO-RAIMONDINO, 1995	10	11,4	12,0
Ile de Riou (France)			10,9	11,6
Ischia (Italie)			9,4	9,9
Tabarca	SANCHEZ LIZASO, 1993	12,5	9,8	10,1
La Marsa (Algérie)	SEMROUD, 1993	8	10,7	11,5
Tamentfoust (Algérie)			9,8	10,9
Baie de La Revellata-Calvi (Corse)	GOBERT, 2002	10	8,50* (hiver) – 10,05*(été)	
El Kantaoui (Tunisie)	SGHAIR et al, 2006	10	9,3	--
Monastir (Tunisie)			10,35	--
Hergla (Tunisie)			9,7	--
Mahdia (Tunisie)			9,7	--
Ras Jebel (Tunisie)	BELGACEM et al, 2007	5	8,40* (hiver) – 8,90*(été)	
Ben Ghayadha (Tunisie)	MABROUK et al, 2009	8	9,9 (été) – 9,8	
Sidi Salem (Tunisie)		10	8,9 (été)	
Cap Africa (Tunisie)		10	9,9 (été) – 9,8	
Corniche (Tunisie)		12	11,0 (été) – 9,9	
<b>Cap Carbon (Algérie)</b>	<b>Présent travail</b>	<b>10</b>	<b>10,98</b>	<b>9,75</b>
<b>Ain Franin (Algérie)</b>			<b>10,59</b>	<b>9,47</b>

\* Moyenne de la largeur globale des feuilles intermédiaires et adultes.

#### 4.4. Longueur moyenne des pétioles par faisceau

La longueur moyenne des pétioles varie avec le rang de la feuille, elle est maximale pour les feuilles les plus âgées, leur croissance étant achevée (GIRAUD ,1977a ; PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1988; SEMROUD ,1993; RICO-RAIMONDINO ,1995 ; BOUMAZA ,1995).

La longueur moyenne des pétioles varie non seulement avec le rang de la feuille, mais également avec la période de récolte des rhizomes et le lieu de prélèvement.

Les faisceaux récoltés à Cap Carbon présentent des longueurs moyennes significativement plus élevées ( $42,32 \pm 3,59$ ) que ceux d'Ain Franin ( $39,73 \pm 2,63$ ) (ANOVA  $< 0,01$ ) (Annexe 6).

En effet, une corrélation hautement significative entre la longueur moyenne des pétioles et celles des feuilles adultes a été mise en évidence par GIRAUD (1977 a) ; (Cap Carbon  $r = 0,50$  et Ain Franin  $r = 0,80$ ) (Figures 50 et 51)

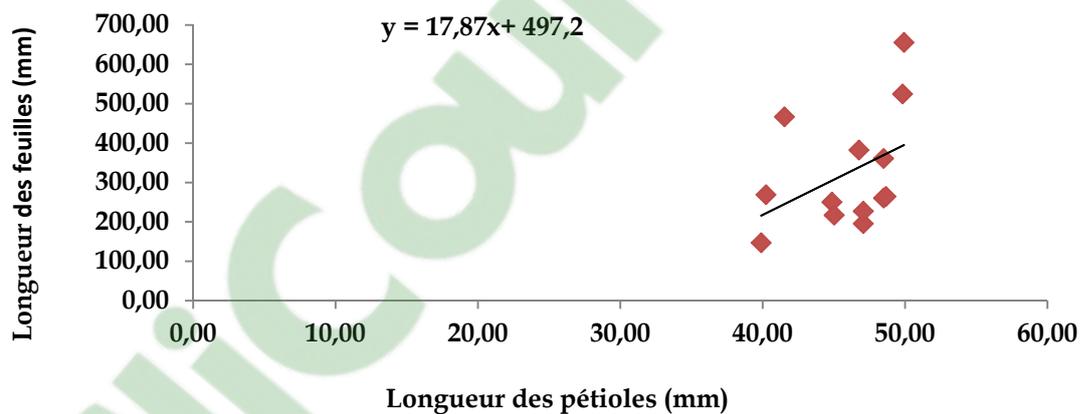


Figure 50 : Corrélation entre la longueur des feuilles adultes de rang1 et celle de leurs pétioles (Cap Carbon).

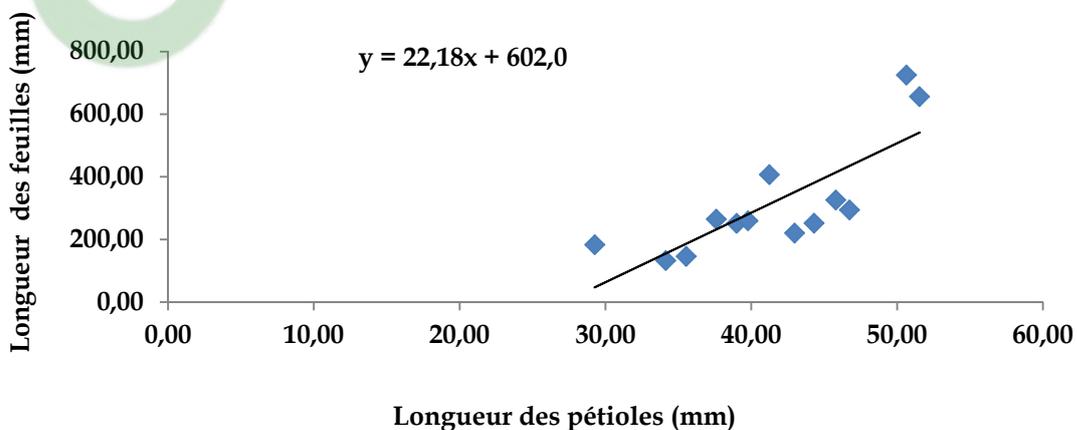


Figure 51 : Corrélation entre la longueur des feuilles adultes du rang 1 et celle de leurs pétioles (Ain Franin).

Les longueurs de pétioles de faisceaux récoltés à Ain Franin sont nettement inférieures à celles des faisceaux récoltés à Cap Carbon (Figure 52).

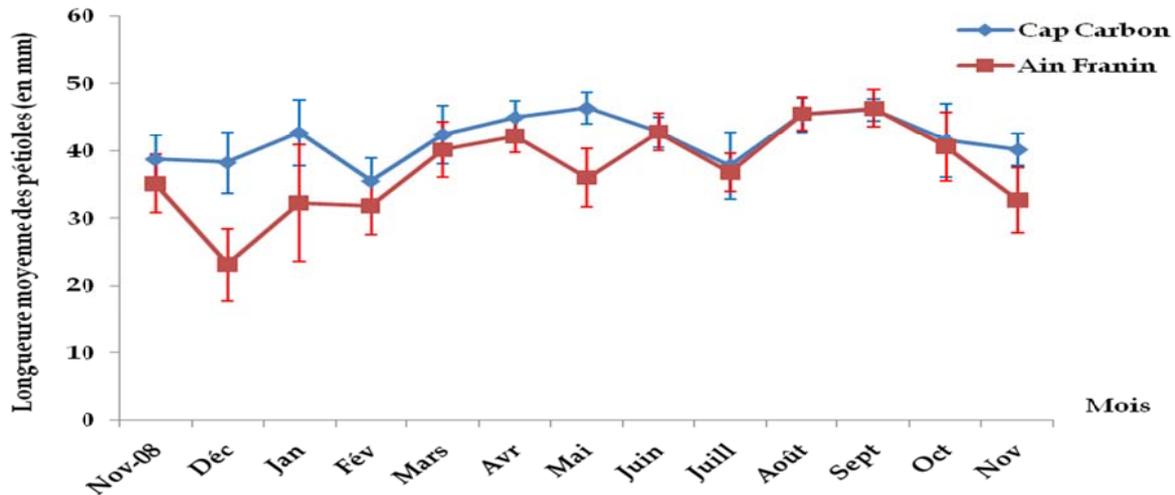


Figure 52 : Variation de la longueur moyenne(mm) des pétioles des feuilles adultes dans les sites étudiés en fonction des dates de récolte.

La valeur des longueurs moyennes des pétioles, pour la même période et même profondeur, que nous avons obtenus correspond aux valeurs citées dans la littérature (Tableau 22)

Tableau 22 : Longueur moyenne des pétioles (en mm) de *Posidonie oceanica*. Valeurs extrêmes (Maximum : M ; minimum : m) relevée dans la littérature.\*Moyenne sur 6 ans \*\*Moyenne annuelle.

Localités	Références	Profondeurs (m)	Longueur des pétioles en (mm)
Anse de Kouali (Algérie)	BOUMAZA, 1995	10	41,10 (Août) 25,60 (Février)
Golf de Marseille (France)	PANAYOTIDIS, 1980	10	31,49**
Niolon (France)			35,43**
Port Cros (France)	PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1988	11	37,2(Novembre) 30,1(Mars)
Banyuls-sur-Mer, PyrénéesOrientales (France)		12	27,0**
Cotiou (France)	PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1994	8-12	15,1*(Automne)
Plateau des Chèvres (France)	RICO-RAIMONDINO, 1995	10	42,7*
Ile de Riou (France)			39,5*
Ischia (Italie)			23,8*
La Marsa (Algérie)	SEMROUD, 1993	10	38,50 (Juillet) M
Tamentfoust (Algérie)			34,10 (Avril) M
Cap Carbon (Algérie)	Présent travail	10	46,40 (Mai) M
Ain Franin (Algérie)			38,28 (Décembre) m
			46,37 (Septembre) M
			23,18 (Décembre) m

#### 4.5. Surface et indice foliaire

La surface foliaire (Annexe 8) notée S.F prend en compte à la fois la longueur, la largeur et le nombre de feuilles par faisceau de chaque type de feuilles considéré (adultes et intermédiaires), c'est un paramètre synthétique de la physionomie de la plante (SILVESTRI, 1993).

##### 4.5.1. Surface et indice foliaire des feuilles globales (adultes et intermédiaires)

La surface foliaire globale moyenne exprimée en  $\text{cm}^2/\text{faisceau}$  (moyenne annuelle) est pratiquement du même ordre de grandeur au niveau des deux sites d'étude ( $53,94 \text{ cm}^2/\text{faisceau}$  pour Cap Carbon et  $53,14 \text{ cm}^2/\text{faisceau}$  pour Ain Franin) L'indice foliaire global exprimé en  $\text{m}^2 / \text{m}^2$  (feuilles adultes et intermédiaires) par faisceau varie de façon importante au cours de l'année (Annexe 9): le maximum est observé le mois d'août et le minimum en octobre à Cap Carbon et en janvier à Ain Franin (Figure 54 , 55 et Tableau 23). Cette variation de l'indice foliaire au cours de l'année a également été mise en évidence par différents auteurs (Tableau 24). L'indice foliaire passe du simple au double dans les deux sites d'étude (Figure 53) ce qui laisse à supposer que les deux sites subissent les mêmes influences des houles du large et par conséquent sont soumis à une même force hydrodynamique.

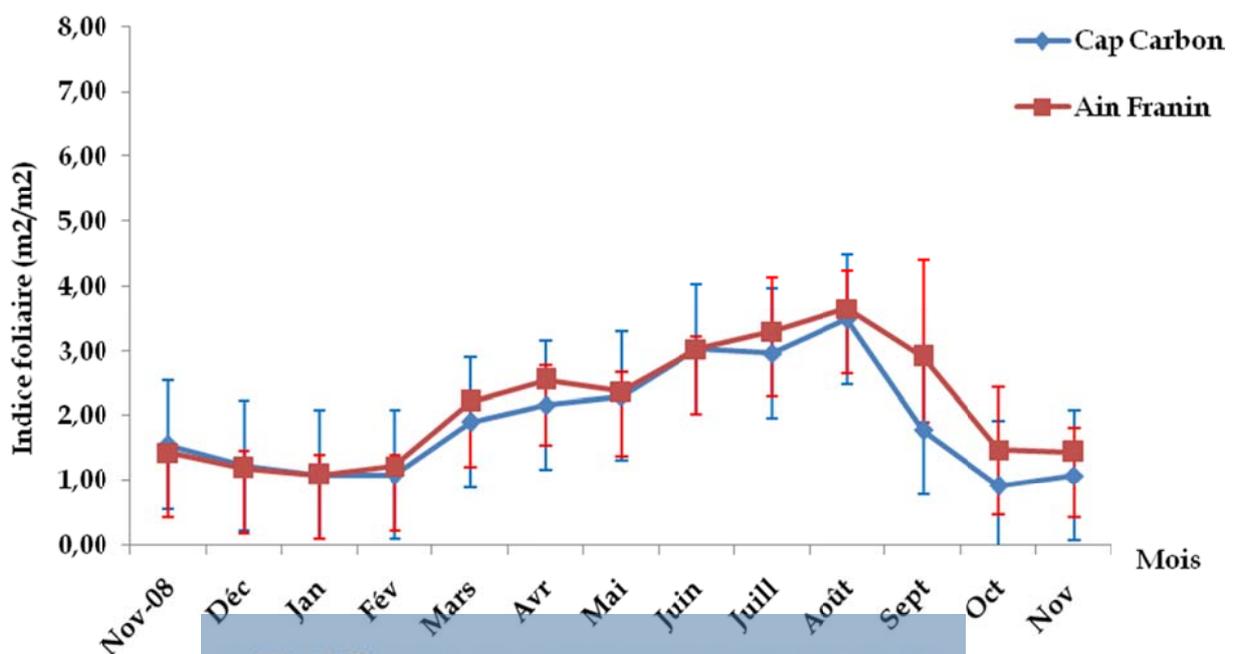


Figure 53 : Variation de l'indice foliaire global en  $\text{m}^2 / \text{m}^2$  d'herbier en fonction de la période de récolte des rhizomes dans les sites étudiés.

Tableau 23 : Surface et indice foliaires moyens par type de feuilles : minimum, maximum et moyenne annuelle observés dans l'ensemble des stations.

Type de feuilles		Surface foliaire (S.F) (cm <sup>2</sup> ) et indice foliaire (I.F) (m <sup>2</sup> / m <sup>2</sup> )									
		Station		Minimum		Mois	Maximum		Mois	Moyenne	
				S.F	L.F		S.F	L.F		S.F	L.F
Adultes	Cap Carbon	14,77 ± 1,35	0,73 ± 0,12	Novembre	60,13 ± 5,52	1,81 ± 0,27	Juillet	34,14 ± 12,79	1,06 ± 0,45		
	Ain Franin	12,93 ± 4,33	0,52 ± 0,18	Février	63,94 ± 6,19	12,58 ± 0,38	Août	30,65 ± 14,74	1,24 ± 0,59		
Intermédiaires	Cap Carbon	7,03 ± 2,49	0,25 ± 0,09	Octobre	36,58 ± 4,42	1,28 ± 0,15	Mai	24,21 ± 13,12	0,85 ± 0,46		
	Ain Franin	12,90 ± 2,18	0,34 ± 0,18	Janvier	44,76 ± 16,15	1,80 ± 0,65	Juin	25,44 ± 13,28	0,96 ± 0,48		
Adultes et Intermédiaires	Cap Carbon	26,2 ± 4,52	0,92 ± 0,16	Octobre	99,00 ± 15,50	3,49 ± 0,54	Août	53,94 ± 23,29	1,89 ± 0,82		
	Ain Franin	27,13 ± 4,26	1,09 ± 3,18	Janvier	90,63 ± 37,48	3,65 ± 3,04	Août	53,14 ± 21,22	2,14 ± 0,85		

Nos données s'inscrivent parmi les valeurs les plus faibles. Dans toutes les régions de Méditerranée, on trouve des valeurs relativement faibles en maintenant que des valeurs élevées sont supérieures à 10 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> (Tableau 24).

**Tableau 24 : Surface foliaire (cm<sup>2</sup> / faisceau) (SF) et indice foliaire globale (en m<sup>2</sup> / m<sup>2</sup>) (LAI) de *Posidonia oceanica* relevé dans la littérature. Donnée extrêmes Maximum : M ; minimum : m) ou valeurs mensuelles.**

Localités	Références	Profondeurs (m)	SF (cm <sup>2</sup> / faisceau)	LAI (m <sup>2</sup> / m <sup>2</sup> )
Anse de Kouali (Algérie)	BOUMAZA, 1995	10	435,5 (Mai) -264 (Fév)	16,8 (Mai) -10,2 (Fév)
Banyuls-sur-Mer (France)	PERGENT ET PERGENT-MARTINI, 1988	12	251 (Juil) -72 (Déc)	13,4 (Juil)-3,9 (Déc)
Port Cros ,Var (France)		11	297 (Juil) -133 (Jan)	9,4 (Juil) - 4,2 (Jan)
Monterosso (Italie)	SILVESTRI, 1993	10	-----	11,57 (Juin) -2,59 (Déc)
Plateau des Chèvres (France)	RICO-RAIMONDINO, 1995	10	119 (Nov) - 333 (Août)	4,9 (Nov) - 15,1 (Juin)
Ile de Riou (France)			92 (Nov) - 328 (Août)	3,5 (Nov) -15,4 (Août)
Ischia (Italie)			105 (Oct) - 357 (Avr)	3,2 (Sept) -12,3 (Avr)
Tabarca (Espagne)	SANCHEZ LIZASO, 1993	12.5	152 Nov) - 321 (Mars)	7 (Nov) - 14,4 (Mars)
La Marsa (Algérie)	SEMROUD, 1993	8	203 (Janv) - 305 (Juil)	3,5 (Janv) -5,2 (Juil)
Tamentfoust (Algérie)			117 (Oct) - 208 (Avr)	1,3 (Oct) - 2,4 (Avr)
El Djamila (Algérie)	BOUMAZA et SEMROUD, 2000	8	-----	9,5-18,7
Baie de La Revellata-Calvi (Corse)	GOBERT, 2002	10	-----	3,3m - 13,6M
El Kantaoui (Tunisie)	SGHAIR et al, 2006	10	-----	0,7*
Monastir (Tunisie)			-----	1,9*
Hergla (Tunisie)			-----	2,6*
Mahdia (Tunisie)			-----	12,8*
Ras Jebe (Tunisie)	BELGACEM et al, 2007	5	-----	14,92 (Printemps) M
Port-Princes Cap Bon (Tunisie)	KSONTINI et al, 2007	6,5	127,98*	-----
Golfe de la Revellata (Baie de Calvi, France)	CHAMPENOIS, 2008	10	-----	12,6 (Avr) - 4,3 (Oct)
Ben Ghayadha (Tunisie)	MABROUK et al, 2009	8	190,0 (Eté)	15,3 (Eté)
Sidi Salem (Tunisie)		10	133,0 (Eté)	6,9 (Eté)
Cap Africa (Tunisie)		10	149,8 (Eté) -114,9	11,3 (Eté) - 9,1 (Hiver)
Corniche (Tunisie)		12	213,1 (Eté) - 98,1	18,8 (Eté) - 8,9 (Hiver)
Cap Carbon (Algérie)	Présent travail	10	99(Aout) - 26,2(Oct)	3.49 (Aout) - 0,92 (Oct)
Ain Franin (Algérie)			90,63(Aout) - 27,13(Jan)	3,65 (Aout) - 1,09 (Jan)

\*moyenne annuelle

#### 4.5.2. Surface foliaire des feuilles adultes

La surface foliaire moyenne des feuilles adultes au niveau des deux sites d'étude suit la même évolution que celles des feuilles globales et les valeurs extrêmes coïncidentes avec celles de ces dernières (Figures 56 et 57).

#### 4.5.3. Surface foliaire des feuilles intermédiaires

La surface foliaire moyenne des feuilles de Cap Carbon et de Ain Franin suit le même schéma évolutif que les feuilles adultes et, par conséquent, la même évolution que les feuilles globales avec des valeurs maximales durant l'été et minimale en hiver (Figures 54 et 55).

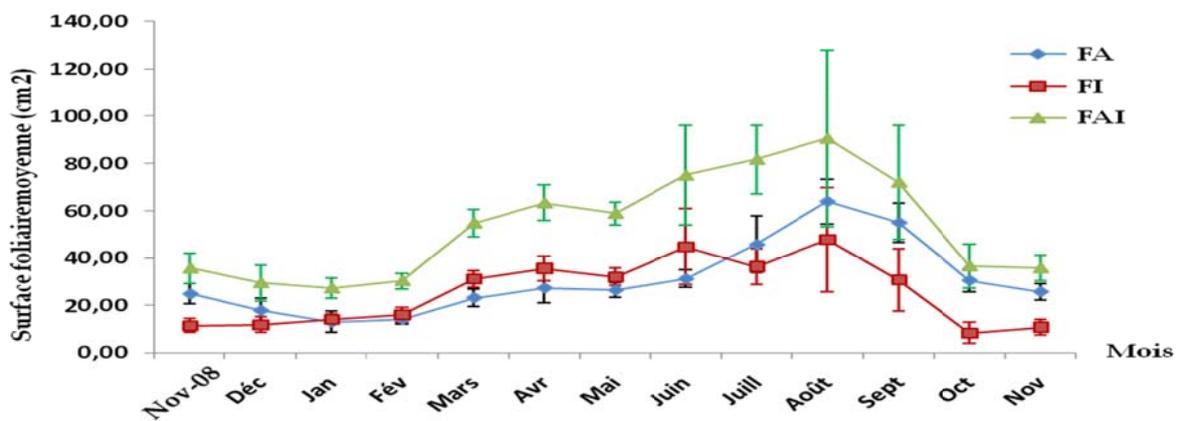


Figure 54 : Evolution saisonnière de la surface foliaire moyenne des feuilles adultes, intermédiaires et globales d'Ain Franin.

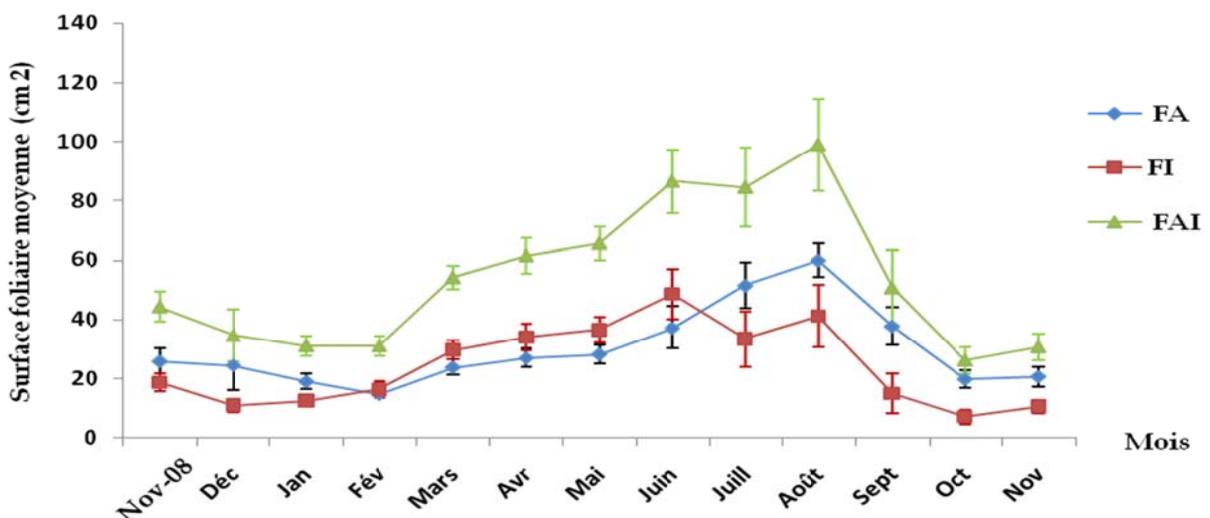


Figure 55 : Evolution saisonnière de la surface foliaire moyenne des feuilles adultes, intermédiaires et globales de Cap Carbon.

## 4.6. Coefficient A

### 4.6.1. Coefficient A des feuilles globales (Feuilles adultes et intermédiaires)

L'état des apex apporte des renseignements, pour un site donné, le taux de prédation par des consommateurs (VELIMEROV, 1984 ; ZUPO et FRESI, 1984 ; VERLAQUE, 1987) ou l'action de l'hydrodynamisme (MAZZELLA et al, 1981 ; WITMAN et al, 1981).

L'état des apex est déterminé par le «coefficient A » de GIRAUD (1977), qui correspond au pourcentage de feuilles ayant perdues leur apex.

Dans les sites étudiés, l'apex des feuilles adultes est presque toujours cassé et ceci quelque soit la période de l'année (Annexe 10).

On observe tout au long de l'année des valeurs importante du coefficient « A » supérieur à 43% à l'exception de l'hiver ou le pourcentage est de 35,13 (janvier) à Ain Franin et de 42,17 (février) à Cap Carbon (Tableau 25).

Le coefficient « A » des feuilles intermédiaires est nettement plus faible que celui des feuilles adultes (Tableau 26) ; ces dernières, sont, en effet plus jeunes et mieux protégées de l'action des prédateurs du fait de leur position à l'intérieur du faisceau (GIRAUD, 1977 ; BIUA et al ,1985 ; PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1988 ; RICO et PERGENT, 1990).

Les maxima et les minima se situent respectivement entre février et juillet à Cap Carbon et entre janvier et juin à Ain Fanin.

La valeur moyenne du coefficient « A » (moyenne annuelle) de Cap Carbon (75,69%) est significativement supérieur à celle observée à Ain Franin (64,00%) ( $P < 0,01$ ), ceci peut s'expliquer par le fait de la présence d'une densité importante de *Paracentrotus lividus* observée en plongée sous marine.

Ainsi que l'abondance très marquée du poisson *Sarpa salpa* dans l'herbier de Cap Carbon et contribue donc au broutage, causant ainsi le phénomène de surpâturage de cet herbier.

Tableau 25 : Coefficient « A » des feuilles adultes en pourcentage dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte des rhizomes (novembre 2008 à novembre 2009). m : minimum ; M : maximum.

Mois	Années	Cap Carbon	Ain Franin
Novembre	2008	54,26	50,62
Décembre	2008	50,00	39,74
Janvier	2009	54,65	35,13 m
Février	2009	42,17 m	76,83
Mars	2009	88,89	89,53
Avril	2009	71,76	86,67
Mai	2009	72,37	83,81
Juin	2009	66,66	100,00 M
Juillet	2009	90,91 M	94,68
Aout	2009	83,78	90,32
Septembre	2009	65,79	93,02
Octobre	2009	42,50	78,65
Novembre	2009	53,03	89,28
<b>Moyenne</b>		<b>64,00</b>	<b>75,69</b>

Tableau 26 : Coefficient « A » des feuilles intermédiaires en pourcentage dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte des rhizomes (novembre 2008 à novembre 2009). m : minimum ; M : maximum.

Mois	Années	Cap Carbon	Ain Franin
Novembre	2008	8,00	11,96
Décembre	2008	1,08 m	10,53
Janvier	2009	11,39	3,00
Février	2009	7,37	0,00 m
Mars	2009	12,77	0,00 m
Avril	2009	34,72	18,28
Mai	2009	22,99	26,27
Juin	2009	51,47	76,12 M
Juillet	2009	55,13	36,25
Aout	2009	80,39 M	11,32
Septembre	2009	27,91	8,58
Octobre	2009	18,92	9,25
Novembre	2009	10,47	12,12
<b>Moyenne</b>		<b>26,35</b>	<b>17,24</b>

Le coefficient « A » global, qui correspond au pourcentage de feuilles adultes et intermédiaires ayant perdu leur apex (Figure 56) montre, si l'on considère les moyennes annuelles, que les herbiers de Cap Carbon et d'Ain Franin se caractérisent par un état similaire tout en variant selon les saisons.

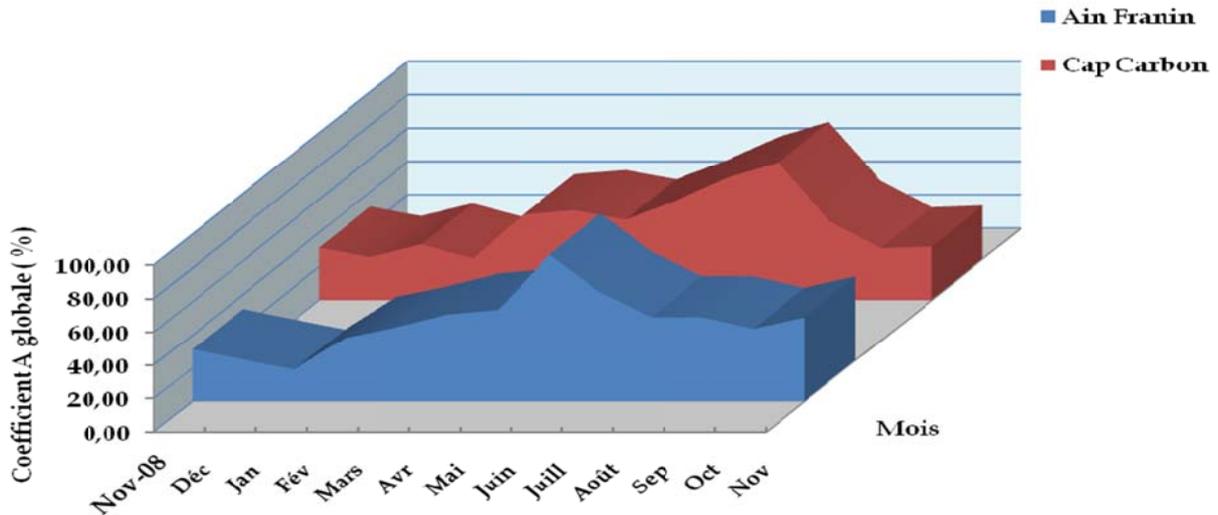


Figure 56: Variation du coefficient « A » globale (feuilles adultes et intermédiaires), en pourcentage, en fonction de la période de récolte des rhizomes (novembre 2008 à novembre 2009) dans les deux sites étudiés.

Des valeurs similaires sont relevées par plusieurs auteurs en Méditerranée (Tableau 27).

Tableau 27: Coefficient A des feuilles globales (adultes et intermédiaires) .Valeurs extrêmes (Maximum : M ; minimum : m ; \*Moyenne annuelle) relevées dans la littérature pour différentes localités et profondeurs.

Localités	Profondeurs (m)	Coefficient A(en %)	Références
Cap Carbon Arzew (Algérie)	10	82,09(Août) M 24,77 (février) m	Présent travail
Ain Franin Oran (Algérie)		80,39 (Août) M 7,37(février) m	
Plateau des Chèvres (France)	10	67,80*	RICO-RAIMONDINO, 1995
Ile de Riou (France)		72,30*	
Ischia, Lacco-Ameno (Italie)		20,30*	
Anse de Kouali (Algérie)	10	65,05 (Juin) M 29,01 (septembre) m	BOUMAZA, 1995
Tamentfoust (Algérie)	8	82 (Avril) M 39 (janvier) m	SEMROUD, 1993
La Marsa (Algérie)		85,00 (Avril) M 52,00 (janvier) m	
Port-Cros (France)	11	19,20	PERGENT, 1987
Banyuls (France)	12	44,40*	
Port-Cros (France)	11	19,20*	PERGENT et PERGENT- MARTINI ,1988
Monterosso (Italie)	10	28,32 (juin) M 9,77(décembre) m	SILVESTRI, 1993
El Kantaoui (Tunisie)	10	60,00*	SGHAIR et al, 2006
Monastir (Tunisie)		25,64*	
Hergla (Tunisie)		48,00*	
Mahdia (Tunisie)		41,00*	
Ben Ghayadha (Tunisie)	8	51,20 (été)	MABROUK et al, 2009
Sidi Salem (Tunisie)	10	85,00 (été)	
Cap Africa (Tunisie)	10	45,50 (été)	
Corniche (Tunisie)	12	46,70 (été)	

\*Moyenne annuelle.

## 5. Conclusion sur "l'Évolution saisonnière "

- Les deux herbiers étudiés présentent **des densités de faisceaux** significativement différentes : Cap Carbon (350 faisceaux) et Ain Franin (403 faisceaux).
- **Le nombre moyen de feuilles par faisceau** (adultes et intermédiaires) est maximum en hiver et printemps (décembre et mai) et minimum à l'automne (septembre et novembre). Nos valeurs s'inscrivent parmi celles citées dans la littérature.
- **Les largeurs des feuilles adultes et intermédiaires** sont maximales au printemps et minimales en hiver dans les deux sites d'étude. Cette variation ne corrobore pas avec celle qui est mentionnée par de nombreux auteurs qui enregistrent une variation saisonnière maximale en hiver et minimale en été.
- **La longueur moyenne des pétioles** varie non seulement avec le rang de la feuille, mais également avec la période de récolte des rhizomes et le lieu de prélèvement avec une corrélation hautement significative entre la longueur moyenne des pétioles et celles des feuilles adultes (Cap Carbon  $r = 0,50$  ; Ain Franin  $r = 0,80$ ).
- **La longueur des feuilles adultes** pour les deux sites d'étude, est maximale en été et minimale en hiver.
- **La longueur des feuilles intermédiaires.** La longueur des feuilles intermédiaires est toujours inférieure à celles des feuilles adultes, sauf exceptionnellement au printemps où la longueur des feuilles intermédiaires est supérieure à celles des feuilles adultes. Elle est maximale en juin et août et minimale au mois de mai.
- **Les valeurs du coefficient A.** Dans les sites étudiés, l'apex des feuilles adultes est presque toujours cassé et ceci quelque soit la période de l'année. On observe tout au long de l'année des valeurs importantes du coefficient « A » supérieur à 43% à l'exception de l'hiver où le pourcentage est de 35,15 (janvier) à Ain Franin et de 42,17 (février) à Cap Carbon.
- **L'indice foliaire global par m<sup>2</sup>.** Le maximum est observé le mois d'août et le minimum en octobre.

## 6. Biomasse

La valeur de la biomasse moyenne des feuilles (Feuilles globales adultes et intermédiaires) ainsi que celle de leur épiphytes est exprimée en mg/ Ps (Pois sec en mg)/ faisceau ou en g.Ps / m<sup>2</sup> (Annexe 11).

La biomasse présente des variations temporelles (saisonniers, annuelles, interannuelles) et spatiales (horizontales et verticales) influencées par les facteurs abiotiques (nutriments, facteurs physiques....) et biotiques (chaîne trophique, compétition,...) (PHILLIPS et MENEZ, 1988).

### 6.1. Biomasse des feuilles

#### 6.1.1. Biomasse des feuilles globales (Feuilles adultes et intermédiaires)

Selon le tableau 28 on remarque que la valeur de la biomasse des feuilles des faisceaux provenant de l'herbier de Cap Carbon est nettement supérieure à celle des feuilles des faisceaux provenant d'Ain Franin. Par contre on peut remarquer que l'épiphytisme au niveau des feuilles du site de Cap Carbon est presque quatre fois plus important que celui présent au niveau des feuilles d'Ain Franin.

Tableau 28 : Moyennes annuelles des biomasses des feuilles et de leurs épiphytes observées dans les deux sites d'étude. Ps : Poids sec en mg ; fsc : faisceau.

Type de feuilles	Site	Épiphytes		Feuilles	
		mg Ps / fsc.	g Ps / m <sup>2</sup>	mg Ps / fsc.	g Ps / m <sup>2</sup>
Adultes	Cap Carbon	228,54± 205,12	79,99± 71,79	510,58± 392,75	178,70± 137,46
	Ain Franin	79,43±84,81	32,01± 34,18	704,40± 321,44	283,88± 129,54
Intermédiaires	Cap Carbon	307,65± 240,88	107,68± 84,31	324,07± 248,59	113,43± 87,01
	Ain Franin	63,82±40,83	25,72± 16,45	387,08± 332,34	155,99± 133,93
Adultes et Intermédiaires	Cap Carbon	536,19± 367,55	187,67± 128,64	834,65± 523,20	292,13± 183,12
	Ain Franin	143,25±101,75	57,73± 41,00	1091,49± 513,25	439,87± 206,84

La biomasse moyenne (moyenne annuelle) des feuilles globales varie tout au long de l'année d'une manière importante et ceci au niveau des deux sites d'étude (Figures 57et 58).

Les variations saisonnières du poids sec de feuilles (et d'épiphytes) correspondent aux données recueillies dans d'autres herbiers (MELLORS et *al.*, 1993 ; SEMROUD, 1993 ; BOUMAZA, 1995 ; RICO-RAIMONDINO,1995 ; GOBERT, 2002) qui montrent des valeurs maximales à la fin du printemps et en été, et minimales en hiver.

Ces variations cycliques enregistrées chaque année sont directement liées à la lumière (plus de lumière durant l'été que pendant l'hiver).

Il en va de même pour ce qui de la relation entre le poids sec des feuilles et la température de l'eau (les maxima sont observés en juillet et août et pour la température et pour le poids sec des feuilles) (Tableau 29).

Les variations saisonnières de *P. oceanica* sont induites par le cycle solaire et secondairement contrôlées par les facteurs environnementaux (nutriments, ...) qui induisent les fluctuations interannuelles (ALCOVERRO et al., 1995). ALCOVERRO et al. (1995) mettent en évidence une relation directe entre l'intensité lumineuse et la taille des pousses.

### 6.1.2. Biomasse des feuilles adultes

La biomasse des feuilles adultes (moyenne mensuelle) montre des différences significatives (ANOVA  $P < 0,01$ ) entre les sites d'étude (Figures 57 et 58). Elle est maximale en août dans les deux sites et minimale en février à Cap Carbon et en janvier à Ain Franin (Tableau 29).

### 6.1.3. Biomasse des feuilles intermédiaires

La biomasse des feuilles intermédiaires (moyenne mensuelle) montre des différences significatives (ANOVA  $P < 0,01$ ) entre les sites d'étude (Figures 57 et 58). Elle est maximum en mars à Cap Carbon et en juin à Ain Franin, tandis qu'elle est minimale en octobre à Cap Carbon et en novembre à Ain Franin (Tableau 29).

**Tableau 29 : Biomasse moyenne des feuilles par faisceau et par m<sup>2</sup> pour chaque type de feuilles : minimum et maximum observés dans les sites d'étude.**

Type de feuilles	Site	Minimum			Maximum		
		mg Ps / fsc.	g Ps / m <sup>2</sup>	Mois	mg Ps / fsc.	g Ps / m <sup>2</sup>	Mois
Adultes	Cap Carbon	115,97 ± 36,12	40,59 ± 12,64	Fév	1160,72 ± 273,73	406,25 ± 95,81	Août
	Ain Franin	142,33 ± 61,42	57,36 ± 8,23	Janv	1055,34 ± 213,26	425 ± 85,30	Août
Intermédiaires	Cap Carbon	22,14 ± 3,07	7,75 ± 2,67	Oct	634,82 ± 233,07	193,73 ± 60,92	Mars
	Ain Franin	75,37 ± 36,13	48,52 ± 25,83	Nov	815,71 ± 318,71	321 ± 128,45	Juin
Adultes et Intermédiaires	Cap Carbon	303,08 ± 80,95	106,08 ± 12,24	Nov	1651,95 ± 492,45	578,18 ± 172,36	Juil
	Ain Franin	412,68 ± 115,87	166,31 ± 46,70	Janv	1590,05 ± 494,72	640 ± 199,37	Août

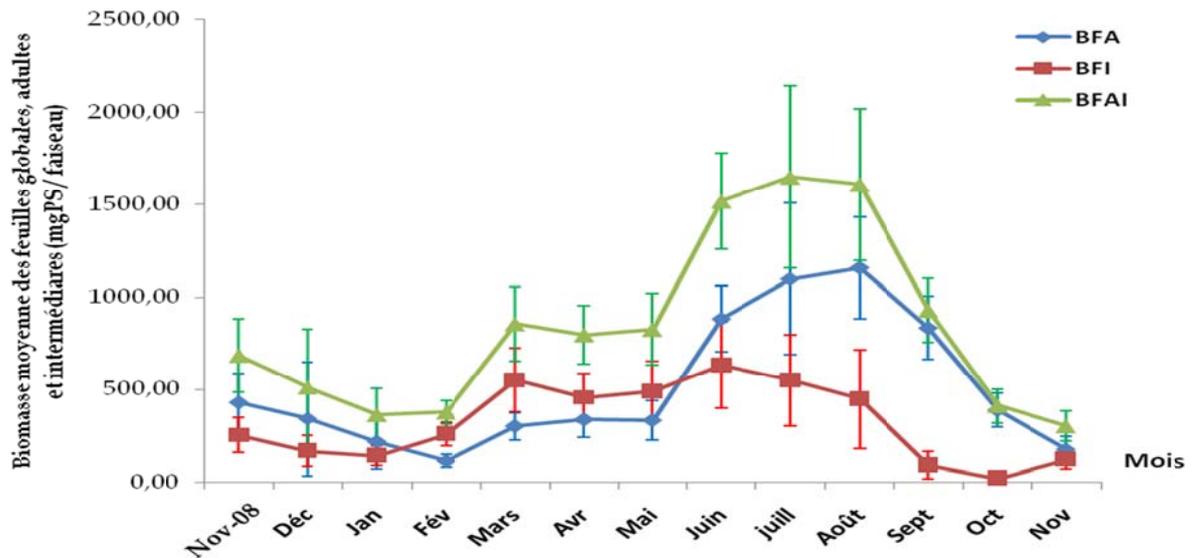


Figure 57 : Évolution saisonnière de la biomasse moyenne des feuilles adultes, intermédiaires et globales au niveau de Cap Carbon.

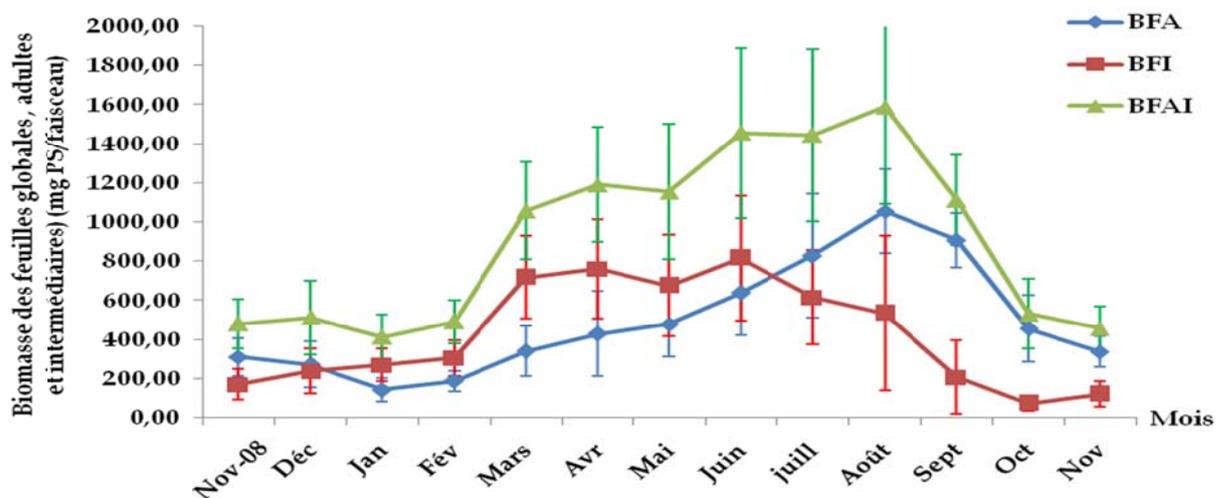


Figure 58 : Évolution saisonnière de la biomasse moyenne des feuilles adultes, intermédiaires et globales au niveau d'Ain Franin.

## 6.2. Biomasse des épiphytes des feuilles

### 6.2.1 Biomasse épiphytes des feuilles globales (adultes et intermédiaires)

Les variations mensuelles de biomasse des épiphytes montrent un pic estival au niveau des deux sites d'étude (Figures 59 et 60), ceci est dû au développement des espèces encroûtantes sur des feuilles longues et anciennes (THELIN et BEDHOMME, 1983 ; CINELLI et al., 1984). Il est à noter que l'évolution saisonnière de la biomasse des épiphytes des feuilles globales suit celles des feuilles globales (Tableau 30). La chute des feuilles avec leurs épiphytes est responsable de la diminution rapide et

importante des épiphytes en automne. Le minimum apparait et se maintient tout l'hiver (THELIN et BEDHOMME, 1983 ; MAZZELLA et al., 1984).

Les variations saisonnières et spatiales de la biomasse des épiphytes sont dues essentiellement aux algues brunes (*Sphacelaria*, *Gyraudia*, *Castagneae*) ou algues rouges (*Ceramium*) qui sont des macroalgues. Car les algues encrûtantes corallinacées (*Fosliella sp.* et *Pneophyllum sp.*) et les diatomées sont les composantes essentielles de la communauté épiphytique le long de l'année et à toutes les profondeurs (MAZZELLA et al., 1993). Le cycle de développement des feuilles régule la succession des espèces épiphytiques le long de celles-ci (MAZZELLA et SPINOCCIA., 1992).

**Tableau 30 : Biomasse moyenne des épiphytes des feuilles par faisceau et par m<sup>2</sup> pour chaque type de feuilles : minimum et maximum observés dans les sites d'étude.**

Type de feuilles	Site	Minimum			Maximum		
		mg Ps / fsc.	g Ps / m <sup>2</sup>	Mois	mg Ps / fsc.	g Ps / m <sup>2</sup>	Mois
Adultes	Cap Carbon	71,70 ± 132,94	23,28 ± 12,04	Déc	591,04 ± 153,73	206,86 ± 53,81	Juil
	Ain Franin	15,31 ± 9,55	6,77 ± 3,85	Fév	156,25 ± 179,76	62,97 ± 72,44	Nov
Intermédiaires	Cap Carbon	39,37 ± 34,36	13,78 ± 12,03	Oct	634,76 ± 102,75	22,17 ± 35,96	Juin
	Ain Franin	4,31 ± 3,19	1,74 ± 1,28	Déc	116,65 ± 35,78	47,01 ± 14,42	Sept
Adultes et Intermédiaires	Cap Carbon	134,14±104,91	46,95 ± 36,72	Oct	1071,05±192,64	348,08 ± 64,05	Août
	Ain Franin	22,06 ± 10,18	8,89 ± 4,10	Janv	252,84 ± 90,69	65,39 ± 72,72	Sept

### 6.2.2. Biomasse des épiphytes des feuilles adultes

La biomasse des épiphytes (moyenne mensuelle) montre des différences significatives (ANOVA P< 0,01) entre les sites d'étude et présente les mêmes variations saisonnières que les épiphytes des feuilles globales dans les deux sites d'étude (Figures 61 et 62).

### 6.2.3. Biomasse des épiphytes des feuilles intermédiaires

La biomasse des épiphytes des feuilles intermédiaires (moyenne mensuelle) exprimée en g Ps / faisceau. Cette dernière montre des différences significatives (ANOVA P< 0,01) entre les sites d'étude, suit la même évolution et varie dans les mêmes limites que la biomasse des épiphytes des feuilles globales et ceci quelque soit le site considéré (Figures 61 et 62).

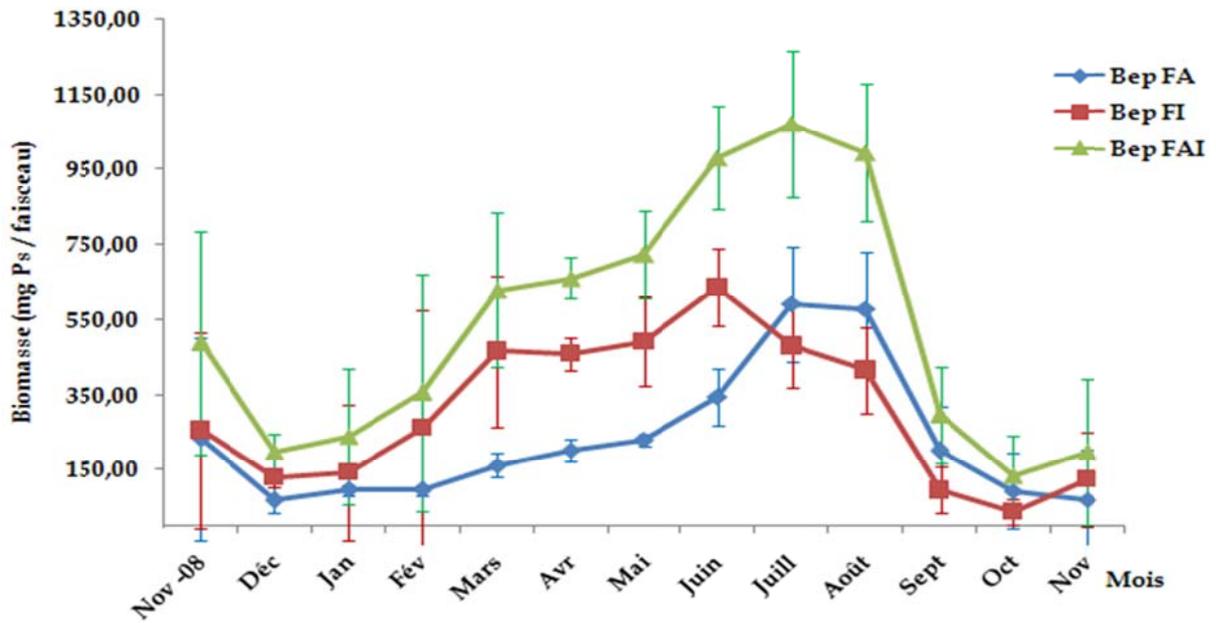


Figure 59 : Evolution saisonnière de la biomasse moyenne des épiphytes des feuilles adultes, intermédiaires et globales au niveau de Cap Carbon.

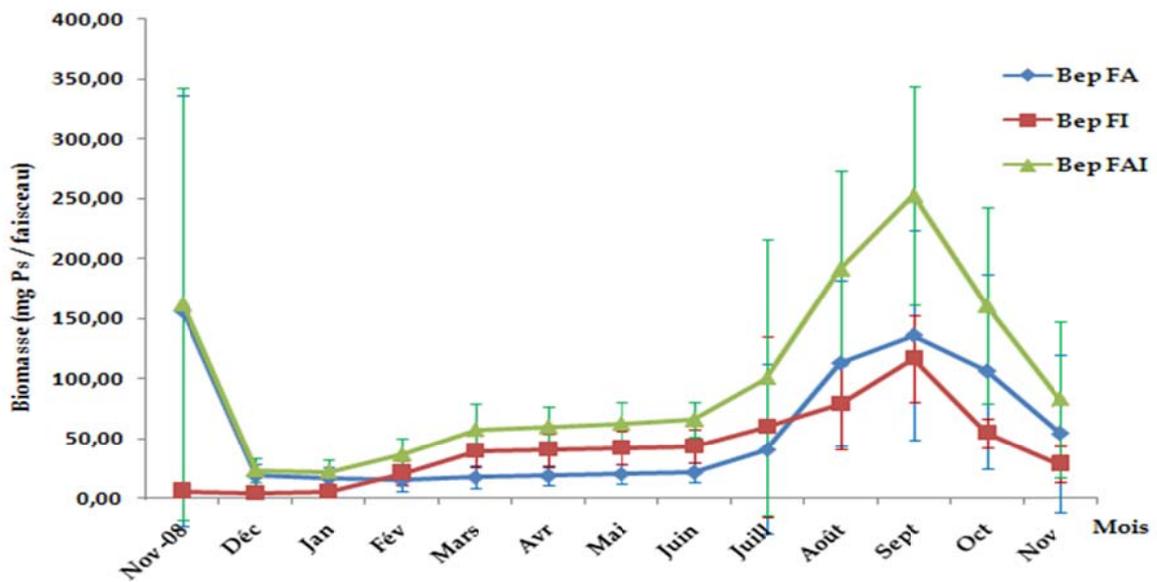


Figure 60 : Evolution saisonnière de la biomasse moyenne des épiphytes des feuilles adultes, intermédiaires et globales au niveau d'Ain Franin.

D'une manière générale nos résultats sont comparables à ceux relevés dans différentes localités méditerranéennes (Tableau 31).

**Tableau 31 : Biomasse moyennes des feuilles globales (adultes et intermédiaires) et de leurs épiphytes. Valeurs extrêmes (Maximum : M ; minimum : m ; \* moyenne annuelle) de *Posidonia oceanica* relevée dans la littérature pour différentes localités et profondeurs.**

Localité	Prof (m)	Biomasse (feuilles)		Biomasse (épiphytes)		Références
		(mg/ Ps /faisceau)	(g.Ps / m <sup>2</sup> )	(mg/ Ps/faisceau)	(g.Ps / m <sup>2</sup> )	
Cap Carbon, Arzew (Algérie)	10	1651 (juillet) M 303 (novembre) m	557 (juillet) M 106,05 (novembre) m	1071 (juillet) M 134 (octobre) m	46,94 (juillet) M 375,1(octobre) m	Présent travail
Ain Franin, Oran (Algérie)		1590 (août) M 412 (janvier) m	715,5 (août) M 9,92 (janvier) m	252(septembre) M 22 (janvier) m	113 (septembre) M 9,9 (janvier) m	
Golfe de la Revellata (Baie de Calvi, France)	10	-----	862 (aout) M 253 (octobre) m	-----	190 (août) M 34 (avril) m	CHAMPENOIS, 2008
El Kantaoui (Tunisie)	10	-----	-----	-----	475,2*	SEGHAIER et al ,2006
Monastir (Tunisie)					176,8*	
Hergla (Tunisie)					427,2*	
Mahdia (Tunisie)					198,45*	
Calvi (Corse)	10	1187 (juin)	760 (Juin)	-----	-----	BAY, 1978
Mer de Tossa (Catalane)	9	1026 (août) M 222 (novembre) m	-----	-----	-----	BALLESTRO, 1987
Côte Bleue (France)	10	725 (été) M 416 (hiver) m	-----	-----	-----	CRISTIANI, 1980
Iles Medes (Espagne)	8,7	59,5 (septembre) M 46,5 (septembre) m	271 (septembre) M 158 (septembre) m	-----	-----	ROMERO, 1988
Tamentfoust (Algérie)	8	1210 (juillet) M 520 (octobre) m	138 (juillet) M 59 (octobre) m	460 (avril) M 100 (janvier) m	52 (avril) M 11 (janvier) m	SEMROUD, 1993
La Marsa (Algérie)		1330 (juillet) M 380 (octobre) m	229 (juillet) M 65 (octobre) m	280 (avril) M 50 (janvier) m	48 (avril) M 8,6 (janvier) m	
Anse de Kouali (Algérie)	10	2286 (décembre) M 1081 (septembre) m	882 (décembre) M 417 (septembre) m	196 (octobre) M 24 (décembre) m	75 (octobre) M 9 (décembre) m	BOUMAZA, 1995

## 7. Conclusion sur la biomasse

- **La biomasse moyenne des feuilles globales** varie tout au long de l'année d'une manière importante et ceci au niveau des deux sites d'étude. Elle est maximale à la fin du printemps et en été, et minimale en hiver.
- **La biomasse moyenne des feuilles** adultes et intermédiaires suit la même évolution saisonnière que celle des feuilles globales.
- Il est à noter que l'évolution saisonnière de **la biomasse moyenne des épiphytes des feuilles globales** suit celles des feuilles globales. D'une manière générale nos résultats sont comparables à ceux relevés dans différentes localités méditerranéennes.

## 8. Caractères lépidochronologiques

### 8.1. Évolution de la date d'inversion des cycles d'épaisseur

L'apparition d'une nouvelle écaille le long d'un rhizome est liée à la chute de son limbe. L'épaisseur de cette nouvelle écaille peut être soit supérieure, soit inférieure à l'épaisseur de l'écaille formée précédemment. Si l'épaisseur de la dernière écaille formée est plus importante que la précédente, nous sommes en **phase ascendante** ; si au contraire, elle est plus faible, nous sommes en **phase descendante**. Le passage d'une phase à l'autre détermine l'inversion du cycle. Par convention, nous considérons que l'inversion du cycle est effective lorsque plus de 50% des faisceaux étudiés ont subi cette modification : c'est la date d'inversion du cycle telle l'a définie PERGENT (1987).

L'inversion du maximum d'épaisseur (passage de la phase ascendante à la phase descendante) a lieu en décembre au niveau des deux sites d'étude (Tableau 32). Ces résultats corroborent ceux de PERGENT (1993).

L'étude des dates d'inversion des cycles nous a également permis de situer le minimum d'épaisseur de cycles (passage de la phase descendante à la phase ascendante). Ce minimum apparaît en avril à Cap Carbon et en juin à Ain Franin (Tableau 31) et le maximum apparaît en décembre pour les deux sites d'étude. Ces résultats corroborent ceux de PERGENT (1987).

**Tableau 32 : Dates d'inversion des cycles d'épaisseur (inversion des minima et inversion des maxima).**

Localités, Pays	Profondeur (m)	Inversion des minima	Inversion des maxima	Références
Port - Cros France	11	Juin	Décembre	PERGENT (1987)
Banyuls- sur- Mer France	12	Juin	Décembre	PERGENT (1987)
La Marsa Tamentfoust Algérie	8	Avril avril	-----	SEMROUD (1993)
Plateau des Chèvres Ile de Riou France	10	Juin Avril	Novembre Janvier	RICO-RAIMONDINO (1995)
Cap Carbon Ain Franin Algérie	10	Avril Juin	Décembre Décembre	Présent travail

## 8.2. Nombre d'écailles par cycle : Périodicité

Le nombre d'écailles par cycle (Annexe 12), qui traduit la période du cycle d'épaisseur des écailles (PERGENT, 1987; PERGENT, 1990; PERGENT-MARTINI, 1994), correspond au nombre de feuilles (limbes) tombées en une année (cycles annuels). Il est ainsi possible de déterminer le nombre de feuilles tombées au cours de chaque année lépidochronologique.

Dans les deux herbiers considérés, des variations du nombre d'écailles par cycle, et donc du nombre de feuilles produites par an ont été enregistrées (Figure 61).

Le nombre de feuilles tombées en une année peut varier du simple au double le long d'un même rhizome en fonction de l'année considérée. Ces variations peuvent avoir une origine endogène (PERGENT, 1990), tel que le nombre d'écailles qui peut être important au niveau des cycles où des restes de pédoncules floraux sont retrouvés (PANAYOTIDIS, 1986 ; PERGENT, 1987).

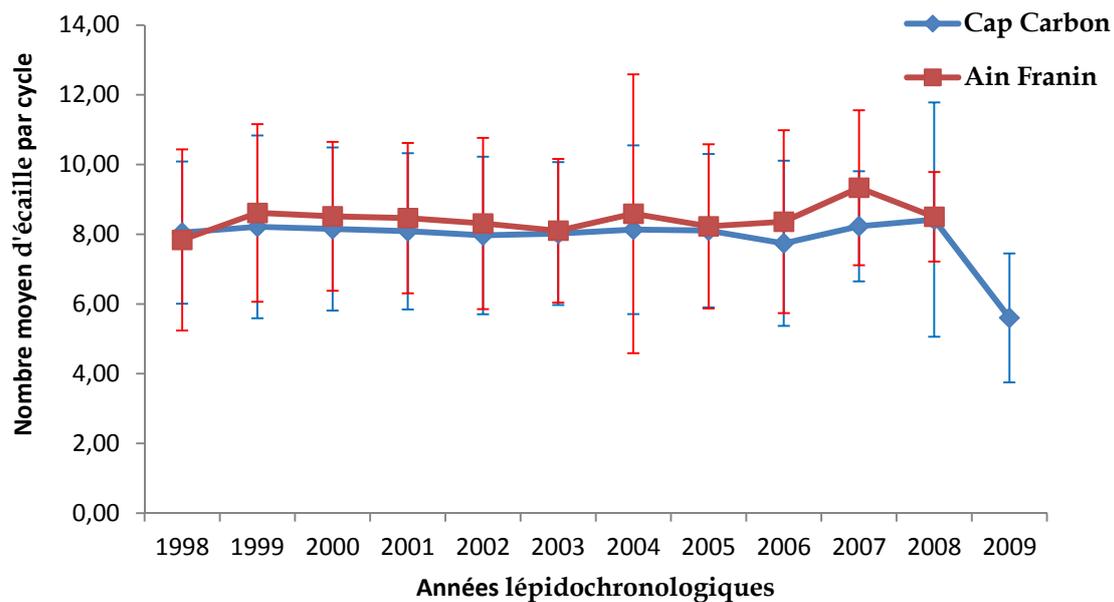


Figure 61 : Évolution du nombre moyen d'écailles par cycle dans les sites d'étude.

La périodicité peut également être influencée par des facteurs exogènes (PERGENT, 1987 ; RICO-RAIMONDINO, 1995) tel que la lumière, l'hydrodynamisme, la température. En effet, la réduction du nombre d'écailles par cycle est due généralement soit à la pauvreté du milieu en oligoéléments (RICO et PERGENT,

1990 ; PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1990) soit à une augmentation de la turbidité ou de la profondeur (PERGENT, 1987).

### **8.2.1. Variation au sein d'un site**

Le nombre d'écailles constituant les cycles observés le long d'un même rhizome de *Posidonia oceanica* peut varier de façon considérable. Ce nombre, comptabilisé entre deux minima, est compris entre 6 et 12 écailles le long d'un même rhizome.

L'influence du facteur « Rhizome » sur la répartition du nombre d'écailles par cycle n'est significative pour aucun de nos sites d'étude (à Cap Carbon  $P= 0,94$  ; à Ain Franin  $P= 0,97$ ).

Ces résultats sont contradictoires avec ceux de PERGENT (1987) et SEMROUD (1993), pour qui l'action du facteur « Rhizome » est significative.

Ce résultat peut traduire une plus grande homogénéité de l'herbier (cycle végétative, conditions du milieu) et ceci du moment où tous nos prélèvements ont été effectués au même endroit. Ce dernier étant préalablement balisé.

### **8.2.2. Variation entre les sites**

Le nombre d'écailles par cycle varie selon l'herbier considéré. A Cap Carbon il est en moyenne de 7,89 et à Ain Franin ce cycle est en moyenne de 8,44. Ces valeurs correspondent à une moyenne sur 11 à 12 années (Figures 62 et 63). Il en découle de ces résultats que pour un site donné, le nombre d'écailles par cycle est relativement homogène.

L'analyse de la variance montre des variations non significatives entre les deux sites d'étude (ANOVA,  $P < 0,01$ ). Ceci laisse supposer que les deux herbiers sont soumis peut être aux mêmes influences hydrodynamiques du moment que nos stations d'étude sont situées à des profondeurs similaires.

Contrairement à PERGENT (1987) à Port Cros, qui obtient un nombre d'écailles par cycle nettement supérieur dans les stations superficielles au niveau du récif barrière, caractérisé par un fort hydrodynamisme que celui enregistré dans les stations situées à des profondeurs plus importantes et subissant un hydrodynamisme moins important.

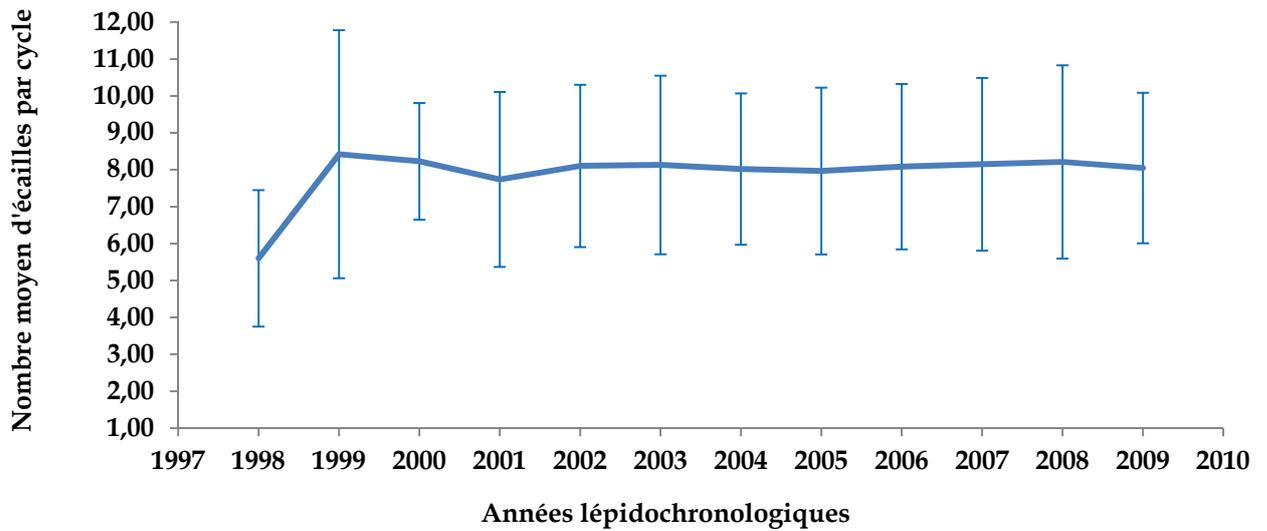


Figure 62 : Évolution du nombre moyen d'écaïlles par cycle (Cap Carbon).

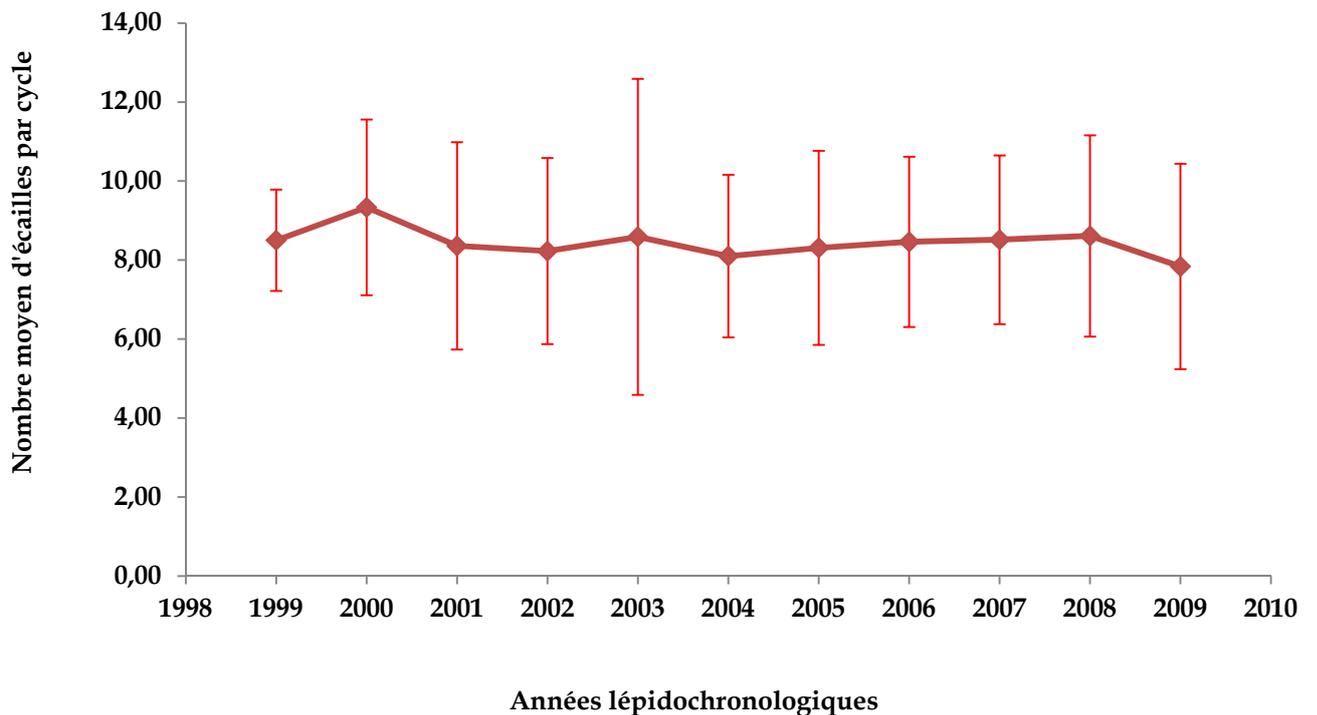


Figure 63 : Évolution du nombre moyen d'écaïlles par cycle (Ain Franin).

Ces données concernant le nombre moyen d'écaïlles par cycle sont du même ordre de grandeur que celles enregistrés dans plusieurs secteurs méditerranéens (Tableau 33).

Tableau 33: Nombre moyen d'écailles par cycle, valeurs relevées dans la littérature pour différentes localités.

Localités	Références	Profondeur (m)	Nombre d'écailles
Galéria (Corse)	BOUDOURESQUE <i>et al.</i> , 1984	12	9,1
Anse de Kouali (Algérie)	BOUMAZA, 1995	10	8,39
Port- Cros (France)	PERGENT, 1987	11	7,1
Olbia (Sardaigne)	PERGENT <i>et</i> PERGENT-MARTINI, 1991	10	7,1
Ischia (Italie)			7,6
Bonifacio (Corse)	PERGENT-MARTINI, <i>et al.</i> , 1992	10	7,6
Girolata (Italie)	PERGENT-MARTINI, <i>et al.</i> , 1993	10	7,9
Plateau des Chèvres (Marseille, France)	PERGENT-MARTINI, 1994	10	7,7
Marseille (France)			8,3
Alghero (Sardaigne)	RICO <i>et</i> PERGENT, 1990	10	6,5
Plateau des Chèvre (France)	RICO-RAIMONDINO, 1995	10	7,4
(Marseille, France)			7,3
Tabarca (Espagne)	SANCHEZ LIZASO, 1993	12,5	8,5
La Marsa (Algérie)	SEMROUD, 1993	8	9,8
Tamentfoust (Algérie)			8,8
Archipel de Pontino (Italie)	DOLCE <i>et al.</i> , 1996	10	7,12
Villasimius (Sardaigne)	DIDATO, 2000	10	7,45
Golf de Gabes (Tunisie)	BEN BRAHIM <i>et al.</i> , 2007	10	7,79
Port-Princes (Cap Bon, Tunisie)	KSONTINI <i>et al.</i> , 2007	6,5	7,86
<b>Cap carbon (Algérie)</b>	<b>Présent travail</b>	<b>10</b>	<b>7,89</b>
<b>Ain Franin (Algérie)</b>			<b>8,44</b>

### 8.3. Vitesse de croissance du rhizome

Pour les rhizomes comportant un grand nombre de cycles, la longueur des tronçons de rhizomes, correspondant à la zone d'insertion des écailles de chaque cycle est mesurée (PERGENT, 1987 ; PERGENT *et* PERGENT-MARTINI, 1990 ; PERGENT-MARTINI, 1994).

Du fait de la périodicité des cycles, il est possible d'en déduire la vitesse de croissance du rhizome (PERGENT, 1987 ; PERGENT *et* PERGENT-MARTINI, 1990 ; PERGENT-MARTINI, 1994).

Dans les deux herbiers considérés, des variations de vitesse de croissance de rhizomes ont été enregistrées (Figure 64).

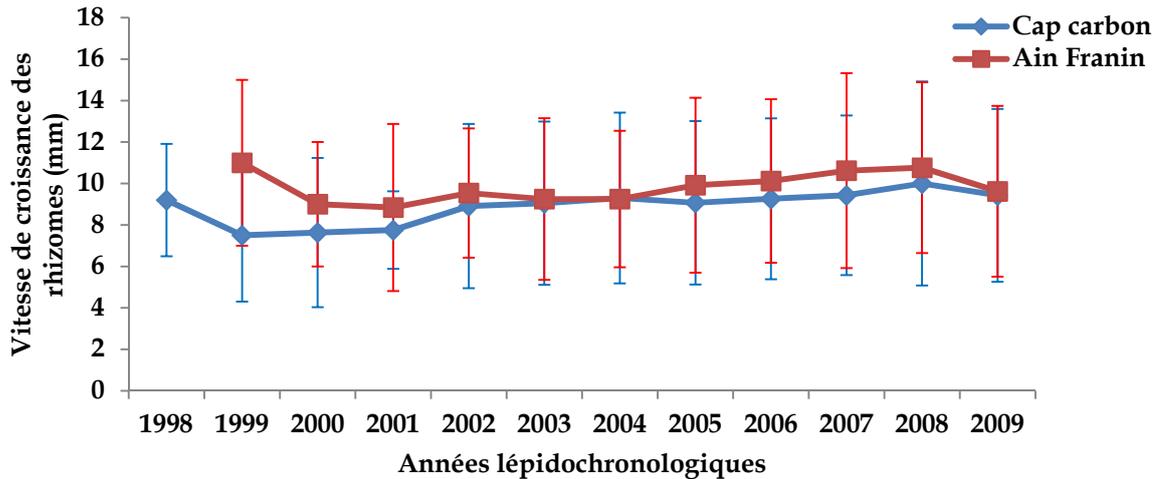


Figure 64 : Evolution de la vitesse de croissance moyenne des rhizomes au niveau des deux sites d'étude.

### 8.3.1. Variation au sein d'une station

La vitesse de croissance des rhizomes est très variable d'une année à l'autre (Figure 66) ; les valeurs extrêmes sont de 5 à 18 mm le long d'un même rhizome et de 2 à 33 mm d'un rhizome à l'autre pour l'ensemble des rhizomes étudiés. La majorité des auteurs ont mis en évidence cette variabilité (PERGENT, 1987 ; SEMROUD, 1993 ; PERGENT-MARTINI, 1994 ; BOUMAZA, 1995 ; RICO-RAIMONDINO, 1995).

Les facteurs endogènes et exogènes (« rhizome » et « année ») semblent donc avoir une action significative sur la vitesse de croissance des rhizomes alors que seuls les facteurs exogènes intervenaient sur le nombre d'écailles par cycle.

### 8.3.2. Variation entre les stations

La vitesse de croissance moyenne des rhizomes varie en fonction du site considéré ; c'est à Ain Franin qu'elle est la plus élevée (9,90mm/an ( $\pm 3,6$ )) et elle est de (8,88mm/an ( $\pm 0,99$ )) à Cap Carbon (Annexe 13).

La vitesse de croissance des rhizomes varie significativement d'un site à l'autre (ANOVA,  $P < 0,01$ ). Les années 2008 et 2009 ne sont pas représentées car BOUDOURESQUE et al (1983) ont montré que la croissance des rhizomes n'est totalement achevée que deux ou trois années après leur formation (Figure 66).

La vitesse de croissance des rhizomes est fortement corrélée à la vitesse de sédimentation (CAYE, 1982 ; BOUDOURESQUE et JEUDY DE GRISSAC, 1983 ; BOUDOURESQUE et al., 1984 ; PERGENT-MARTINI, 1994). Lorsqu'elle devient trop importante, elle provoque un enfouissement du point végétatif de la plante et sa

mort, si le phénomène persiste (AZZOLINA et al., 1985 ; BOUDOURESQUE et al., 1984) . La vitesse de croissance des rhizomes semble augmenter au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'apex.

Les tronçons les plus âgés sont généralement les plus longs au sein d'un même rhizome. Ce phénomène déjà noté par CARLOTTI (1986), PERGENT (1987), CALMET et al (1988) SANCHEZ LIZASO (1993), BOUMAZA (1995) et RICO-RAIMONDINO (1995) qui avancent l'hypothèse selon laquelle la vitesse de croissance des rhizomes serait liée à la distance (en nombre d'années) existante entre le tronçon étudié et la zone d'insertion sur le rhizome parent plagiotrope.

L'augmentation du nombre de feuilles engendre une augmentation de la taille de tronçons des rhizomes sur lesquels elles sont insérées. Une telle corrélation est mise en évidence au niveau de Cap Carbon (Figure 65) , mais cette corrélation n'est pas très significative ( $r = 0,44$ ) . Bien que cette corrélation ne soit pas significative dans le site de Ain Franin (Figure 66) , on observe toutefois des fluctuations comparables.

Il semble toutefois logique d'admettre que la vitesse de croissance des rhizomes, le nombre de feuilles produites annuellement et la vitesse de sédimentation soient trois paramètres qui interagissent plus ou moins simultanément selon les deux sites d'études considérés.

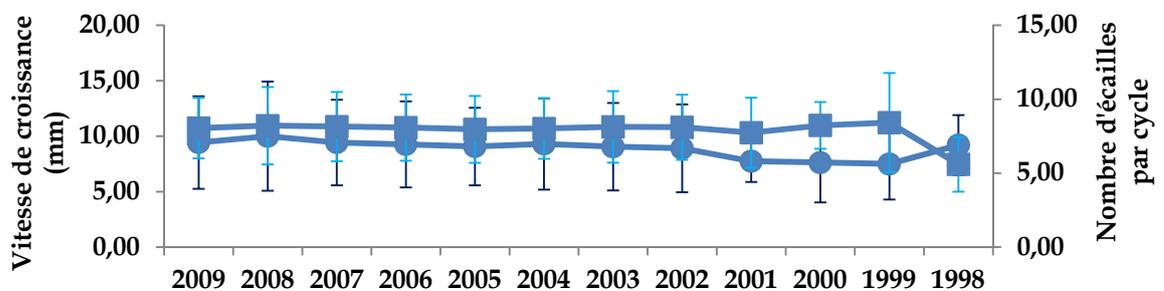


Figure 65 : Evolution de la croissance moyenne des rhizomes (■) et du nombre moyen de feuilles produites par an (●), à la station de Cap Carbon.

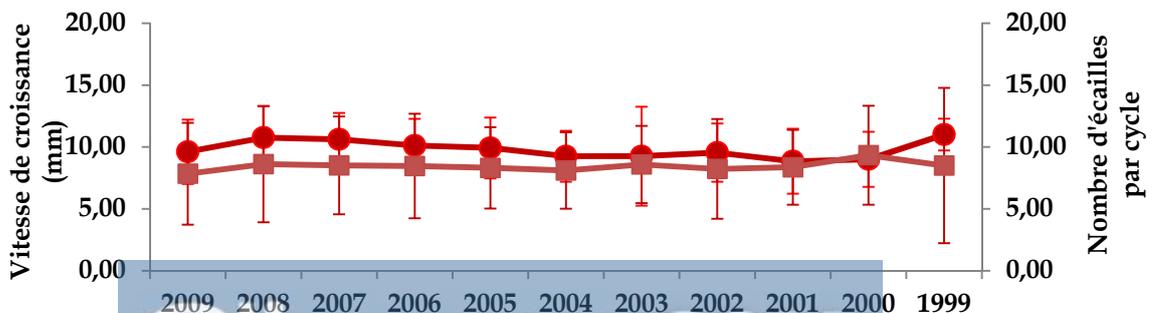


Figure 66 : Evolution de la croissance moyenne des rhizomes (■) et du nombre moyen de feuilles produites par an (●), à la station d'Ain Franin.

Les valeurs obtenues concernant la vitesse de croissance, s'inscrivent parmi les valeurs les plus importantes citées dans la littérature. (Tableau 34).

**Tableau 34: Vitesse de croissance moyenne des rhizomes (mm /an). Valeurs relevées dans la littérature pour différentes localités.**

Localités	Référence	Profondeur (m)	Vitesse de croissance (mm/an)
Calvi (Corse)	BAY, 1978	10	1,50
Anse de Kouali (Algérie)	BOUMAZA, 1995	10	7,74
Banyuls-sur-Mer, Pyrénées orientales France	PERGENT, 1987	12	6,40
Iles Medes (Espagne)	ROMERO-MARTINENGRO, 1985	8,7	11,70
Tabarca (Espagne)	SANCHEZ LIZASO, 1993	12,5	10,90
La Marsa (Algérie)	SEMROUD, 1993	8	6,80
Tamentfoust (Algérie)			7,00
El Kantaoui (Tunisie)	SGHAIER et al, 2006	10	3,8
Monastir (Tunisie)			4,5
Hergla (Tunisie)			7,6
Mahdia (Tunisie)			8,1
Port-Princes (CapBon, Tunisie)	KSONTINI et al, 2007	6,5	6,60
<b>Cap Carbon (Algérie)</b>	<b>Présent travail</b>	<b>10</b>	<b>8,88</b>
<b>Ain Franin (Algérie)</b>			<b>9,90</b>

## 9. Conclusion sur les caractères lépidochronologiques

- **L'inversion du maximum d'épaisseur** (passage de la phase ascendante à la phase descendante) à lieu en **janvier** à Ain Franin et en **décembre** à Cap Carbon.
- **Le nombre d'écailles par cycle** peut varier du simple au double (6 à 12) et de 2 à 17 d'un rhizome à un autre. Le nombre moyen d'écailles par cycle varie selon le site considéré. Il est produit 7,89 écailles par an à Cap Carbon contre 8,44 écailles par an à Ain Franin.
- **La vitesse de croissance** est très variable d'une année à l'autre, les valeurs extrêmes sont de 5 à 18 mm le long d'un même rhizome et de 2 à 33 mm d'un rhizome à l'autre.

## 10. Cycle de renouvellement des feuilles

### 10.1. Rythme de chute des feuilles

Il est possible, en suivant de mois en mois la formation du dernier cycle, de déterminer le rythme de chute des feuilles (PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1990 ; 1991). En effet, la chute d'une feuille (feuille adulte plus âgée) est matérialisée par l'apparition d'une nouvelle écaille dans le cycle. La position du minimum d'épaisseur du cycle précédent sert de point de repère.

En notant le rang des écailles présentant le minimum d'épaisseur, de deux prélèvements mensuels successifs, il est possible de déterminer le nombre moyen de feuilles tombées durant cette période.

Le nombre moyen de feuilles tombées entre novembre 2008 et novembre 2009 est de 6,75 feuilles à Ain Franin et 5,68 à Cap Carbon. (Tableau 35).

Tableau 35 : Rythme de chute de feuilles dans les deux sites d'étude, entre novembre 2008 et novembre 2009 .Colonne de gauche : nombre moyen de feuilles tombées entre les deux mois ; colonne de droite : nombre de feuilles tombées depuis novembre 2008 (valeurs cumulées).

Sites	Ain Franin		Cap Carbon	
	Chute	Cumulé	Chute	Cumulé
Mois				
Novembre – Décembre 08	1,53	1,53	0,83	0,83
Décembre - Janvier	1,47	3,00	0,77	1,60
Janvier - Février	0,23	3,23	0,37	1,97
Février - Mars	0,20	3,43	1,07	3,04
Mars - Avril	0,40	3,83	0,10	3,14
Avril - Mai	0,27	4,10	-0,10	3,04
Mai - Juin	0,73	4,83	0,77	3,81
Juin - Juillet	0,60	5,43	0,27	4,08
Juillet- Août	0,43	5,86	0,60	4,68
Août- Septembre	0,73	6,59	1,30	5,98
Septembre - Octobre	0,67	7,32	0,47	6,45
Octobre - Novembre	-0,57	<b>6,75</b>	-0,77	<b>5,68</b>

Tous les auteurs sont d'accord sur le fait que la chute des feuilles se produit tout au long de l'année, avec des périodes d'accélération, généralement liées aux conditions hydrodynamiques (PANAYOTIDIS et GIRAUD, 1981 ; CAYE, 1982 ; MOSSE, 1984a et b ; BUIA et al ,1992).

En effet, le rythme de chute des feuilles est très régulier dans les deux sites d'étude, ceci peut être dû au fait que les deux herbiers sont soumis à un hydrodynamisme de même intensité du moment que nos herbiers sont à des profondeurs similaires (Figure 67). Le rythme se trouve accéléré d'une part, en été à cause du vieillissement des feuilles adultes (MOLINIER et PICARD, 1952 ; DREW, 1978 ; CAYE, 1982) ou bien à cause du ralentissement du cycle végétatif durant cette période (OTT, 1980 ; FRESI, 1982) ; et d'autre part, en automne, du fait des tempêtes (OTT, 1980 ; WITTMANN, 1984). Le rythme de chute des feuilles est ralenti en hiver (PERGENT, 1990). Quoi qu'il en soit, le rythme de chute des feuilles semble être un caractère intrinsèque à la plante, car il persiste lorsque *Posidonia oceanica* est soumise à des conditions constantes de température et de lumière (OTT, 1979). Le même schéma est observé en Méditerranée (CAYE, 1980 ; PANAYOTIDIS et GIRAUD, 1981).

Malgré une chute massive des feuilles à la fin de l'été et en automne, l'apparition de « banquettes » sur les plages pendant cette période n'est pas totalement liée à l'augmentation du rythme de chute des feuilles (CAYE, 1982 ; PERGENT, 1987), mais également aux accumulations de litière sur le fond, qui sont transportées vers les plages lors des tempêtes (RICO-RAIMONDINO, 1995).

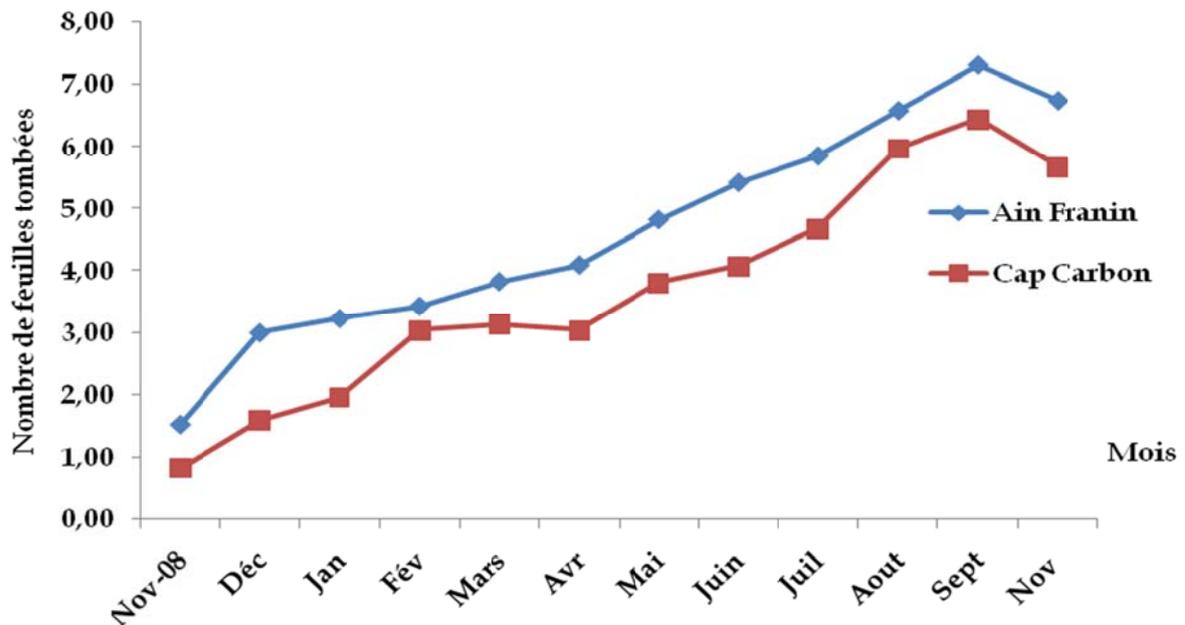


Figure 67 : Rythme de chute de feuilles en données cumulées, pour nos deux sites d'études entre novembre 2008 et novembre 2009.

Peu de travaux font état du cycle de renouvellement des feuilles (Tableau 36). Nos données correspondent aux valeurs citées dans la littérature pour des profondeurs similaires.

**Tableau 36: Rythme de chute des feuilles de *Posidonia oceanica* (cumulé sur une année), relevé dans la littérature.**

Localités	Profondeur	Rythme de chute des feuilles	Références
Port-Cros (France)	11	6,1	PERGENT, 1987
Banyuls-sur-Mer (France)	12	7,4	
Ischia Lacco Ameno (Italie)	10	7.5	PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1991
Plateau des Chèvres (France)	10	6,9	RICO-RAIMONDINO, 1995
Ile de Riou (France)	10	6,5	
l'Anse de Kouali (Algérie)	10	8,45	BOUMAZA, 1995
<b>Cap Carbon (Algérie)</b>	10	<b>5,68</b>	<b>Présent travail</b>
<b>Ain Franin (Algérie)</b>		<b>6,75</b>	

### 10.2. Rythme de formation des feuilles

Connaissant d'une part, la variation du nombre de feuilles par faisceau et, d'autre part, le rythme de chute des feuilles, nous pouvons déduire le rythme de formation des feuilles (apparition de nouvelles feuilles intermédiaires). Effectivement le nombre de formation des feuilles correspond, pour une période donnée, à la variation du nombre de feuilles par faisceau augmentée du nombre de feuilles tombées durant cet intervalle (PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1985).

Les variations du nombre de feuilles par faisceau sont estimées à partir des données issues de l'étude phénologique. Le rythme de formation est alors calculé pour nos deux sites d'étude (Tableau 37, 38).

**Tableau 37: Évolution du nombre moyen de feuilles adultes et intermédiaires dans les sites étudiés, au cours de l'année. La variation du nombre de feuilles, par rapport au mois précédent, est également notée. Nb.F. : nombre de feuilles.**

Sites Mois	Ain Franin		Cap Carbon	
	Nb.F.	Variation	Nb.F.	Variation
Novembre 2008	5,77		5,63	
Décembre 2008	5,77	0,00	6,37	0,74
Janvier 2009	5,80	0,03	5,50	- 0,87
Février 2009	6,03	0,23	5,93	0,43
Mars 2009	6,20	0,17	6,13	0,20
Avril 2009	6,10	- 0,10	5,23	- 0,90
Mai 2009	6,50	0,40	5,43	0,20
Juin 2009	5,43	- 1,07	6,10	0,67
Juillet 2009	5,80	0,37	6,27	0,17
Août 2009	4,87	- 0,93	5,40	- 0,87
Septembre 2009	4,03	- 0,84	5,23	- 0,17
Octobre 2009	4,77	0,74	5,23	0,00
Novembre 2009	5,00	0,23	5,07	0,16

Le nombre moyen de feuilles formées, entre novembre 2008 et novembre 2009 est de **5,92** à Ain Franin et de **5,44** à Cap Carbon (Tableau 39). Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles relevées dans la littérature (Tableau 40).

**Tableau 38: Rythme de formation des feuilles dans les sites étudiés. Chute : nombre moyen de feuilles tombées ; variation : augmentation ou diminution du nombre moyen de feuilles par faisceau ; formation : nombre moyen de nouvelles feuilles formées.**

Mois	Ain Franin			Cap Carbon		
	Chute	Variation	Formation	Chute	Variation	Formation
Novembre 2008	1,53	0,00	1,53	0,83	0,74	1,57
Décembre 2008	1,47	0,03	1,50	0,77	- 0,87	- 0,10
Janvier 2009	0,23	0,23	0,46	0,37	0,43	0,80
Février 2009	0,20	0,17	0,37	1,07	0,20	1,27
Mars 2009	0,40	- 0,10	0,30	0,10	- 0,90	- 0,80
Avril 2009	0,27	0,40	0,67	-0,10	0,20	0,10
Mai 2009	0,73	- 1,07	- 0,34	0,77	0,67	1,44
Juin 2009	0,60	0,37	0,97	0,27	0,17	0,44
Juillet 2009	0,43	- 0,93	- 0,50	0,60	- 0,87	- 0,27
Août 2009	0,73	- 0,84	- 0,11	1,30	- 0,17	1,13
Septembre 2009	0,67	0,74	1,41	0,47	0,00	0,47
Octobre 2009	-0,57	0,23	- 0,34	-0,77	0,16	- 0,61

**Tableau 39 : Rythme de formation des feuilles dans les sites étudiés. Formation : nombre moyen de feuilles formées durant un mois ; Cumul : nombre de feuilles formées depuis novembre 2008 (valeurs cumulées) ; Feuilles : date d'apparition des nouvelles feuilles.**

Sites Mois	Ain Franin			Cap Carbon		
	Formation	Cumul	Feuilles	Formation	Cumul	Feuilles
Novembre 2008	1,53	1,53	F1	1,57	1,57	F1
Décembre 2008	1,50	3,03	F2-F3	- 0,10	1,47	
Janvier 2009	0,46	3,49		0,80	2,27	F2
Février 2009	0,37	3,86		1,27	3,54	F3
Mars 2009	0,30	4,16	F4	- 0,80	2,74	
Avril 2009	0,67	4,83		0,10	2,84	
Mai 2009	- 0,34	4,49		1,44	4,28	F4
Juin 2009	0,97	5,46	F5	0,44	4,72	
Juillet 2009	- 0,50	4,96		- 0,27	4,45	
Aout 2009	- 0,11	4,85		1,13	5,58	F5
Septembre 2009	1,41	6,26	F6	0,47	6,05	F6
Octobre 2009	- 0,34	<b>5,92</b>		- 0,61	<b>5,44</b>	

Tableau 40: Rythme de formation des feuilles de *Posidonia oceanica* (cumulé sur une année), relevé dans la littérature.

Localités	Profondeur (m)	Rythme de formation des feuilles	Références
Port-Cros (France)	11	6,7	PERGENT, 1987
Banyuls-sur-Mer (France)	12	7,6	
Ischia Lacco Ameno (Italie)	10	7.6	PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1991
Plateau des Chèvres (France)	10	6,6	RICO-RAIMONDINO, 1995
Ile de Riou (France)	10	6,2	
l'Anse de Kouali (Algérie)	10	8,5	BOUMAZA, 1995
Archipel de Pontino (Italie)	10	7,12	DOLCE et al, 1996
Villasimius Sardinia (Italie)	10	7,45	DITATO, 2000
Mahres Golfe de Tunis, (Tunisie)	10	7,79	BENBRAHIM et al, 2007
<b>Cap Carbon (Algérie)</b>	<b>10</b>	<b>5,68</b>	<b>Présent travail</b>
<b>Ain Franin (Algérie)</b>		<b>6,75</b>	

La période de formation maximale des feuilles se situe entre l'été et le début de l'automne. Par contre l'hiver est la période où la formation des feuilles est la moins importante (Figure 68).

Cependant, à certaines profondeurs, cette période semble plus étalée (EUGENE, 1978 ; OTT, 1980 ; PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1990). Seul CAYE (1982) note une interruption dans l'activité des méristèmes apicaux des rhizomes orthotropes en hiver, lorsque la température est inférieure à 13°C.



Figure 68 : Rythme de formation des feuilles de *Posidonia oceanica* en données cumulées, pour nos deux sites d'études, entre novembre 2008 et novembre 2009.

### **10.3. Longévité des feuilles**

La longévité d'une feuille dépend de la période à laquelle celle-ci s'est formée. En effet, les feuilles qui naissent en automne deviennent adultes au début de l'été et présentent donc une longueur et longévité maximales, tandis que les feuilles qui apparaissent au début du printemps sont adultes à la fin de l'été et auront une durée de vie plus courte (CAYE et ROSSIGNOL, 1983 ; ROMERO, 1989).

à Ain Franin, par exemple, entre octobre et novembre, une nouvelle feuille (notée F1) est apparue dans le faisceau.

Le nombre de feuilles présentes dans le faisceau en novembre est de 5,77 feuilles (Tableau 41 a). Il faudra donc attendre la chute d'au moins 5,77 feuilles pour voir la feuille F1 tomber à son tour, et donc connaître la date de la chute de cette feuille.

Ce n'est qu'en novembre (+ 12 mois) que le nombre de feuilles tombées sera suffisant (6,69 feuilles), car en octobre de la même année 5,16 feuilles étaient tombées.

Comme l'a rectifié PERGENT (1993), on considère que la feuille F1 est tombée entre les deux mois et on admet donc qu'elle a eu une durée de vie de 12 mois.

La longévité des feuilles est ainsi calculée pour nos deux sites d'étude (Tableau 41 a et b).

Pour le site de Cap Carbon, la feuille apparue en février présente une longévité supérieure à la moyenne (Tableau 41 b).

Ce phénomène a déjà été signalé par PERGENT et PERGENT-MARTINI (1990) pour des herbiers situés en limite inférieure.

Les longévités maximales et minimales, pour les deux sites considérés sont comparées aux données de la littérature (Tableau 42).

Il apparaît clairement que la localité influence la longévité des feuilles (PERGENT, 1987).

Tableau 41 : Longévité moyenne des feuilles à Ain Franin et Cap Carbon, en fonction de leur période de formation.  
 \* : date d'apparition d'une nouvelle feuille ; (1) : nombre de feuilles présentes dans le faisceau lorsqu'une ou plusieurs feuilles nouvelles sont apparues.

Si deux feuilles sont formées au cours du même mois, pour la première d'entre elles, il faudra attendre la chute d'un nombre de feuilles égal à celui présent dans le faisceau diminué d'une feuille (cette feuille étant formée ultérieurement).

**a- Ain Franin**

N° feuille	Date d'apparition	Nb de feuil/faisc	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Longévité (mois)	
F1	Nov.	5.77	*	1,47	1,70	1,90	2,30	2,57	3,30	3,60	4,33	5,06	5,73	5,16	6,69								12
F2	Déc.	5.77		*	0,23	0,43	0,63	0,90	1,63	2,23	2,66	3,39	4,06	3,49	5,02	6,49							12
F3	Déc.	5.77		*	0,23	0,43	0,63	0,90	1,63	2,23	2,66	3,39	4,06	3,49	5,02	6,49							12
F4	Mars	6.20					*	0,27	1,00	1,60	2,03	2,76	3,43	2,86	4,39	5,86	6,09	6,29					11
F5	Juin	5.43								*	0,43	1,16	1,83	1,26	2,79	4,26	4,49	4,69	5,09	5,36	6,09		11
F6	Sept.	4.03											*	0,57	0,96	2,43	2,66	2,86	3,26	3,53	4,26		8

**b- Cap Carbon**

N° feuille	Date d'apparition	Nb de feuil/fais	Nov	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Longévité (mois)	
F1	Nov.	5.63	*	0,77	1,14	2,21	2,31	2,21	2,98	3,25	3,85	5,15	5,62	4,85	5,68											12
F2	Jan.	5.50			*	1,07	1,17	1,07	1,84	2,11	2,71	4,01	4,48	3,71	4,54	5,31	5,68									12
F3	Fév.	5.93				*	0,10	0,00	0,77	1,04	1,64	2,94	3,41	2,64	3,47	4,24	4,61	5,68	5,78	5,68	6,45					15
F4	Mai	5.43							*	0,27	0,87	2,17	2,64	1,87	2,70	3,47	4,54	4,64	4,84	5,31	5,58					12
F5	Août	5.40									*	0,47	0,30	0,53	1,30	1,67	2,74	2,84	2,74	3,51	3,78	4,38	5,68		12	
F6	Sept.	5.23											*	0,77	0,06	0,83	1,20	2,27	2,37	2,27	5,41				8	

Tableau 42: Longévité maximale, minimale et moyenne des feuilles, relevée dans la littérature. Les auteurs ont soit utilisé la méthode de marquage : (M) , soit la méthode lépidochronologique : (L) , soit la méthode de l'intervalle plastochrome (PI).

Localités	Profondeur (m)	Longévité (en mois)			Références
		Minimale	Maximale	Moyenne	
Iles Medes (Espagne)	13	6,1	10,8		ROMERO-MARTINENGO, 1985
Tabarca (Espagne)	12,5	5	11		SANCHEZ-LISAZO, 1983
Port-Cros (France)	11	10	14	11,5	PERGENT, 1987
Banyuls-sur-Mer (France)	12	7	11	9,4	
Ischia (Italie)	10	7	12	9,2	PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1991
Plateau des Chévres (France)	10	9,5	11,5	10,7	RICO-RAIMONDINO (1995)
Ile de Riou (France)		9,5	12,5	10,7	
Anse de Kouali (Algérie)	10	6	12		BOUMAZA, 1995
Cap Carbon	10	8	15	11,83	Présent travail
Ain Franin		8	12	11	

## 11. Conclusion sur le "cycle de renouvellement des feuilles "

- Associée à la phénologie, la lépidochronologie nous permet **de modéliser le cycle de renouvellement des feuilles**.
- **Le nombre moyen de feuilles tombées** en une année est de **5,68 feuilles** à Cap Carbon et de **6,75 feuilles** à Ain Franin.
- **La durée de vie** d'une feuille est étroitement liée à sa date d'apparition dans le faisceau. **La longévité moyenne des feuilles** est de l'ordre de **11mois** à Ain Franin et de **11,83 mois** à Cap Carbon.

## 12. Évaluation de la production primaire

Le calcul de la production primaire est réalisé à l'aide de la méthode lépidochronologique (PERGENT *et al.*, 1994 PERGENT-MARTINI *et al.*, 1994).

### 12.1. Densité des feuilles adultes de rang 1

La densité foliaire correspond au poids sec moyen des feuilles par unité de longueur (SAND-JENSEN, 1975). Elle dépend, entre autres, de l'épaisseur et de la largeur des feuilles (BEDHOMME *et al.*, 1983 ; THELIN et GIORGI, 1984).

Seule la densité des feuilles adultes les plus âgées c'est à dire les feuilles adultes de rang 1 (ayant achevées leur croissance), est prise en compte (PERGENT, 1990 ; BOUMAZA, 1995 ; RICO-RAIMONDINO, 1995). La densité est exprimée en mg poids sec par cm.

La densité des feuilles est calculée séparément pour le pétiole et le limbe. Les mesures sont réalisées dans le cadre du cycle annuel (novembre 2008 à novembre 2009) (Tableau 43).

Tableau 43: Densité des pétioles et des limbes des feuilles adultes de rang 1 (en mg PS / cm), dans les sites d'étude.

	<i>Cap Carbon</i>				<i>Ain Franin</i>			
	Densité pétioles mg PS/cm		Densité limbes mg PS/cm		Densité pétioles mg PS/cm		Densité limbes mg PS/cm	
	M	s.e.	m	s.e.	m	s.e.	m	s.e.
<i>Novembre 08</i>	11,87	3,24	3,56	0,82	8,54	4,54	2,46	1,18
<i>Décembre</i>	11,64	3,84	2,97	1,05	7,62	3,21	1,46	1,29
<i>Janvier</i>	10,93	3,87	3,09	0,93	9,13	4,41	2,65	0,73
<i>Février</i>	10,79	4,06	3,21	0,90	9,92	4,18	2,33	0,81
<i>Mars</i>	10,81	3,92	3,28	0,91	13,15	2,59	1,98	0,81
<i>Avril</i>	10,60	3,86	3,33	0,87	13,27	2,79	1,92	0,73
<i>Mai</i>	10,29	3,88	3,39	0,85	15,89	2,61	1,51	0,53
<i>Juin</i>	10,72	4,04	3,52	0,99	13,78	1,68	1,28	0,31
<i>Juillet</i>	10,98	4,02	3,80	2,80	13,64	2,56	0,87	0,40
<i>Août</i>	10,97	3,96	3,96	2,70	12,48	2,02	0,71	0,25
<i>Septembre</i>	11,06	3,95	4,09	2,62	11,94	2,07	0,60	0,22
<i>Octobre</i>	11,14	3,87	4,10	2,53	12,20	2,21	1,33	0,31
<i>Novembre</i>	10,71	4,09	4,08	2,44	12,56	2,71	1,27	0,30
<b>Moy</b>	<b>10,91</b>	<b>4,03</b>	<b>4,18</b>	<b>2,46</b>	<b>11,85</b>	<b>3,82</b>	<b>1,66</b>	<b>0,94</b>

### 12.2. Longueurs des feuilles adultes de rang 1 entières

Le calcul de la production primaire peut se faire en prenant en considération les feuilles adultes de rang 1, dont la croissance est achevée, et qui ont conservé leur apex (PERGENT et PERGENT-MARTINI ,1991 ; BOUMAZA, 1995 ; RICO-RAIMONDINO, 1995). Dans notre étude, nous avons pris en considération la totalité des feuilles adultes de rang 1(entières et cassées) car très peu de feuilles adultes sont entières (valeurs très élevées du coefficient «A » dans nos sites d'étude dues à la pression de broutage et à l'hydrodynamisme), de ce fait la production foliaire sera sous estimée et ne reflète pas la production réelle.

### 12.3. Estimation de la production primaire foliaire nette

Pour estimer la production primaire de l'herbier à *Posidonia oceanica*, il est nécessaire de calculer au préalable, plusieurs paramètres. En effet, la production annuelle foliaire nette par faisceau (Pf) est établie à partir de l'équation :

$$Pf = Nf \times LT \times Df$$

Nf : Nombre de feuilles formées annuellement.

LT : Longueur moyenne des feuilles adultes de rang 1 (en mm).

Df : Densité moyenne annuelle des feuilles adultes de rang 1(en mg PS/ cm).

A partir de la production primaire foliaire nette par faisceau et connaissant la densité (D = nombre de faisceau/m<sup>2</sup>), nous pouvons calculer la production primaire foliaire annuelle par m<sup>2</sup> (Pm<sup>2</sup>) à partir de la relation :

$$Pm^2 = Pf \times D$$

### 12.4. Production primaire 2008 / 2009 (cycle annuel)

La production nette de feuilles, en g PS par faisceau et par an, est de **1,00** à Cap Carbon et de **0,60** à Ain Franin, en utilisant la totalité des feuilles de rang 1(entières et cassées).

Connaissant la densité des herbiers, nous pouvons en déduire une estimation de la production annuelle qui varie de 241,8 à 350 g PS/m<sup>2</sup>/an (Tableau 44).

Cette différence est surtout due au fait que la densité de l'herbier d'Ain Franin est légèrement supérieure à la densité de l'herbier de Cap Carbon.

**Tableau 44 : Estimation de la production primaire foliaire (par faisceau et par m<sup>2</sup>), au cours du cycle annuel (novembre 2008 à novembre 2009), dans les sites étudiées, en utilisant la totalité des feuilles adultes du rang 1 (entières et cassées).**

Sites	Section de la feuille	Nb de feuilles formées /an	Densité des feuilles (mg Ps /cm)	Long. Feuilles Ad R1 (totalité) (en cm)	Production primaire (g Ps/faisc/an)	Densité de l'herbier (/m <sup>2</sup> )	Production primaire (g Ps/ m <sup>2</sup> /an)
Cap Carbon	Limbe	5,44	4,18	32,46	0,73	350	255,5
	Pétiole	5,44	10,91	4,60	0,27	350	94,5
	Totale			37,06	1,00		350
Ain Franin	Limbe	5,92	1,66	31,7	0,31	403	124,93
	Pétiole	5,92	11,85	4,15	0,29	403	116,87
	Totale			35,85	0,60		241,8

### 12.5. Production des rhizomes (application a la lépidochronologie)

Le poids sec des tronçons de rhizomes, qui correspond a la zone d'insertion des écailles de chaque cycle permet d'évaluer la part de la production qui est consacrée à l'allongement des rhizomes chez *P. oceanica* (PERGENT, 1987).

#### 12.5.1. Variation de la production en fonction du rhizome et de l'année

La production moyenne des rhizomes varie en fonction des années lépidochronologiques. Elle est de  $123,57 \pm 167,97$  mg (Pois sec / rhizome / an) à Ain Franin et de  $107,87 \pm 87,58$  mg (Pois sec / rhizome / an) à Cap Carbon.

En effet BOUDOURESQUE et al, (1983 b) montrent par des expériences de bagages de rhizomes que l'allongement ne cesse qu'au cours de la troisième année (croissance intercalaire).

Pour cela il n'a pas été tenu compte des trois premières années pour le calcul des moyennes de production des rhizomes.

La vitesse de croissance est significativement corrélée à la production du rhizome (BOUDOURESQUE et al, 1983 b ; SEMROUD, 1993 ; RICO-RAIMONDINO, 1995 ; BOUMAZA, 1995) ( $r = 0,51$  à Cap Carbon et  $r = 0,62$  à Ain Franin) (Figures, 69 et 70).

Un rhizome, dont la croissance, est rapide, aura une production moyenne importante. De la même façon, une année au cours de laquelle la vitesse de croissance s'est accélérée se traduira, au niveau des rhizomes par une production annuelle plus conséquente (PERGENT, 1987). Cette relation est vérifiée quel que soit le site étudié.

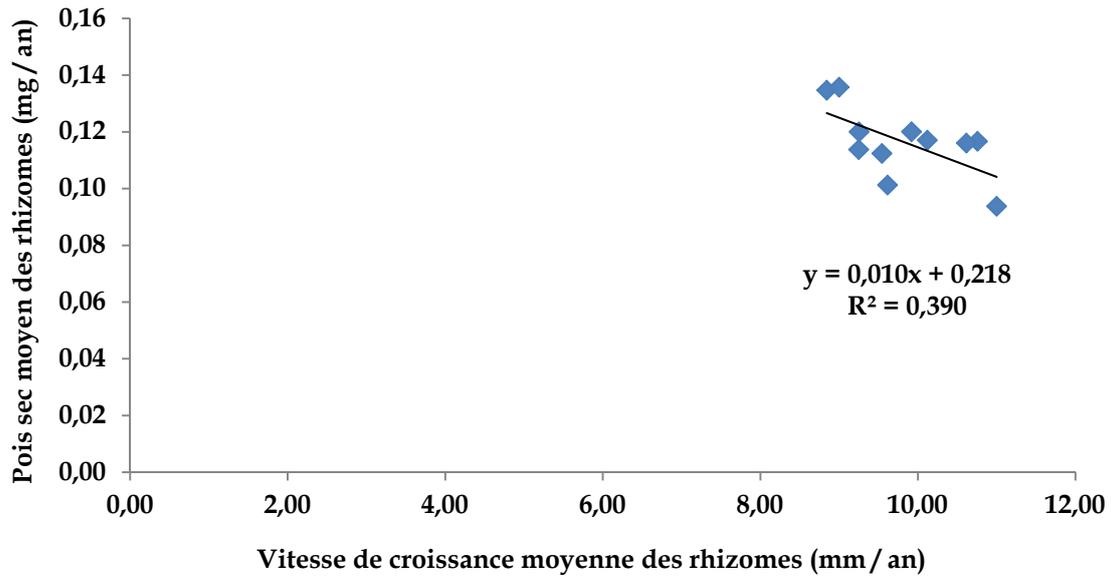


Figure 69 : Corrélation entre le vitesse de croissance et la production moyenne des rhizomes (Ain Franin).

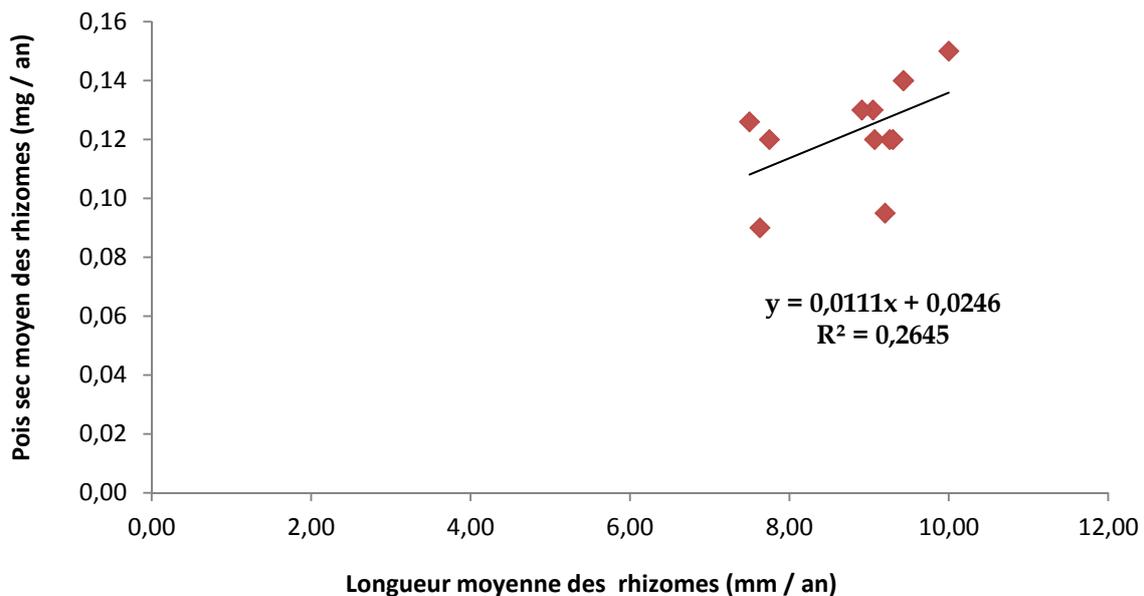


Figure 70: Corrélation entre le vitesse de croissance et la production moyenne des rhizomes (Cap Carbon).

### 12.5.2. Production moyenne de rhizome par mètre carré

La production moyenne est considérable dans nos sites d'étude comparé aux données de la littérature elle est directement liée à la densité de nos herbiers (Tableau 45).

Nos données exprimées en mg PS /rhizome/an se rapprochent de celles de BOUDOURESQUE *et al* (1983 b) et BOUMAZA (1995).

**Tableau 45: Production moyenne de rhizomes orthotropes de *Posidonia oceanica* ; valeurs relevées dans la littérature pour différentes localités du bassin méditerranéen. (mg PS/Rh /an) : biomasse en poids sec du rhizome en milligrammes par rhizome et par an, (mg PS/m<sup>2</sup>/an) : biomasse en poids sec du rhizome en milligrammes par mètre carré et par an ; m : profondeur en mètre.**

Localités	Références	Rhizomes (mg PS/Rh /an)	Rhizomes (mg PS/m <sup>2</sup> /an)	Profondeurs (m)
Calvi (Corse)	BAY, 1978	0,08	38,00	10
Elbu (Corse)	BOUDOURESQUE et al, 1983 b	-----	42,00	8
Anse de Kouali (Algérie)	BOUMAZA, 1995	0,09	34,60	10
Port-Cros (France)	PERGENT-MARTINI et al, 1994	0,08	25,40	11
Banyuls-sur-Mer (France)		0,06	30,90	12
Iles de Rhiau (France)	RICO-RAIMONDINO, 1995	0,07	35,90	10
Plteau de Chèvres (France)		0,09	39,70	10
La Marsa (Algérie)	SEMROUD, 1993	0,12	21,40	8
Tamentfoust (Algérie)		0,79	9,00	
Tabarca, (Espagne)		0,15	66,00	12,5
Port-Princes (CapBon, Tunisie)	KSONTINI et al, 2007	0,07	-----	6,5
Golfe de la Revellata (Baie de Calvi, France)	CHAMPENOIS, 2008	-----	1580	10
<b>Cap carbon (Algérie)</b>	<b>Présent travail</b>	<b>0,11</b>	<b>37,75</b>	<b>10</b>
<b>Ain Franin (Algérie)</b>		<b>0,12</b>	<b>49,79</b>	

### 12.6. Estimation de la production totale

La méthode lépidochronologique a permis d'évaluer séparément la production des rhizomes et la production foliaire (limbe et pétiole).

La production totale est de **387,75** et de **291,59** g Ps / m<sup>2</sup> / an et la production des rhizomes représente **9,73%** et **17,07%** de la production totale, respectivement aux sites d'études de Cap Carbon et d'Ain Franin. Il se confirme bien que la production des rhizomes est extrêmement faible comparée à celle des feuilles (BOUDOURESQUE et al., 1983b). La production des pétioles représente une fraction significative qui est de **24,37%** et **40,08%** respectivement aux sites d'études de Cap Carbon et d'Ain Franin. Les valeurs obtenues sont du même ordre que celles rapportées dans la littérature (Tableau 46).

Quoi qu'il en soit, la comparaison de la production primaire avec celles mesurées dans d'autres sites est très délicate, car les méthodes utilisées sont très variées, et les facteurs susceptibles de modifier la production des herbiers, tels que la lumière, la température, la salinité, la profondeur, l'hydrodynamisme et l'apport en nutriments sont sujets à de nombreuses variations (RICO-RAIMONDINO, 1995).

Tableau 46 : Production primaire de *Posidonia oceanica* (g PS /faisceau /m<sup>2</sup>). M : méthode de marquage ; L : méthode lépidochronologique.

Pays, Localités	Profondeur (m)	Production foliaire		Production de rhizomes		Production totale		Références
		(gPS/faisc./an)	(gPS/m <sup>2</sup> /an)	(mgPS/faisc./an)	gPS/m <sup>2</sup> /an)	PS/m <sup>2</sup> /an		
Algérie-La Marsa Tamentfoust	8 (L)	-----	-----	-----	123,2	21,4	SEMROUD et al. (1990)	
	8 (L)				72,13	8,2		
Algérie-Anse de Kouali	10 (L)	2,52	974	101	39,1	1013	BOUMZA (1995)	
Espagne-Tabarca	12,5 (M)	-----	1086	147	66,0	1152	SANCHEZ-LISAZO (1993)	
France-Banyuls sur Mer	12 (L)	0,92	492	57,8	30,9	523	PERGENT-MARTINI et al (1994)	
Corse-Calvi	10 (M)	1,70	700	-----	34,0	734	BAY (1978)	
Corse-Calvi	10(L)	1,53	734	56,7	27,2	761	PERGENT-MARTINI et al (1994)	
Italie-Laco Ameno	10 (L)	1,32	463	120,	42,1	505	PERGENT et al (1994)	
Alghero*(Juillet)	10 (L)	0,66	342	72,8	37,7	380	RICO et PERGENT (1990) PERGENT et al (1994)	
Olbia*(Février)	10 (L)	0,92	221	34,5	8,3	229	PERGENT-MARTINI et al (1994)	
France-Plateau des Chèvres Ile de Riou	10 (L)	1,40	621	89,5	39,7	661	RICO-RAIMONDINO (1995)	
	10 (L)	0,95	497	68,6	35,9	533		
Algérie- Cap Carbon Ain Franin	10 (L)	1,00	350	107,87	37,75	387,75	Présent travail	
	10 (L)	0,60	241,8	123,57	49,79	291,59		

### 13. Conclusion sur la "production primaire "

- **La production primaire** de *Posidinia oceanica* est estimée pour les deux sites d'étude, à partir de données obtenues au cours d'un cycle annuel. La production foliaire apparait sous-estimée du fait d'un nombre élevé de feuilles cassées (hydrodynamisme, herbivores).

Il aurait été possible de prendre en compte uniquement les feuilles entières ou même utilisée la relation morphométrique entre les pétioles et les limbes et ceci afin d'affiner nos résultats. Ces méthodes demeurent non significatives, comme la démontré RICO-RAIMONDINO en 1995 vu la difficulté d'obtenir des feuilles adultes entières (effectif réduit).

- **La production moyenne des rhizomes** varie en fonction des années lépidochronologiques, elle est de  $123,57 \pm 167,97$  mg (Pois sec/rhizome/an) à Ain Franin et de  $107,87 \pm 87,58$  mg (Pois sec/rhizome/an) à Cap Carbon.
- **La vitesse de croissance** est significativement corrélée à **la production du rhizome** ( $r = 0,51$  à Cap Carbon et  $r = 0,62$  à Ain Franin).
- **La production de rhizomes** estimée par la lépidochronologie, est respectivement de  $37,75$  gPS / m<sup>2</sup> /an à Ain Franin et  $49,79$  gPS / m<sup>2</sup> /an à Cap Carbon. Cette production représente 9 à 17% de la production totale.
- **La production totale** est de **387,75** et de **291,59** g Ps / m<sup>2</sup> / an et la production des rhizomes représente **9,73%** et **17.07%** de la production totale, respectivement aux sites d'études de Cap Carbon et d'Ain Franin

### 14. Présence de *Caulerpa racemosa*

*Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh est une espèce introduite originaire du Sud Ouest de l'Australie (VERLAQUE et al., 2003), est observée pour la première fois en Méditerranée en 1990 devant le port de Tripoli (Libye) (NIZAMUDDIN, 1991) et les côtes de 14 pays Méditerranéens (Albanie, Algérie, Chypre, Croatie, Espagne, France, Grèce, Italie, Libye, Malte, Monaco, Monténégro, Tunisie, et Turquie), ainsi que dans l'Archipel des Canaries (VERLAQUE et al., 2000, 2005; DURAND et al 2002; PIAZZI et al 2005; KLEIN 2007; COTTALORDA et al 2008). *Caulerpa taxifolia* est en mesure de coloniser presque tous les types de substrats, en particulier la matre morte et les prairies à *Posidonia oceanica* (BOUDOURESQUE et al., 1995).

En Algérie, l'espèce a été signalée pour la première fois en 2006 devant le Port d'Alger (OULD AHMED et MEINESZ, 2007), également au niveau de la côte occidentale Algérienne, à la plage de la Salamandre et celle de Stidia (côte Mostaganemoise) (BACHIR BOUIADJRA et al, 2010), sites non loin de la station d'étude Cap Carbon où nous avons remarqué la présence de cette espèce invasive (*Caulerpa racemosa*) à une profondeur de 2 à 7m (Figure 71).

Cela dit on peut facilement la trouver à des profondeurs plus importantes. En effet, BELSHER et al. (2003) ont observée dans la rade d'Hyères et la rade de Toulon (France) à des profondeurs entre 20 et 30 m en formant de véritables « filets » végétaux, à mailles plus ou moins lâches.



**Figure 71 : Présence de *Caulerpa racemosa* (Forsskal) J. Agardh au niveau de Cap Carbon.**

---

---

*CONCLUSIONS GENERALES*

---

---

L'objectif principal de cette étude était de faire un constat qui rend compte de l'état de santé des herbiers à *Posidonia oceanica* présent au niveau de la côte occidentale algérienne. Deux stations sont étudiées en fonction de leurs caractéristiques : éloignement par rapport à l'impact anthropique de la ville d'Arzew et l'hydrodynamisme. En outre, les deux stations considérées sont situées à des profondeurs similaires.

L'herbier à *Posidonia oceanica* peut se présenter sous un certain nombre de types morpho-structuraux qui sont liés à l'hydrodynamisme et/ou à la température des eaux. Nous avons remarqué que les deux herbiers étudiés sont des herbiers de plaine. L'herbier d'Ain Franin se présente sous la forme d'une prairie plus ou moins continue, horizontale. Par contre, celui de Cap Carbon se présente sous la forme d'une prairie continue en pente modérée.

Selon la nouvelle classification de PERGENT et al (2005) les deux herbiers explorés sont considérés en « **bon état** », autrement dit les valeurs de **vitalité** de *P.oceanica* des herbiers étudiés sont **satisfaisantes**. Et présentent des taux de recouvrement respectifs de 75,5% à Cap Carbon et de 70% à Ain Franin.

Toutefois, ces types d'herbiers ne semblent pas avoir d'influence sur la densité des faisceaux, la longueur des feuilles, le nombre de feuilles par faisceau ou la biomasse (BORG et al., 2005).

**L'établissement de transects** au niveau des deux sites d'études a permis de répertorier les principales biocénoses.

**L'étude phénologique montre** que le nombre de feuilles par faisceau, la largeur des feuilles, la longueur des pétioles, le coefficient A (pourcentage de feuilles ayant perdu leur apex) et l'indice foliaire (surface des feuilles par m<sup>2</sup>) sont presque de mêmes grandeurs et ceci malgré que l'herbier de Cap Carbon soit soumis à une importante anthropisation. Ce qui peut nous amener à envisager l'hypothèse que les deux stations étudiées soient soumises à la même courantologie du moment qu'elles sont situées à des profondeurs similaires.

L'évolution des différents **paramètres phénologiques** le long d'un cycle annuel a montré leur caractère franchement saisonnier :

- ✓ Le nombre de feuilles montre un maximum en hiver et un minimum à la fin de l'été, le nombre moyen de feuilles globales (adultes et intermédiaires) est de 5,66 à Cap Carbon et de 5,55 à Ain Franin.
- ✓ Les longueurs des feuilles adultes et intermédiaires sont maximales en été et minimales en hiver.
- ✓ Les longueurs moyennes des pétioles présentent une corrélation significative avec celles de leurs limbes.
- ✓ Les largeurs moyennes des feuilles sont maximales au printemps et minimales en hiver. Cette variation ne coïncide pas avec celles mentionnées dans la littérature.
- ✓ Le coefficient A présente des valeurs importantes supérieure à 43% tout au long de l'année avec des valeurs minimales en hiver allant respectivement de 33,15% à 42,17% au niveau d'Ain Franin et de Cap Carbon.
- ✓ Les valeurs de la surface et de l'indice foliaire sont maximales en été et minimales en automne.

**La biomasse des feuilles et épiphytes** varie tout au long de l'année d'une manière importante et ceci au niveau des deux sites d'étude. Elle est maximale à la fin du printemps et en été, et minimale en hiver.

**L'étude lépidochronologique** nous a permis de calculer :

- ✓ Le nombre de feuilles tombées en l'espace d'une année (nombre d'écailles par cycle), c'est-à-dire le nombre de feuilles formées par an. Il produit en moyenne entre 7,89 et 8,44 écailles par cycle, selon la station considérée. Ces valeurs correspondent à une moyenne de 11 à 12 années. Le nombre d'écailles par cycle et donc le nombre de feuilles par an apparaît comme relativement homogène pour un site donné.
- ✓ La vitesse de croissance des rhizomes est respectivement pour les deux stations de 8,88 et 9,90 mm /an à Cap Carbon et Ain Franin. Cette vitesse est

significativement corrélée à la production du rhizome (50% à Cap Carbon et 62 % à Ain Franin).

Associée à la **phénologie**, la **lépidochronologie** nous permet de suivre le cycle de renouvellement des feuilles :

- ✓ Le nombre moyen de feuilles tombées en une année est de 5,68 feuilles à Cap Carbon et de 6,75 feuilles à Ain Franin. Inversement, il s'est formé en moyenne 5,92 feuilles à Cap Carbon et 5,44 feuilles à Ain Franin. Les feuilles se forment tout au long de l'année avec un ralentissement des méristèmes en hiver.
- ✓ La longévité moyenne des feuilles est de l'ordre de 11,83 mois à Cap Carbon et de 11 mois à Ain Franin et leur vie est étroitement liée à la date d'apparition dans le faisceau.

**La production primaire** de *Posidinia oceanica* est estimée pour les deux sites d'étude, à partir de données obtenues au cours d'un cycle annuel.

- ✓ **La production primaire** foliaire nette en utilisant la totalité des feuilles de rang 1 (entières et cassées) estimée au cours du cycle annuel pour les deux stations, Cap carbon et Ain Franin, est respectivement de 241,8 et 350 g PS/m<sup>2</sup>/an. La production foliaire apparaît sous-estimée du fait d'un nombre élevé de feuilles cassées (hydrodynamisme, herbivores).
- ✓ La lépidochronologie nous permet également d'estimer **la production de rhizomes**. Cette production est de 37,75 et 49,79 g PS /an à Cap Carbon et Ain Franin.
- ✓ Connaissant la production foliaire (limbes et pétioles) et la production des rhizomes, nous en déduisons **la production totale** de ces herbiers. Cette production est respectivement de 387,75 et 291,59 g PS /m<sup>2</sup> à Cap Carbon et Ain Franin.

Cependant, certains descripteurs nécessitent de faire l'objet d'études complémentaires afin de caractériser l'état de santé de l'herbier, telle que la position bathymétrique de sa limite inférieure qui renseigne sur la turbidité moyenne des eaux. L'indice d'épiphytisme qui permet d'estimer séparément la construction de

différents groupes d'épiphytes, et le déchaussement des rhizomes qui renseigne sur le taux de sédimentation.

Une étude pluriannuelle à différente profondeur et la mise en place d'un balisage au niveau de la limite inférieure pour le suivi de l'évolution ou de la régression des deux herbiers s'avère forte intéressante du moment où ces herbiers se trouvent dans des conditions de milieux différentes, Ain Franin se localise dans une zone relativement non impactée, en revanche, le site de Cap Carbon existe à proximité d'une zone fortement polluée station où nous avons remarqué **la présence de l'espèce invasive *Caulerpa racemosa***, qui a tendance à coloniser les écosystèmes perturbés traduisant une réduction de la flore algale autochtone (PIAZZI et CECCHERELLI, 2006; KLEIN 2007; KLEIN et al. 2008). *Caulerpa racemosa* fait partie d'espèces invasives apparues, suite aux changements climatiques et aux effets néfastes de la pollution, dans le bassin Méditerranéen (BOUDOURESQUE et VERLAQUE, 2002).

La question se pose de savoir quel sera l'impact de ces changements sur les posidonies du bassin méditerranéen ? Les herbiers, qui intègrent les fluctuations rapides (naturelles ou non) de la qualité de l'eau, sont de très bons indicateurs de l'état de santé général du milieu côtier (PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1990; PERGENT et al., 1999; GUIDETTI et FABIANO 2000; RUIZ et ROMERO, 2001). Dans ce cadre, l'herbier de posidonies d'Ain franin et Cap Carbon constituent, parmi d'autres, un laboratoire qui doit permettre d'apporter un éclairage objectif à ces questions.

Dans le futur, un plus grand niveau de protection devra être accordé aux phanérogames marines. Les herbiers devraient être intégrés dans les réserves ou les zones protégées afin d'assurer leur protection à long terme et conserver les herbiers actuels. Il sera également important d'identifier les zones d'herbiers d'importance écologique particulière ou pouvant être considérées comme unique ou rare (TURNER et SCHWARZ, 2006).

---

---

*RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES*

---

---

- ACUNTO S., PIAZZI L., BALESTRI E., CINELLI F., 1996. Segnalazioni di fioriture di *Posidonia oceanica* (L.) Delile lungo le coste toscane. *Biol. Mar. Medit.*, 3(1): 437-438.
- AGAWIN, N. S. R. et C. M. DUARTE ., 2002. Evidence of direct particle trapping by a tropical seagrass meadow. *Estuaries* 25, 1205-1209.
- AIT TAYEB, L., 2001-Mesure de la pollution bactériologique des eaux littorales oranaises par l'utilisation d'un bioindicateur, la Moule, *Mytilus galoprovincialis*, Lamark, 1819 pêchée dans la baie d'Oran. *Mémoire de Magister (pollution marine) Université d'Oran*, 80 p.
- ALCOVERRO T, DUARTE CM AND J ROMERO., 1995. Annual growth dynamics of *Posidonia oceanica*: contribution of large-scale versus local factors to seasonality. *Mar. Ecol. Prog. Ser* 120: 203-210.
- ALCOVERRO T, ROMERO J, DUARTE CM, LOPEZ NI 1997. Spatial and temporal variations in nutrient limitation of seagrass *P. oceanica* growth in the NW Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series* 146: 155-161.
- ALCOVERRO T., MANZANERA M., ROMERO J., 1998. Seasonal and age-dependent variability of *Posidonia oceanica* (L.) Delile photosynthetic parameters. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 230(1): 1-13.
- ALCOVERRO T, CERBRIAN E AND E BALLESTEROS., 2001. The photosynthetic capacity of the seagrass *Posidonia oceanica*: influence of nitrogen and light. *J. Exp Mar Biol Ecol* 261: 107-120.
- ALCOVERRO T, CERBIAN E, BALLESTEROS E 2001a. The photosynthetic capacity of the seagrass *P. oceanica* : influence of nitrogen and light. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 261: 107-120.
- ALEEM A.A., 1955. Structure and evolution of the seagrass communities *Posidonia* and *Cymodocea* in the southeastern Mediterranean. *Essays in the natural sciences in honor of Captain Allan Hancock, on the occasion of his birthday, July 26*, 279-298.
- AMI D., BOUDOURESQUE C.F., 2002. Valuing benefits from protecting the seagrass *Posidonia oceanica* beds in the Mediterranean Sea. *Conference on Risk and Uncertainty in Environmental and Resource Economics*, Wageningen University, The Netherlands: 1-7.
- ANONYME, 2000. Action plan for the conservation of marine vegetation in the Mediterranean sea. *CAR-ASP Edit., PNUE publ.*: 1-8.
- ANONYME, 2001a. Projet de lignes directrices pour les Etudes d'impact sur les herbiers marins. *PNUE. CAR/ASP Edit., UNEP(DEC)/MEDWG.177/8*, Tunis: 1-49.
- ARBER A , 1920. Water plant: a study of aquatic angiosperms. *Cambridge University Press*. Reprinted 1972 by Verlag von J. Cramer, Lehre.
- ARDIZZONE GD, PELUSI P 1984. Yield and damage evaluation of bottom trawling on *Posidonia* meadows. International Workshop on *P. oceanica* Beds, Boudouresque CF, Jeudy de Grissac A. et Olivier J. *Edit, GIS Posidonie publ, Fr.*, 1: 63-72.
- 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.
- AUGIER H., BOUDOURESQUE C.F., 1967. Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc national). I. La baie de La Palud. *Bull. Mus. Hist.nat. Marseille*, 27: 93-124.

- AUGIER H., BOUDOURESQUE C.F., 1970a.** Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc national). VI. Le récif-barrière de Posidonies. *Bull. Mus. Hist.nat.* Marseille, 29 :45-125.
- AUGIER H., BOUDOURESQUE C.F., 1979.** Premières observations sur l'herbier de Posidonies et le détritique côtier de l'île du Levant (Méditerranée, France), à l'aide du sous-marin Griffon de la Marine Nationale. *Trav. sci. Parc nation.* Port-Cros, 5: 141-153.
- AUGIER H., ROBERT P., MAFFRE R., 1980.** Etude du régime thermique annuel des eaux au niveau des peuplements de Phanérogames marines de la baie de Port-Cros (îles d'Hyères, Méditerranée, France). *Trav. Sci. Parc Nation.* Port-Cros, 6: 69-131.
- AUGIER H., CRISTIANI G., 1984.** Indice foliaire et biomasse se de l'herbier de Posidonies 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. édit., *GIS Posidonie Publ., Fr.*, 1 : 245-254.
- AUGIER H., MONNIER-BESOMBES G., SIGOILLOT G., 1984b.** Influence des détergents sur *Posidonia oceanica* (L.) Delile. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. International Workshop on *Posidonia oceanica beds*, *GIS Posidonie publ., Fr.*, 1: 407-418.
- 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.
- BALLESTEROS E., 1987.** Estructura i dinàmica del poblament algal de les fulles de *Posidonia oceanica* (L.) Delile als herbeis de Tossa de Mar (Girona). *Bull. Inst. catal. Hist. nat.*, 54(6): 13-30.
- BALLESTEROS E., ALCOVERRO T., CEBRIAN E., FONT X., GARCIA-RUBIES A., ROMERO J., 2005.** Pseudoviviparity, a new form of asexual reproduction in the seagrass *Posidonia oceanica*. *Bot. Mar.*, 48: 175-177.
- BOROWITZKA M.A., LAVERY P.S.& VAN KEULEN M., 2006.** *Epiphytes of Seagrasses*, in Larkum, Orth, and Duarte, *Biology of Posidonia in Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation.*, 2006, Springer, Dordrecht, Netherlands, Chap 19, 441-461.
- BACHIR BOUIADJRA B., BELBACHIR N., YOUCEF BENKADA M., MAAROUF A., et RIADI H., 2010.** la presence de l'algue marine *Caulerpa racemosa* (Forsskal) J. Agardh (*caulerpales, chlorophyta*) devant la côte mostaganemoise (Ouest Algerie). *Acta Botanica Malacitana* 35. 2010 : 1-7.
- BAY D., 1978.** Etude in situ de la production primaire d'un herbier de Posidonies (*Posidonia oceanica* (L.) Delile) de la baie de Calvi-Corse. *Progr. RÈp. Stn. Oceanogr.* Stareso, Univ. Liege, Belg., 18: 6 p non num. + 1-251.
- BAY D., 1979.** Etude in situ de la production primaire d'un herbier de Posidonies, *Posidonia oceanica* (L.) Delile, dans la baie de Calvi. Corse. Rapp. P.V. RÈun. Commiss. Internation. *Explor. Sci. Médit.*, 25-26(4): 201-202.
- BAY D., 1984.** A field study of the growth dynamics and productivity of *P. oceanica* (L.) Delile in Calvi Bay, Corsica. *Aquatic Botany* 20: 43-64.
- BEDHOMME A.L., THELIN I., BOUDOURESQUE C.F., 1983.** Mesure de la production primaire des feuilles de *Posidonia oceanica*: modification de la méthode de ZIFMAN. *Bot. Mar., Germ.*, 26 : 35-43.
- BEER S., BJORK M., GADEMAN R., RALPH P., 2002b.** Measurements of photosynthetic rates in seagrasses. In: Short, T.F., Coles, R. (eds), *Global Seagrass Research Methods*, Elsevier Publishing, The Netherlands: 183-197.

- BELGACEM .W, GHRAIRI.H, BEN HASSINE.O.K ., 2007.** Etude lépidochronologique d'un herbier de Posidonie à Ras Jebel (Nord-Est de la Tunisie) : *Phenologie et diversité des macro invertébrés*. *Proceeding of the 3<sup>rd</sup> Mediterranean syposium on marine végétation* (Marseille, 27-29 March 2007).
- BELHOUARI, B ., 2008.** Etude écotoxicologique du mollusque gastéropode *monodonta turbinata* (born,1780) dans la côte oranaise est. *Mémoire de Magister (pollution marine) Université d'Oran*, 91 p.
- BELKHEDIM, L., 2010.** Contribution à l'étude de la biologie de l'oursin régulier *Paracentrotus lividus* (Lmck, 1816) du Port d'Oran et d'Ain Franine. *Thèse Magister.LRSE.Biol.Poll.Mar.Univ.Oran*, 145p.
- BELSHER T., LUNVEN M., LE GALL E., CAISEY X., DUGORNAY O., MINGANT C., 2003.** Acquisition de données sur l'expansion de *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa* en rade d'Hyères et en rade de Toulon (France). *Oceanologica Acta* 26 (2003) : 161-166 pp.
- BEN D. Van der, 1971.** Les épiphytes des feuilles de *Posidonia oceanica* Delile sur les côtes françaises de la Méditerranée. *Mém. Inst. roy. Sci. nat. Belgique*, 168: 1-101 + 5 tabl. h.t
- BEN ALAYA H., 1972.** Répartition et conditions d'installation de *Posidonia oceanica* Delile et *Cymodocea nodosa* Ascherson dans le golfe de Tunis. *Bull. Inst. Océanographe. Pêche Salammbô*, 2(3): 331-416.
- BEN D. VAN DER., 1971.** Les Epiphytes des feuilles de *Posidonia oceanica* Delile sur les côtes françaises de la Méditerranée. *Mém. Inst.Roy. Sci. Nat. Belgique*, 168: 1-101 + 5 tabl. h.t.
- BENBRAHIM.M, HIROUAKI.T, HAMZA.A., 2007** - Caractérisation lépidochronologique des différents types d'herbiers de Posidonie dans le Golfe de Gabes (Tunisie). *Proceeding of the 3<sup>rd</sup> Mediterranean syposium on marine végétation* (Marseille, 27-29 March 2007).
- BENKABOUCHE, I., 2007.** Contribution à l'étude de la reproduction et de la dynamique des populations d'un Crustacé Décapode *Parapenaeus longirostris* (Lucas, 1846) exploité dans la région Oranaise. *Mémoire de Magister (pollution marine) Université d'Oran*, 68 p.
- BENZOHRAM ., 1993.** Les structures hydrodynamiques le long des côtes algériennes in circulation des eaux et pollution des côtes méditerranéennes des pays du Maghreb. Chouikhi A, Izdar E, Menioui M, *edit INOC, Izmir, Turquie* : 33-45.
- BERNARD G., BOUDOURESQUE C.F., CHARBONNEL E., BONHOMME P., CADIOU G., 2002.** Projet d'aménagement du port du Brusq. Cartographie et état de vitalité des peuplements marins. Conseil Général du Var, *Service des Ports et GIS Posidonie publ., Marseille, Fr.*: 1-87.
- BIANCHI C.N., PEIRANO A., 1995.** Atlante delle Fanerogame marine del la Liguria. *Posidonia oceanica e Cymodocea nodosa*. Centro Ricerche Ambiente Marino, ENEA publ., *La Spezzia, Ital.*: 1-146.
- BIUA MC., CORMACI M., FURUARI G., MAZZELLA L., 1989.** *Posidonia oceanica* off capo passero (Sicily, Italy) : Leaf phenology and leaf algal epiphytic community. International Workshop on *Posidonia oceanica* Beds, Boudouresque C.F., Meinesz A., Fresi E., Gravez V. edit., *GIS Posidonie publ., Fr.*, 2 : 127-143.
- BLANC J.J., JEUDY DE GRISSACA., 1978.** Recherches de géologie sédimentaire sur les herbiers à Posidonies du littoral de la Provence. Contrat CNEXO 76/4043, 77/4074. Centre nation. *Exploit. Océans publ., Fr.*: 1-185, i-vii, 42 pl. h.t.
- BLANC J.J., JEUDY DE GRISSAC A., 1984.** Erosions "sous-marines" des herbiers à *Posidonia oceanica* (Méditerranée). In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 23-28.

- BELL J.D., HARMELIN-VIVIEN M.L., 1982.** Fish fauna of french mediterranean *Posidonia oceanica* seagrass meadows. *Community structure. Tethys*, 10(4), : 337-347.
- BELLAN-SANTINI D., ARNOUX A., WILLSIE A., 1986.** Distribution comparée des crustacés amphipodes de la "matte" d'herbier de Posidonies mort et vivant. *Rapp. P.V. Réunion. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.*, 30(2): 8.
- BELLAN-SANTINI D., LACAZE J. C., POIZAT C., 1994.** Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse, menaces et perspectives. *Muséum National d'Histoire Naturelle publ.*, Paris: 1-246.
- BELSHER T., LUNVEN M., LE GALL E., CAISEY X., DUGORNAY O., MINGANT C., 2003.** Acquisition de données sur l'expansion de *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa* en rade d'Hyères et en rade de Toulon (France). *Oceanologica Acta* 26 (2003) : 161-166 pp.
- BONHOMME P., ROY D., BERNARD G., CHARBONNEL E., DIVETAÏN N., 1999.** Extension de la cartographie des fonds et de l'herbier à *Posidonia oceanica* entre la calanque du Mugel et l'île Verte. *ADES et GIS Posidonie, GIS Posidonie publ.*, Fr.: 1-90.
- BORG J.A., ATTRILL M.J., ROWDEN A.A., SCHEMBRI P.J., JONES M.B., 2005.** Architectural characteristics of two types of the seagrass *Posidonia oceanica* over different spatial scales. *Est. Coast. Shelf Sci.* 62: 667-678.
- BOROWITZKA M.A., LAVERY P.S. et VAN KEULEN M., 2006.** *Epiphytes of Seagrasses*, in Larkum, Orth, and Duarte, *Biology of Posidonia in Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation.*, 2006, Springer, Dordrecht, Netherlands, Chap 19, 441-461.
- BORUM J., SAND-JENSEN K., BINZER T, PEDERSEN O et GREVE T.M., 2006.** Oxygen Movement in Seagrasses, in Larkum, Orth, and Duarte, *Biology of Posidonia in Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation.*, 2006, Springer, Dordrecht, Netherlands, Chap 10, 255-270.
- BOUDOURESQUE C.F., AUGIER H., BELSHER T., COPPEJANS E., PERRET M., 1975.** Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc national). X. La régression du récif-barrière de Posidonies. *Trav. Sci. Parc Nation. Port-Cros*, Fr., 1: 41-46.
- BOUDOURESQUE C.F., THOMMERET, J., THOMMERET, Y., 1980.** Sur la découverte d'un bioconcrétionnement fossile intercalé dans l'herbier à *Posidonia oceanica* de la baie de Calvi (Corse). *Journées d'Etudes sur la Systématique et la Biogéographie en Méditerranée*, CIESM publ, 139-142.
- BOUDOURESQUE C.F., THOMMERET J., THOMMERET Y., 1980d.** Sur la découverte d'un bioconcrétionnement fossile intercalé dans l'herbier à *Posidonia oceanica* de la baie de Calvi (Corse). *Journées Etude Systém. Biogéogr. Médit.*, CIESM publ.: 139-142.
- BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., 1982.** Découverte de l'herbier de Posidonie. *Cah. Parc Nation. Port-Cros*, Fr., 4: 1-79.
- BOUDOURESQUE CF, JEUDY DE GRISSAC A., 1983.** L'herbier à *P. oceanica* en Méditerranée : les interactions entre la plante et le sédiment. *Journal de la Recherche Océanographique*, Fr., 8(2-3): 99-122.
- BOUDOURESQUE C.F., CROUZET A., PERGENT A., 1983.** Un nouvel outil au service de l'étude des herbiers à *Posidonia oceanica* : la lépidochronologie. *Rapp. P.V. Réunion. Comm. internation. Explor. Sci. Médit.*, 28(3): 111-112.

- BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., MEINESZ A., 1984.** Relations entre la sédimentation et l'allongement des rhizomes orthotropes de *Posidonia oceanica* dans la baie d'Elbu (Corse). In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. eds. *International Workshop on Posidonia oceanica beds, GIS Posidonie Publ., Fr.*, 1: 185-191
- BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., MEINESZ A., 1985a.** Un nouveau type d'herbier à *Posidonia oceanica* : l'herbier de colline. *Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. Sci. Médit.*, 29(5): 173-175.
- BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., LEFÈVRE J.R., 1985b.** Cartographie des peuplements benthiques marins de Corse. I. La formation récifale à *Posidonia oceanica* de Saint-Florent. *Ann. Inst. Océanogr.*, 61(1): 27-38.
- BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., 1986.** Biomasse dans l'herbier à *Posidonia oceanica*. *Trav. Sci. Parc Nat. Rég. Rés. Nat. Corse*, 2: 14-15.
- BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., MEINESZ A., 1986a.** Chronologie de l'édification d'une colline de Posidonies. *Trav. Sci. Parc Nat. Rég. Rés. Nat. Corse*, 2: 3-12.
- BOUDOURESQUE C.F., LEFÈVRE J.R., MEINESZ A., 1986b.** Cartographie du carré permanent de la marina d'Elbu. *Trav. Sci. Parc Nat. Rég. Rés. Nat. Corse*, 2: 24-33.
- BOUDOURESQUE C.F., PERGENT G., FRANCOUR P., HARMELIN-VIVIEN M., JANGOUX M., MAZZELLA L., PANAYOTIDIS P., PERGENT-MARTINI C., RAMOS-ESPLA R., ROMERO J., SCIPIONE M.B., 1990.** Le COST 647 - Posidonia project. *Posidonia Newsletter, Fr.*, 3 (2) : 27-34.
- BOUDOURESQUE C.F., BALLESTEROS E., BEN MAIZ N., BOISSET F., BOULADIER E., CINELLI F., CIRIK S., CORMACI M., JEUDY DE GRISSAC A., LABOREL J., LANFRANCO E., LUNDBERG B., MAYHOUB H., MEINESZ A., PANAYOTIDIS P., SEMROUD R., SINNASSAMY J.M., SPAN A., VUIGNIER G., 1990a.** Livre rouge "Gérard Vuignier" des végétaux, peuplements et paysages marins menacés de Méditerranée. *Programme des Nations Unies pour l'Environnement publ* : 1-250.
- BOUDOURESQUE C.F., BIANCONI C.H., MEINESZ A., 1990c.** Live *Posidonia oceanica* in a coralligenous algal bank at Sulana, Corsica. *Rapp. P.V. Réun. Commiss. Internation. Explor. Sci. Médit.* 32(1): 11.
- BOUDOURESQUE C.F., AVON M., GRAVEZ V., 1991.** Les espèces marines à protéger en Méditerranée. *GIS Posidonie Publ., Fr.*: 1-448.
- BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., LEDOYER M., VITIELLO P., 1994b.** Les herbiers à Phanérogames marines. In: Bellan-Santini D., Lacaze J.C., Poizat C. eds. Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse, menaces et perspectives. *Muséum National d'Histoire Naturelle Publ., Paris, Fr.*: 98-118.
- BOUDOURESQUE C.F., GRAVEZ V., MEINESZ A., MOLENAAR H., PERGENT G., VITIELLO P., 1995b.** L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée : protection légale et gestion In pour qui la méditerranée au 21.- Villes des rivages et environnement littoral en Méditerranée : *Actes du colloque scientifique Okeanos*, Maison de l'Environnement de Montpellier publ., Fr.: 209-220.
- BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., RIBERA M.A., BALLESTEROS E., 1995c.** Spread of the green alga *Caulerpa taxifolia* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean: possible consequences of a major ecological event. *Scientia marina*, 59(suppl. 1): 21-29.
- BOUDOURESQUE C.F., 1996.** Impact de l'homme et conservation du milieu marin en Méditerranée. 2ème édition. *GIS Posidonie Pub.* (ISBN 2 905-54-21-4): 1-243.

**BOUDOURESQUE C.F., VAN KLAVEREN M.C., VAN KLAVEREN P., 1996.** Proposal for a list of threatened or endangered marine and brackish species (plants, invertebrates, fish, turtles and mammals) for inclusion in appendices I, II and III of the Bern Convention. *Council of Europe, Document S/TPVS96/TPVS48E*, 96A: 1-138.

**BOUDOURESQUE C.F., 2002b.** Concilier protection et usages du milieu marin : l'expérience du Parc national de Port-Cros. *Rev. Soc. Anciens Elèves Ecole polytechnique, Jaune Rouge*, 575: 31-35.

**BOUDOURESQUE C.F., 2002c.** Protected marine species, prevention of species introduction and the national environmental agencies of Mediterranean countries: professionalism or amateurishness ? *In: Actes du congrès international "Environnement et identité en Méditerranée"*, Corte, 3-5 July 2002, Université de Corse Pascal Paoli publ., 4 : 75-85.

**BOUDOURESQUE C.F., 2003.** The erosion of Mediterranean biodiversity. *In: Rodríguez-Prieto C., Pardini G. edits. The Mediterranean Sea: an overview of its present state and plans for future protection. Servei de Publicacions de la Universitat de Girona: 53-112.*

**BOUDOURESQUE C.F., 2004.** Marine biodiversity in the Mediterranean : status of species, populations and communities. *Sci. Rep. Port- Cros natl Park* 20: 97-146.

**BOUDOURESQUE, C.F., 2006.** Les herbiers à *Posidonia oceanica*. *In : Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica.* BOUDOURESQUE, C.F., BERNARD, G., BONHOMME, P., CHARBONNEL, E., DIVIACCO, G., MEINESZ, A., PERGENT, G., PERGENT-MARTINI, C., RUITTON, S., TUNESI, L., *edit., RAMOGE pub., France, 10-24.*

**BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., MEINESZ A., 1984.** Relations entre la sédimentation et l'allongement des rhizomes orthotropes de *Posidonia oceanica* dans la baie d'Elbu (Corse). *In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. Edits. International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 185-191.

**BOUDOURESQUE C.F., 2006.** in RAMOGE, 2006 *Préservation et conservation des herbiers à posidonia oceanica* , Ramonge pub : 1-202 ISBN 2-905540-30-3, www.ramonge.org.

**BOUDOURESQUE C.F., M.VERLAQUE., 2002.** Biological pollution in the Mediterranean Sea: invasive versus introduced macrophytes. *Mar. Pol. Bull* 44: 32-38.

**BOUDOURESQUE C.F., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONNEL E., DIVIACCIO G., RUITON S., TUNESI L., 2006.** Présentation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. *Ramoge Pub Monaco* : 220p.

**BOUKHELF K., 2012.** Données biométriques, indices physiologiques et dosage des métaux lourds chez l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) dans la région de Mostaganem (Algérie).

**BOUMAZA.S., 1995.** Phénologie, biomasse, lépidochronologie et production primaire de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L) Delile de l'anse de Kouali, Tipaza (Algérie).

**BOUMAZA.S et SEMROUD.R., 2000.** Surveillance de l'herbier à *Posidonia oceanica* d'el Djamilia (Algérie). *Actes du premier symposium méditerranéen sur la végétation marine* (Ajaccio, 3-4 octobre 2000).

**BOURCIER M., 1979.** Contribution à la connaissance des sédiments marins entre le cap Croisette et le cap d'Alon (Est de Marseille) et de leur Evolution de 1966 à 1972.

**BOURCIER M 1989.** Régression des herbiers à *P. oceanica* (L.) Delile, à l'Est de Marseille, sous l'action conjuguée des activités humaines et des modifications climatiques. *International Workshop on*

Posidonia beds, Boudouresque CF, Meinesz A, Fresi E, Gravez V *édit.*, *GIS Posidonie publ.*, Fr., 2: 287-299.

**BOUTIBA, Z., 1992.** Les mammifères marins d'Algérie statut, Répartition, Biologie et Ecologie. *These. Doct. Etat.* Université d'Oran, 512 p.

**BOUTIBA, Z., TALEB, Z., ABI-AYAD S.M.E.A, 2003.** Etat de la pollution marine de la côte oranaise. Edt. Dar El Gharb, 69 p.

**BOUTIBA, Z., 1998.** Biodiversité marine en Méditerranée du Sud-Ouest. *Revue Internationale Médondes.* Edit. PNUE N° 37 / 14-15.

**BORG J.A., ATTRILL M.J., ROWDEN A..A., SCHEMBRI P.J., JONES M.B., 2005.** Architectural characteristics of two types of the seagrass *Posidonia oceanica* over different spatial scales. *Est. Coast. Shelf Sci.* 62: 667-678.

**BOROWITZKA M.A., LETHBRIDGE R.C., 1989.** Seagrass epiphytes. In: Larkum A.W.D., McComb A.J., Shepherd S.A., *édits.* *Biology of seagrasses, Aquatic Plant Studies 2.* Elsevier publ., Amsterdam: 458-499.

**BOROWITZKA M.A., LAVERY P.S.& VAN KEULEN M., 2006.** *Epiphytes of Seagrasses*, in Larkum, Orth, and Duarte, *Biology of Posidonia in Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation.*, 2006, Springer, Dordrecht, Netherlands, Chap 19, 441-461.

**BRISTOW JM, WHITCOMBE M., 1971.** The role of the roots in the nutrition of aquatic vascular plants. *American Journal of Botany*, 58: 8-13.

**BUIA MC.,ZUPO V ;MAZZELLA L .,1992.** Primary production and growth dynamics in *Posidonia oceanica* .*Mar.Ecol.Germ* .13 (1) : 2-16.

**BUIA M C., GAMBI M C., DAPPIANO M., 2004.** Seagrass systems. In: Gambi M.C., Dappiano M. *édits.* *Mediterranean marine benthos: a manual of methods for its sampling and study.* *Biol. mar. Medit.* 11(suppl. 1): 133-183.

**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.

**CALVO S., FRADÀ-ORESTANO C., 1984.** L'herbier à *Posidonia oceanica* des côtes siciliennes : les formations récifales du Stagnone. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. *édits.* *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 29-37.

**CAMPEY ML, WAYCOTT M and GA KENDRICK 2000.** Re-evaluating species boundaries among members of the *Posidonia ostenfeldii* species (Posidoniaceae) – *morphological and genetic.* *Aquat Bot* 66: 41-56.

**CANALS M., et BALLESTEROS E., 1997.** Production of carbonate particles by phytobenthic communities on the Mallorca-Menorca shelf, northwestern Mediterranean, Sea Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, Volume 44, Issues 3-4, 1997, 611-629.

**CANCEMI G., DE FALCO G., PERGENT G., 2000.** Impact of a fish farming facility on a *Posidonia oceanica* meadow. *Biol. Mar. Medit.* 7(2): 341-344.

**CAPIOMONT A, SANDMEIER M, CAYE G, MEINESZ A 1996.** Enzyme polymorphism in *P. oceanica*, a seagrass endemic to the Mediterranean. *Aquatic Botany* 54(4): 265-277.

- CARLOTTI P., 1986.** Mémorisation du cadmium et de radioéléments par les rhizomes et les écailles de *Posidonia oceanica*. DEA Océanographie, Univ, Aix- Marseille II, Fr. : 1- 46.
- CAR/ASP, 2003.** Etat de mise en oeuvre du protocole ASP. Plan d'action pour la Méditerranée. Sixième réunion des points focaux nationaux pour les ASP, UNEP(DEC)/MED WG. 232/3, Marseille, 17-20 juin 2003 : 1-89.
- CAYE G 1980.** Sur la morphogenèse et le cycle végétatif de *P. oceanica* (L. Delile). Université d'Aix-Marseille. Thèse de doctorat. 121pp.
- CAYE, G., 1982.** Etude sur la croissance de la Posidonie, *Posidonia oceanica* (L.) Delile, formation des feuilles et croissance des tiges au cours d'une année. *Téthys, Fr.*, 10 (3): 229-235.
- CAYE G., ROSSIGNOL M., 1983.** Etude des variations saisonnières de la croissance des feuilles et des racines de *Posidonia oceanica*. *Mar. Biol.*, 75 : 79-88.
- CAYE G 1989.** Mise en évidence d'un polymorphisme sur des jeunes plants de *P. oceanica*. International Workshop on *P. oceanica* Beds, Boudouresque CF, Meinesz A, Fresi E & Gravez V. Edit, *GIS Posidonie publ, Fr.*, 2: 77-84.
- CAYE G., MEINESZ A., 1984.** Observations sur la floraison et la fructification de *Posidonia oceanica* dans la baie de Villefranche et en Corse du Sud In: BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., OLIVIER J. edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 193-201.
- CEBRIAN J., DUARTE C.M., 2001.** Detrital stocks and dynamics of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile in the Spanish Mediterranean. *Aquat. Bot.* 70: 295-309.
- CECCHERELLI G., CINELLI F., 1997.** Interazioni tra *Caulerpa taxifolia* e le Fanerogame *Cymodocea nodosa* e *Posidonia oceanica*. In: Cossu A., Meloni M.M. edits. Atti del Convegno internazionale "Introduzione di nuove specie nel Mediterraneo e compatibilità con quelli presenti", Cagliari, 28 nov. 1996, Poseidon publ., Sardinia, Ital.: 48-49.
- CECCHERELLI G., CINELLI F., 1998.** Contrasting effects of *Posidonia oceanica* on *Caulerpa taxifolia*. In: Boudouresque C.F., Gravez V., Meinesz A., Palluy F. edits. *Third international workshop on Caulerpa taxifolia*. GIS Posidonie publ., Fr.: 209-218.
- CHAMPENOIS.W., 2008.** Etude du métabolisme, à l'échelle de l'écosystème, de l'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delille en Baie de Calvi. *Mémoire Master en Océanographie. Université de Liège.* 77 pp.
- CHARBONNEL E., BONHOMME P., BERNARD G., GRAVEZ V., 1996.** Etude des herbiers de Posidonies et autres types de fonds de la quatrième anse du Mourillon au cap Brun et de la Grande Jetée au port Saint-Louis (Toulon, Var). Ville de Toulon, Direction Urbanisme & GIS Posidonie. *GIS Posidonie publ.*, Fr.: 1-103.
- CHARBONNEL E., BONHOMME P., BERNARD G., CADIOU G., BOUDOURESQUE C.F., 2002.** Projet d'aménagement du port de la Madrague de Giens. Cartographie et état de vitalité des herbiers et du récif-barrière de Posidonie. Conseil Général du Var & GIS Posidonie, *GIS Posidonie publ.*, Fr.: 1-62.
- CHESSA L.A., FRESI E., SOGGIU L., 1983.** Preliminary data on consumers food web in a *Posidonia oceanica* (L.) Delile bed. *Rapp. P.V. Réunion. Commiss. Internation. Explor. Sci. Médit.* 28(3): 159-160.
- CHESSA L.A., FUSTIER V., FERNANDEZ C., MURA F., PAIS A., PERGENT G., SERRA S., VITALE L., 2000.** Contribution to the knowledge of "banquettes" of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in Sardinia island. *Biol. Mar. Médit.* 7(2): 35-38.

CHISHOLM J.R.M., FERNEX F.E., MATHIEU D., JAUBERT J.M., 1997. Waste-water discharge, seagrass decline and algal proliferation on the Côte d'Azur. *Mar. Pollut. Bull.* 34: 78-84.

CINELLI F., CORMACI M., FURNARI G., MAZZELLA L., 1984. Epiphytic macroflora of *Posidonia oceanica* (L.) Delile leaves around the island of Ischia (Gulf of Naples). In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 91-99.

CINELLI, F., PARDI, G., PAPI, I., 1995. Plant biology. In : *La Posidonia oceanica*. Cinelli, F., Fresi, E., Lorenzi, C., Mucedola, A. Edit. *Revista Marittima pub.*, Italie, 17-27.

CLAIREFOND P., JEUDY DE GRISSAC A., 1979. Description et analyse des structures sédimentaires en milieu marin: recensement de quelques exemples dans l'herbier de Posidonies autour de l'île de Port-Cros (Parc national). *Trav. sci. Parc nation. Port-Cros* 5:79-104.

COI, 1997. Guide méthodologique d'aide à la gestion intégrée de la zone côtière. Commission océanographique intergouvernementale, UNESCO, *Manuels et Guides*, 36 : 47p.

COLOMBO PM, RASCIO N, CINELLI F 1983. *P. oceanica* (L.) Delile: a structural study of the photosynthetic apparatus. *PSZNI Marine Ecology* 4: 133-145.

CONNOLLY R.M., HINDELL J.S., GORMAN D., 2005. Seagrass and epiphytic algae support nutrition of a fisheries species, *Sillago schomburgkii*, in adjacent intertidal habitats. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 286: 69-79.

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 Doct.*, Univ. Aix-Marseille 3, Fr.: 1-150 + ix pp + 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.

CROUZET A., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., PERGENT G., 1983. Evidence of the annual character of cyclic changes of *Posidonia oceanica* scale thickness (erect rhizomes). *Rapp. P.V. Réunion. Commiss. internation. Explor. Sci. Médit.* 28(3): 113-114.

COSTANZA R., ARGE R., DE GROOT R., FARBER S., GRASSO M., HANNON B., LIMBURG K., NAEEM S., O'NEILL R.V., PARUELO J., RASKIN R.G., SUTTON P., VAN DEN BELT M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.

COTTALORDA, J.M., GRATIOT, P.A., MANNONI et VAUGELAS., 2008. Evaluation cartographique de l'expansion des Caulerpes envahissantes le long du littoral Monégasque et de ses parages immédiat (Cap d'Ail-Cap Martin). Campagne 2006-2008. *Accord RAMOGE et Université de Nice-Sophia Antipolis* (E.A.4228 (ECOMERS) Publ.46 p.

CUOMO V., VANZANELLA F., FRESI E., MAZZELLA L., SCIPIONE M.B., 1982. Microflora delle Fanerogame marine dell'isola d'Ischia : *Posidonia oceanica* (L.) Delile e *Cymodocea nodosa* (Ucria) Aschers. *Bol. Mus. Ist. Biol. Univ. Genova* 50(suppl.): 162-166.

DAGNELIE P., 1973-1975. Théorie et méthodes statistiques (2 vol). *Presses agronomiques de Gembloux publ.*, Belg. : 1-378, 1-463.

DARMOUL B., HADJ ALI SALEM M., VITIELLO P., 1980. Effet des rejets industriels de la Région de Gabès (Tunisie) sur le milieu marin récepteur. *Bull. Inst. Nat. Sci. Techn. Océanogr. Pêche Salambô* 7: 5-61.

- DAUBY.P et POULICEK.M., 1995. Methods for removing epiphytes from seagrasses: SEM observations on treated leaves. *Aquat Bot* 52: 217-228.
- DELGADO O., RUIZ J., PEREZ M., ROMERO J., BALLESTEROS E., 1999. Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean bay: seagrass decline after organic loading cessation. *Oceanol. Acta* 22(1): 109-117.
- DEN HARTOG C 1970. The Seagrasses of the World. Verhandelingen der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Afd. Natuurkunde. *Tweede Reeks, Deel 59, N°1. North Holland Publ., Netherl.* 275pp.
- DEN HARTOG. C ET KUO, J., 2006. Taxonomy and biogeography of seagrasses . in *seagrasses biology ,ecology, and conservation* (eds .A.W.Larkum,R.J.Orth and C.M.Duarte), Springer, Dordrecht,pp.1-23.
- DEN HARTOG C. et JOHN KUO J., 2006. *Taxonomy and Biogeography of Seagrasses*, in Seagrasses, in Larkum, Orth, and Duarte, *Biology of Posidonia in Seagrasses: Biology, Ecology and Concerovation.*, 2006, Springer, Dordrecht, Netherlands, Chap 1, 1-23.
- DERMECHE. S., 1998. Teneurs en métaux lourds (Cd, Pd, Cu, Zn, et Ni) chez l'oursin commun *Paracentrotus lividus* (Lmk) pêché dans le golfe d'Arzew, *Thèse de Magister Univ.Oran*: 132 pp
- DERMECHE. S., 2010. Indices physiologiques, métaux lourds et bioessais chez l'oursin commun *Paracentrotus lividus* (Lmck ,1816) de la côte oranaise (Algérie Ouest).*Thèse. Doct. Univ. Oran*: 131pp+Annexes.
- DITATO P., 2000. A lepidochronological study of *Posidonia oceanica*: further analysis of annual leaf production tune series.*Biol.Mar.Mediterr*: 39-42.
- DIVIACCO.G., SPADA E., VIRNO-LAMBERTI C., 2001. Le Fanerogame marine del Lazio. Descrizione e cartografia delle praterie di *Posidonia oceanica* e dei prati di *Cymodocea nodosa*. *ICRAM publ., Ital.*: 1-113 + 14 cartes h.t.
- DODGE Y ., 1993.Statistique.Dictionnaire encyclopédique.*DUNOD Edit., Paris* : 1 – 104.
- DOLCE.T, ZIANTONI.S, SCARDI.M, FRESI.E. 1996. Studio lepidochronologico di *Posidonia oceanica* (L) Delile in alcuni del Mar Tirreno.*Atti del VII Congresso della societa Italiana di Ecologia.*, 11-14 Settembre 1996,Napoli, 17: 301 – 303.
- DREW E.A., 1971. Botany. Underwater Science. An introduction to experiments by divers. *Woods et Lithgoe édit., London*, 59 p.
- DREW E.A., JUPP B.P., 1976. Some aspects of the growth of *Posidonia oceanica* in Malta. In: Drew E.A., Lythgoe, Woods edits. *Underwater Research. Academic Press Publ., London*: 357-367.
- DREW E.A., 1978. Factors affecting photosynthesis and its seasonal variation in the seagrass *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ashres. and *Posidonia oceanica* (L.)Delile in the Mediterranean.*J. esp. Mar. Biol. Ecol.*, 31 : 173 – 194.
- DUARTE C.M. et C.L. CHISCANO, 1999. *Seagrass biomass and production : a reassessment. Aquatic Botany* 65 (1999),159-174.
- DUARTE C.M., KIRKMAN H., 2001. Methods fort he measurement of seagrass abundance and depth distribution. In: Short F.T., Coles R.G. edits. *Global seagrass research methods*. Elsevier Scientific publ., Amsterdam: 141-153.

- DURAND,C., M.MANUEL, C.F.BOUDOURESQUE, A.MEINESZ, M.VERLAQUE et Y.LEPARCO 2002. Molecular data suggest a hybrid origin for the invasive *Caulerpa racemosa* (*Caulerpa taxifoli*, *Caularpales*, *Chlorophyta*) In the Mediterranean sea. *Journal of Evolutionary Biology* 15: 122- 133.
- ELKALAY K., 2002. Modélisation de l'écosystème de la baie de Calvi (Méditerranée Nord-occidentale). *Doctorat Université de Liège*: 1-195.
- 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.
- EL ASMI-DJELLOULI Z., DJELLOULI A.S., ABDELJAOUED S., 2000. Présentation des herbiers de la baie de Monastir (Tunisie). *Proceedings of the first Mediterranean symposium on marine vegetation*. RAC/SPA publ., Tunis: 132-135.
- ELDRIDGE PM et JW MORSE 2000. A diagenic model for sediment-seagrass interactions. *Mar .Chem* 70: 89-103.
- EUGENE, C., 1978. Etude de l'épifaune des herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile du littoral provençal. *Thèse Doct. Océanol.*, Univ. Aix-Marseille II, pp.1- 117.
- FARGHALY M.S., DENIZOT M., 1984. *Posidonia oceanica* (L.) Delile on the eastern coast of Libya. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 419-422.
- FERRAT, L., PERGENT-MARTINI, C., ROMEO, M., 2003b. Assessment of the use of biomarkers in aquatic plants for the evaluation of environmental quality : application to seagrasses. *Aquatic Toxicology* 65, 187-204.
- FRADA'ORESTANO C., CALVO S., ARICO S ., 1993. Structural analysis of *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile meadow in the Bay of Mondello (Sicily, Italy) .*Posidonia Newsletter* , 4(2) : 21-30.
- FRANCOUR P., 1990. Dynamique de l'écosystème à *Posidonia oceanica* dans le Parc national de Port-Cros. Analyse des compartiments "matte", litière, faune vagile, échinodermes et poissons. *Thèse. Doct. Océanol.*, Univ. Paris VI, Fr.: 1-373.
- FRANCOUR P., 1997. Fish assemblages of *Posidonia oceanica* beds at Port Cros (France, NW Mediterranean): Assessment of composition and long-term fluctuations by visual census. *Mar. Ecol., PSZNI* 18(2): 157-173.
- FRANCOUR P (2001). L'impact du mouillage forain sur l'herbier de Posidonie. *Laboratoire Environnement Marin Littoral*. 14 pp.
- FRANKIGNOULE M., DISTECHE- A., 1984. CO sub (2) chemistry in the water column above a *Posidonia* seagrass bed and related air-sea exchanges. *Oceanol. Acta, Fr.*, 7 (2) : 209-218.
- FREDJ G., BELLAN-SANTINI D., MEINARDI M., 1992. Etat des connaissances sur la faune marine méditerranéenne. *Bull. Inst. Océanographe*. Monaco, num. spécial 9: 133-145.
- GACIA E., DUARTE C.M., 2001. Sediment retention by a Mediterranean *Posidonia oceanica* meadow: the balance between deposition and resuspension. *Est. Coast. Shelf Sci.* 52: 505-514.
- GAMBI M.C., BUIA M.C., CASOLA E., SCARDI M., 1989. Estimates of water movement in *Posidonia oceanica* beds: a first approach. In: Boudouresque, C.F., Meinesz A., Fresi E., Gravez V. edits.

*International workshop on Posidonia beds*. GIS Posidonie publ., Fr., 2: 101-112. *GIS Posidonie publ.*, Fr., 2: 69-76.

**GAMBI M.C., LORENTI M.,RUSSO C.F., SCIPIONE M.B., ZUPO V ., 1992.** Depth and seasonal distribution of some groups of the vagile fauna of the *Posidonia oceanica* leaf stratum : structural and trophic analysis. *Marine Ecology PSZN*, 13 (1) : 17-39.

**GAMULIN-BRIDA H., POZAR A., SIMUNOVIC A., SPAN A., 1973.** Les conséquences biologiques de la pollution des eaux marines sur les biocénoses benthiques. Groupement des biocénoses benthiques de la mer Adriatique du point de vue de pureté des eaux. *Atti Coll. nternazion. Oceanogr. Medit.* 5: 137-159.

**GANTEAUME A, BONHOME P, BERNARD G, POULAIN M, BOUDOURESQUE CF., 2005.** Impact d'ancrage des bateaux de plaisance sur la prairie à *Posidonia oceanica* dans le Parc national de Port-Cros (Méditerranée-occidentale).*Sci.Rep.Port Cros nati.Park*, Fr., 21 : 147-162

**GELIN A., ARIGONI S., FRANCOUR P., HARMELIN J.G., HARMELIN-VIVIEN M., 1998.** Réponse des populations de certains poissons Serranidae et Labridae à la colonisation des fonds par *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. In: Boudouresque C.F., Gravez V., Meinesz A., Palluy F. edits. *Third international workshop on Caulerpa taxifolia*. GIS Posidonie publ., Fr.: 197-208.

**GHODBANI, T., 2001.** Extension urbanistique dans le littoral d'Oran et ses effets sur l'environnement. *Mémoire de Magister*. Université d'Oran. Département de géographie et de l'aménagement du territoire.

**GIORGI J., THELIN I., 1983.** Phénologie, biomasse et production primaire de *Posidonia oceanica* (feuilles et épiphytes) dans la baie de Port-Cros. *Mémoire Diplôme d'Etudes Approfondies en Ecologie méditerranéenne*, Univ. Aix-Marseille III, Fr.: 1-126.

**GIRAUD G., 1977a.** *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., 1977b.** Essai de classement des herbiers de *Posidonia oceanica* (Linné) Delile. *Bot. Mar.* 20(8): 487-491.

**GIRAUD G., 1977c.** Recensement des floraisons de *Posidonia oceanica* (Linné) Delile en Méditerranée. *Rapp. P.V. Réunion. Commiss. internation. Explor. Sci. Médit.* 24(4): 126-130.

**GIRAUD G ., 1979.** Sur une méthode de mesure et de comptage des structures foliaires de *P. oceanica* (Linnaeus) Delile. *Bulletin du Museum d'Histoire Naturelle*, Marseille Fr. 39: 33-39.

**GIRAUD G., BOUDOURESQUE C.F., CINELLI F., FRESI E., MAZZELLA L., 1979.** Observations sur l'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile autour de l'île d'Ischia (Italie). *G. bot. ital.* 113(4): 261-274.

**GOBERT. S ., 2002.** Variations spatiale et temporelle de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile (Baie de La Revellata-Calvi Corse). *Thèse doctorat en Océanologie* Université de Liège Belgique pp : 207.

**GOBERT S., BELKHIRIA S., DAUBY P., HAVELANGE S., SOULLARD M., BOUQUEGNEAU J.M., 1995.** Variations temporelles de la phénologie et de la composition biochimique de la Phanérogame marine *Posidonia oceanica* en baie de Calvi. *Bull. Soc. Royale Sci. Liège* 64(4-5): 263-284.

**GOBERT S., LEJEUNE P., LEPOINT G., BOUQUEGNEAU J.M., 2005.** C, N, P concentrations and requirements of flowering *Posidonia oceanica* shoots. *Hydrobiologia* 533: 253-259.

**GOBERT S, LEJEUNE P, LEPOINT G, BOUQUEGNEAU JM 2005a.** C, N, P concentrations and requirements of flowering *P. oceanica* shoots. *Hydrobiologia* 533: 253-259.

GOBERT S., MARION L., VELIMIROV B., PERGENT G., LEPOINT G., BOUQUEGNEAU J-M, DAUBY P, PERGENT-MARTINI C., WALKER D.I., 2006. *Biology of Posidonia*, in Larkum, Orth, and Duarte, (2006), *Biology of Posidonia in Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation.*, 2006, Springer, Dordrecht, Netherlands, Chap 17, 387-408.

GREEN EP, SHORT FT 2003. *World Atlas of Seagrasses: Present Status and Future Conservation*. E. P. Green and F. T. Short (eds.). *The University of California Press, Berkeley*. 310 pp.

GRENIER C., 1860. Recherches sur *Posidonia caulini* Koenig. *Bull. Soc. Bot. Fr.* 7(5-6): 362-367.

GRIMES S., BOUTIBA Z., BAKALEM, A., BOUDERBALA,M.,BOUDJLLAL,B., BOUMAZA, S.,BOUTIBA M., GUEDIOURA, A.,HAFFERSSAS, A.,HEMIDA, F., KAIDI N.,KHELIFI H.,KERZABI, F., MERZOUG, A., NOUARA, A., SELLALI, B., SELLALI MERABTINE, H., SEMROUD, R., SERIDI H., TALEB M.Z., TOUAHRIA, T., 2004. Biodiversité Marine et littorale Algérienne. *Edt. SONATRACH-Ed. DIWAN, Alger-* 362p.

GUIDETTI P et M FABIANO., 2000. The use of lepidochronology to assess the impact of terrigenous discharges on the primary leaf production of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar Pol. Bull* 40: 449-453.

GUIDETTI P., 2001. Detecting environmental impacts on the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile: the use of reconstructive methods in combination with "beyond BACI" designs. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 260: 27-39.

GUILCHER A., 1979. *Precis d'hydrologie marine et continentale*. Masson, 2<sup>ème</sup> édit, Paris : 1-334.

HARMELIN J.G., LABOREL J., 1976. Note préliminaire sur la morphologie de l'herbier profond de Posidonies *Posidonia oceanica* (Linné) Delile, à Port-Cros. *Trav. sci. Parc nation. Port-Cros, Fr.*, 2: 105-113.

HARMELIN-VIVIEN M., 1982. Ichtyofaune des herbiers de Posidonies du Parc national de Port-Cros: I. Composition et variations spatiotemporelles. *Trav. sci. Parc nation. Port-Cros, Fr.*, 8: 69-92.

HARMELIN-VIVIEN M.L., 1984. Ichtyofaune des herbiers de Posidonies du Parc naturel régional de Corse. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 291-301.

HARMELIN-VIVIEN M., FRANCOUR P., HARMELIN J.G., 1999. Impact of *Caulerpa taxifolia* on Mediterranean fish assemblages: a six year study. In: *Proceedings of the workshop on invasive Caulerpa in the Mediterranean*. Heraklion, Crete, Greece, 18-20 March 1998. UNEP publ., Athens, Greece: 127-138.

HARTOG C. DEN, 1970. *The sea-grasses of the world*. North Holland publ. Co, Amsterdam, Pays-Bas: 1-275 + 63 pl. h.t.

HAVELANGE S., LEPOINT G., DAUBY P., BOUQUEGNEAU J.M., 1997. Feeding of the sparid fish *Sarpa salpa* in a seagrass ecosystem : Diet and carbon flux. *Mar. Ecol., PSZNI* 18(4): 289-297.

HECK K.L., WETSTONE G.S., 1977. Habitat complexity and invertebrate species richness and abundance in tropical seagrass meadows. *J. Biogeogr.* 4: 135-142.

HEIP C., 1998. Un océan de diversité. *Biofutur* 179: 12-17.

- HEMMINGA M.A., 1998. The root/rhizome system of seagrasses: an asset and a burden. *J. Sea Res.* 39: 183-196. Infralittoral des Bouches-du-Rhône (France, Méditerranée occidentale). *Vie Milieu* 32(2): 115-124.
- HEMMING A. M et DUARTE .C.M., 2000. *Seagrass Ecology*. Cambridge University Press. 298pp.
- HOUARI.S., 2002. Evaluation du niveau de contamination par les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs : Chrysène, Phénanthrène) d'un poisson : Rouget de vase (*Mullus barbatus*, L., 1758), pêché dans le golfe d'Arzew. *Thèse Magister, Univ Oran Es-sénia*. 123 pp.
- INVERS O, PEREZ M, ROMERO J., 2002. Seasonal nitrogen speciation in temperate seagrass *P. oceanica* (L.) Delile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 273: 219-240.
- INVERS O, KRAEMER GP, PEREZ M, ROMERO J., 2004. Effects of nitrogen addition on nitrogen metabolism and carbon reserves in the temperate seagrass *P. oceanica*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 303: 97-114.
- JACQUMART J., 2003. *Variations spatio-temporelles de la communauté des macroalgues épiphytes de Posidonia oceanica* (L.) Delile en Baie de La Revellata (Calvi, Corse) de la fin de l'hiver à l'été 2004, mémoire de DAE, Univ. de Liège.
- JAMES P.L. et A. W. D. LARKUM., 1996. Photosynthetic inorganic carbon acquisition of *Posidonia australis*, *Aquatic Botany*, Volume 55, 149-157.
- JEUDY DE GRISSAC A., 1984a. Essais d'implantations d'espèces végétales marines: les espèces pionnières, les Posidonies. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. Edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 431-436.
- JEUDY DE GRISSAC A., AUDOLY G., 1985. Etude préliminaire des banquettes de feuilles mortes de *Posidonia oceanica* de la Région de Marseille, France. *Rapp. P.V. Réunion. Commiss. Internation. Explor. Sci. Mer Médit.* 29(5): 181-182.
- JEUDY DE GRISSAC A., BOUDOURESQUE C.F., 1985. Rôle des herbiers de Phanérogames marines dans les mouvements de sédiments côtiers : les herbiers à *Posidonia oceanica*. *Colloque franco-japonais d'Océanographie*, Marseille, Fr., 1: 143-151.
- JIMENEZ S., CANO R., BAYLE J., RAMOS A., SANCHEZ LIZASO J.L., 1996. Las praderas de *Posidonia oceanica* (L.) Delile como zona de protección de juveniles de especies de interés comercial. *Real Soc. esp. Hist. nat.*, tomo extraordinario: 375-378.
- JIMENEZ S., BAYLE J.T., RAMOS ESPLA A.A., SANCHEZ LIZASO J.L., 1997. Ictiofauna de dos praderas de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 con distinto grado de conservación. *Publ. espec. Inst. esp. Oceanogr.*, 23: 255-264.
- KADIR, B., 1987. Contribution à l'étude au pin d'Alpe (*Pinus halepensis*) en Algérie. *Edt. O.P.U Algérie*, 200 p.
- KLEIN, J., 2007. *Impact de Caulerpa racemosa var. cylindracea (Caulerpales, Chlorophyta) sur les communautés macrophytiques en Méditerranée nord-occidentale*. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille II, France. 315 pp.
- KLEIN, J. & M.VERLAQUE., 2008. The *Caulerpa racemosa* invasion: a critical review. *Marine Pollution Bulletin* 56: 205-225.
- KRAUSSE - JENSEN D., DIAZ ALMELA E., CUNHAH. (CCMAR), GREVE T 2004. Heave seagrass distributon and abundance changed ? , In : BORUM J., C.M. DUARTE, D. KRAUSE-JENSEN and

- T.M.GREVE. 2004. *European seagrasses: an introduction to monitoring and management*. The M&MS project ; Copenhagen : 33-40.
- KSONTINI M, DJELLOULI A.S, LANGAR H, ABDELJAOUED S., 2007.** L'herbier à *Posidonia oceanica* de Port Princes (Cap Bon, Tunisie): Etude et présentation d'un patrimoine naturel. *Actes du 3<sup>ème</sup> Symposium Méditerranéen sur la végétation marine*. 27-29 Mars 2007 Marseille : 274-276.
- KUCUKSEZGIN, F., KONTAS, A., ALTAY, O., ULUTURHAN, E., DARILMAZ, E., 2006** - Assessment of marine pollution in Izmir Bay : Nutrient, heavy metal and total hydrocarbon concentrations. *Environment International* 32, 41-51.
- KUO J et AJ Mc COMB 1989.** Seagrass taxonomy, structure and development in «Biology of seagrasses» AWD Larkum, AJ McComb and SA Shepherd Editors Elsevier Chapter 2: 6-73.
- KUO J et DEN HARTOG C., 2000.** Seagrasses: A profile of an ecological group. *Biol. Mar. Médit.*, 7(2) : 3-17.
- KUO J., HARTOG C. DEN HARTOG, 2001.** Seagrass taxonomy and identification key. *In: Short, Coles, Short edits. Global seagrass research methods*. Elsevier publ., Amsterdam: 31-58.
- KUO J., et DEN HARTOG C., 2006.** *Seagrass Morphology, Anatomy, and Ultrastructure*, in Larkum, Orth, and Duarte, *Biology of Posidonia in Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*, 2006, Springer, Dordrecht, Netherlands, Chap 3, 51-87.
- LAFABRIE C., 2007.** Utilisation de *Posidonia oceanica* (L.) Delile comme bio-indicateur de la contamination métallique. *Thèse Doctorat, Univ- Corse, Fr* : 1-141.
- LARKUM AWD et C DEN HARTOG., 1989.** Evolution and biogeography of seagrasses in «Biology of seagrasses» AWD LARKUM, AJ Mc COMB and SA SHEPHERD Editors.
- LARKUM A.W.D., EDWARD A. DREW E.A et RALPH P.J., 2006.** *Photosynthesis and Metabolism in Seagrasses at the Cellular Level*, in Larkum, Orth, and Duarte, *Biology of Posidonia in Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*, 2006, Springer, Dordrecht, Netherlands, Chap 14, 323-345.
- LASCARATOS, A., 1998** - La Méditerranée : un Océan miniature fascinant : 7 - 9. (*in PAM.*, 1998).
- LEBRETON. B., 2009.** Analyse de la structure et du fonctionnement du réseau trophique d'un herbier par approche multi-traceurs : traçage isotopique naturel et profils acides gras. *PhD.thesis, Univ. la Rochelle*. 1-171.
- LECLAIRE L., 1972** - La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin -Baléares (pré continent algérien) .*mémoire muséum national histoire naturelle. Nouvelle série C. Science de la Terre .tome XXIV. Fascicule unique* : 391. Fisher et al (1987).
- LECOINTRE G., LE GUYADER H., 2001.** Classification phylogénétique du vivant. *Belin publ.* Paris: 1-543 + 15 pl. h.t.
- LE DIREACH L., FRANCOUR P., 2001.** Recrutement des poissons dans les herbiers de *Posidonia* de Port-Cros. *GIS Posidonie & Parc national de Port-Cros*, GIS publ., Fr.: 1-40.
- LEDOYER M., 1962.** Etude de la faune vagile des herbiers superficiels de Zostéracées et de quelques biotopes d'algues littorales. *Rec. Trav. Stat. mar. Endoume, Fr.*, 25 (39): 117-235.

- LEE KS et KH DUNTON 2000. Diurnal changes in pore water sulfide concentrations in the seagrass *Thalassia testudinum* beds: the effects of seagrass on sulfide dynamics. *J .Exp. Mar.Biol .Ecol* 255: 201-214.
- LEPOINT G., 1994. *Distribution spatio-temporelle des épiphytes de l'herbier de Posidonies de la Baie de La Revellata (Corse). Lien trophique avec Sarpa salpa (L.1758). Mém. de lic. En Sci. Zool. Univ. Liège, Belgique* 51pp.
- LEPOINT G, HAVELANGE S, GOBERT S AND BOUQUEGNEAU JM., 1999. *Fauna vs flora contribution to the leaf epiphytes biomass in a Posidonia oceanica seagrass bed (Revellata Bay, Corsica). Hydrobiologia* 394 : 63-67.
- LEPOINT G., NYSSSEN F., GOBERT S., DAUBY P., BOUQUEGNEAU J.M., 2000. Relative impact of a seagrass bed and its adjacent epilithic algal community in consumer diets. *Mar. Biol.*, 136 : 513-518.
- LEPOINT, G., MILLET, S., DAUBY, P., GOBERT, S., BOUQUEGNEAU, J.M., 2002. An annual nitrogen budget of the seagrass *Posidonia oceanica* as determined by in situ uptake experiments. *Marine Ecology Progress Series* 237, 87-96.
- LEPOINT G, VANGELUWE D, EISINGER M, PASTER M, VAN TREECK P, BOUQUEGNEAU JM, GOBERT S., 2004. Nitrogen dynamics in *P. oceanica* cuttings: implications for transplantation experiments. *Marine Pollution Bulletin* 48: 465-470.
- LERICHE A., 2004. La structure à méga-, méso- et micro-échelles des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile fournit-elle des outils pour leur gestion. *Thèse Doctorat , Univ. Aix-Marseille II, Fr.:* 1-232.
- LES DH, CLELAND MA et MA WAYCOTT., 1997. Phylogenetic studies in Alismatidae II. Evolution of marine angiosperms(seagrasses)and hydrophyly. *Syst Bot* 22: 443-463.
- LIBES M., 1984. Production primaire d'un herbier à *Posidonia oceanica* mesurée *in situ* par la méthode du carbone 14. *Thèse Doctorat Spécialité Ecologie, Univ. Aix-Marseille II, Fr.:* 1-199.
- LIPKIN Y., 1977. Seagrass vegetation of Sinai and Israel. In "Seagrass ecosystems, a scientific perspective", Mc Roy P. & Helfferich C. edit., Dekker publ., USA : 263-293.
- IIZUMI H., HATTORI A et CP Mc ROY., 1980. Nitrate and nitrite in interstitial waters of eelgrass beds in relation to the rhizosphere. *J Exp Mar Biol Ecol* 47: 191-201.
- LOVETT DOUST, J., SCHMIDT, M., LOVETT DOUST, L., 1994. Biological assessment of aquatic pollution : a review, with emphasis on plants as biomonitors. *Biological Reviews* 69, 147-86.
- MABROUK.L, HAMZA.A, SAHRAOUI.H, BRADAI.M.N., 2009 - Données sur les caractéristiques et la phénologie de l'herbier de *Posidonia oceanica* (L) delile sur les côtes de Mahdia (région ouest de la Tunisie): *Bull. Isnt. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô, Vol. 36, 2009.*
- MARBA N, HEMMINGA MA, MATEO MA, DUARTE CM, MASS YEM, TERRADOS J, GACIA E., 2002. Carbon and nitrogen translocation between seagrass ramets. *Marine Ecology Progress Series* 226: 287-300.
- MARBA N., HOLMER M., ESPERAN, GACIA E. & BARRON C., 2006. *Seagrass Beds and Coastal Biogeochemistry*, in Larkum, Orth, and Duarte, *Biology of Pasidonia in Seagrasses: Biology, Ecology and Concervation.*, 2006, Springer, Dordrecht, Netherlands, Chap 6, 135-157.
- MATEO-MINGUEZ M.A., 1995. El compartimento detrítico en ecosistemas de Fanerógamas marinas mediterráneas. *Tesis Doctoral, Univ. Barcelona, Esp.:* 1-190.

MATEO M.A., ROMERO J., 1996. Evaluating seagrass leaf litter decomposition : An experimental comparison between litter-bag and oxygenuptake methods. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 202 (2) : 97-106.

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*. *Est. Coast. Shelf Sci.* 44(1): 103-110.

MATEO-MINGUEZ M.A., CEBRIAN,J., DUNTON K. et MUTCHLER T., 2006. *Carbon Flux in Seagrass Ecosystems*, in Larkum, Orth, and Duarte, *Biology of Pasidonia in Seagrasses: Biology, Ecologie and Concervation.*,2006, Springer, Dordrecht, Netherlands, Chap 7, 159-192.

MAYHOUB H., 1976. Recherches sur la végétation marine de la côte syrienne. Etude expérimentale sur la morphogenèse et le développement de quelques espèces peu connues. *Thèse Doctorat d'Etat*, 26 oct. 1976, 286 p, + 1 carte, + Pl. 1-16 h.t.

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., CINELLI F., OTT J.A., KEPFAL W., 1981. Studi sperimentali 'in situ' sull'epifitismo della *Posidonia oceanica* Delile. *Quad. L-ab. Tecnol. Pesca, Ital.*, 3 (suppl. 1) . 481-492.

MAZZELLA L., GAMBI M.C., RUSSO G.F., WITTMAN J.K., 1983. Flowering in *Posidonia oceanica* (L.) Delile prairies around the Island of Ischia (Gulf of Naples). *Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.* 28(3): 117-119.

MAZZELLA,L et J.A. OTT., 1984. *Seasonal changes in some features of Posidonia océanica (L) Delile leaves and epiphytes at different dephts*. In Boudouresques, A jeudy de Grissac & J. Olivier (eds) *International Workshop on Posidonia beds 2*.GIS Posidonie Publishing Marseilles,119-127.

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). In: BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., OLIVIER J. edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 203-209.

MAZZELLA L., SCIPIONE M.B., GAMBI M.C., FRESI E., BUIA M.C., RUSSO G.F., DE MAIO R., LORENTI M., RANDO A., 1986. *Le praterie sommerse del Mediterraneo*. Stazione zoologica di Napoli publ.: 1-63.

MAZZELLA L., SPINOCCIA L., 1992. Epiphytic diatoms of leaf blades of the mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile.*Giorn.Bot. Ital.*, 126 (6) : 155-172.

MAZZELLA L., BUIA M.C., GAMBI M.C., LORENTI M., RUSSO G., SCIPIONE M.B., ZUPO V., 1992. Plant-animal trophic relationships in the *Posidonia oceanica* ecosystem of the Mediterranean Sea: a review. In: Jangoux M., Mazzella L. et al. edits. *Plant-animal interactions in the marine benthos. Systematic Association special volume 46*, Clarendon Press publ.: 165-187.

MAZZELLA L., BUIA M.C., GAMBI M.C., LORENTI M., RUSSO G., SCIPIONE M.B., ZUPO V., 1995. A review of the trophic organization in the *Posidonia oceanica* ecosystem. In: Cinelli F., Fresi E., Lorenzi C., Mucedola A. edits. *La Posidonia oceanica, Revista marittima publ.*, Ital., 12(suppl.): 31-47.

Mc MILLAN C., LIPKIN Y., BRAGG L., 1975. The possible origin of peculiar *Thalassia testudinum* reported from Texas as *Posidonia oceanica*. *Contrib. mar. Sci.*, 19 : 101-106.

Mc ROY C.P., McMILLAN C.,1977. Production ecology and physiology of seagrasses. In: McRoy C.P., Helfferich C. edits. *Seagrass ecosystem: a scientific perspective*. Marcel Dekker publ., New York: 53-87. Méditerranée. *Oceanis*, 17 (4) : 341-350.

**McROY C.P., HELFFERICH C., 1980.** Applied aspects of seagrasses. In: Phillips R.C., McRoy C.P. *edits. Handbook of seagrass biology: an ecosystem perspective.* Garland STPM Press publ., New York: 297-343.

**MEINESZ A., LAURENT R., 1977.** Compte-rendu de l'opération "Poséidon 1977". Deuxième campagne de cartographie de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-Maritimes. *Cellule d'Intervention contre la Pollution dans les Alpes-Maritimes*: 1-9 + 1 carte h.t.

**MEINESZ A., LAURENT R., 1978.** Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-Maritimes. Campagne Poséidon 1976. *Bot. mar.* 21(8): 513-526

**MEINESZ A., ASTIER J.M., BODOY A., CRISTIANI G., LEFEVRE J.R., 1982.** Impact de l'aménagement du domaine maritime sur l'étage infralittoral des Bouches-du-Rhône (France, Méditerranée occidentale). *Vie Milieu* 32(2): 115-124.

**MEINESZ A., LEFEVRE J.R., 1984.** Régénération d'un herbier à *Posidonia oceanica* quarante années après sa destruction par une bombe dans la rade de Villefranche (Alpes-Maritimes). In: BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., OLIVIER J. *edits. International Workshop on Posidonia oceanica beds, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 39-44.*

**MEINESZ A., BOUDOURESQUE C.F., BIANCONI C.H., SIMONIAN M., 1987.** Cartographie de la limite inférieure de l'herbier de Posidonies de la baie d'Elbo. *Trav. sci. Parc nat. rég. Rés. nat. Corse* 13: 27-37.

**MEINESZ A., HESSE B., 1991.** Introduction et invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée Nord-occidentale. *Oceanologica Acta* 14(4): 415-426.

**MEINESZ A., CAYE G., LOQUES F., MOLENAAR H., 1991a.** Restoration of damaged areas with transplantation of seaweeds and seagrasses in the Mediterranean: review and perspectives. *Oebalia* 17(1 suppl.): 131-142.

**MEINESZ A., COTTALORDA J.-M., CHIAVERINIO D., VAUGELAS J., 2000.** Représentation cartographique de l'abondance de quelques algues et invertébrés du littoral de la face nord du *parc National de Port - Cros*. LEML-UNSA/GIS Posidonie. 22p.

**MEINESZ A., BELSHER T., THIBAUT T., ANTOLIC B., BEN MUSTAPHA K., BOUDOURESQUE C.-F., CHIAVERINI D., CINELLI F., COTTALORDA MEINESZ A., BELSHER T., THIBAUT T., ANTOLIC B., BEN MUSTAPHA K., BOUDOURESQUE C.-F., CHIAVERINI D., CINELLI F., COTTALORDA J.M., DJELLOULI A., EL ABED A., ORESTANO C., GRAU A.M., IVESA L., JAKLIN A., LANGAR H., MASSUTI-PASCUAL E., PEIRANO A., TUNESI L., DE VAUGELAS J., ZAVODNIK N., ZULIEJEVIC A., 2001a.** The introduced green alga *Caulerpa taxifolia* continues to spread in the Mediterranean. *Biol. Inv.* 3: 201-210.

**MELLORS JE, MARSH H AND RG COLES., 1993.** Inter-annual changes in seagrass standing crop, Green Island, Northern Queensland. *Australian J. Mar Fresh Res* 44: 33- 41.

**MICHELI C, PAGANIN P, PEIRANO A, CAYE G, MEINESZ A, BIANCHI CN 2005.** Genetic variability of *P. oceanica* (L.) Delile in relation to local factors and biogeographic patterns. *Aquatic Botany* 82(3): 210-221.

**MILLOT, C., 1987 -** Circulation in the western Mediterranean Sea. *Oceanog. Acta.* 10 (2): 144-149 p.

**MODIGH M., LORENTI M., MAZZELLA L., 1998.** Carbon assimilation in *Posidonia oceanica*: Biotic determinants. *Bot. Mar.* 41(3): 249-256.

**MOLENAAR H., 2001.** Impact de *Caulerpa taxifolia* sur les espèces et les écosystèmes méditerranéens : la compétition avec *Posidonia oceanica*. In: Gravez V., Ruitton S., Boudouresque C.F., Le Direac'h L.,

Meinesz A., Scabbia G., Verlaque M. edits. *Fourth international workshop on Caulerpa taxifolia*. GIS Posidonie publ. Fr.: 220-231.

**MOLINIER R., 1960.** Etude des biocénoses marines du Cap-Corse. *Vegetatio* 9: 121-312.

**MOLINIER R et ZEVACO C., 1962.** Etudes écologiques et biocénologiques dans la baie du Brusco (Var). Fascicule 3 : étude statistique et physiologique de la croissance des feuilles de Posidonies (*Posidonia oceanica* Delile) .*Bull. Isnt. Oceanogr*, Monaco, (1234) : 1-146.

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

**MOLINIER R., PICARD J., 1956.** Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Ann. Inst. Océanogr., Fr., 27* : 157- 234 ;of the mediterranean seagrasses *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa* and *Zostera noltii*. In KUO J., PHILLIPS R. C., WALKER D. I., KIRKMAN H (Eds).

**MORENO D., AGUILERA P.A., CASTRO H., 2001.** Assessment of the conservation status of seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows: implications for monitoring strategy and the decision-making process. *Biol. Conservation* 102: 325-332.

**MOSSE R A., 1984a.** Recherches lépidochronologiques sur *Posidonia oceanica* : rhizomes plagiotropes et orthotropes des herbiers profonds de Port Cros (Méditerranée, France) .*Trav. sci. Parc nation. Port Cros*, Fr., 10 : 87 – 107.

**MOSSE R A., 198b.** Les écailles rhizomes plagiotropes de *Posidonia oceanica* : étude des variations cycliques. Iternational Workshop on *Posidonia oceanica* Beds, Boudouresque C F. , Jeudy de Grissac A , et Olivier J .edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 217 – 226.

**NEDELEC, H., 1982.** Ethologie alimentaire de *Paracentrotus lividus* dans la baie de Galeria (Corse) et son impact sur le peuplement phytobenthique. *Thèse Doct. 3ème cycle, océanogr.* Biol., Univ. P. et M. Curie. Univ. Paris VI, Aix- Marseille, pp.1-175.

**NIZAMUDIN, M. -1991- The Green Marine Algae of Libya. Elga. Publisher Bern. OULD-AHMED, N. & A. MEINESZ., 2007.** First record of the invasive alga *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta) on the coast of Algeria. *Cryptogamie Algologie* 28 (3): 303-305.

**ORTH R.J ., CARRUTHERS T.J.B ., DENNINSON W.C., DUARTE C.M., FORQUIREAN J.W., HECK J.R.K.I., UGHES A.R., KENDRIC G.A., KENWORTHY W.J., OLYARNIK S., SHORT F.T., WAYCOTT M., WILLIAMS S.I., 2006 –** Aglobal crisis for seagrass ecosystems.*Bioscience*, 56 : 987-996.

**OTT J.A., 1979.** Persistence of a seasonal growth rhythm in *Posidonia oceanica* (L.) Delile under constant conditions of temperature and illumination. *Mar. Biol. Letters*, 1 : 99 – 104.

**OTT J.A., 1980.** Growth and production in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Mar. Ecol., PZSN* 1(1): 47-64.

**OUISSSE.V., 2010.** Production primaire et respiration des communautés d’herbiers à *Zosteres* : rôle dans le cycle du carbone en milieu côtier.*Thèse.Doct.Univ.Pierre et Marie Curie.Océan.Biologique*.pp :173 +Annexes.

**OULD-AHMED, N. & A. MEINESZ., 2007.** First record of the invasive alga *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta) on the coast of Algeria. *Cryptogamie Algologie* 28 (3): 303-305.

**PLATINI F., 2000.** La protection des habitats aux herbiers en Méditerranée *Rapp. PNUE, PAM, CAR/ASP* édit. : 65p.

- PANAYOTIDIS P., 1980. Contribution à l'étude qualitative et quantitative de l'association *Posidonietum oceanicae* Funk 1927. Thèse doctorat 3ème cycle, Univ. Aix-Marseille II, Fr. PANAYOTIDIS P., BOUDOURESQUE C.F., MARCOT-COQUEUGNIOT J., 1981. Microstructure de l'herbier à *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Bot. mar.* 24(3): 115-124.
- PANAYOTIDIS P., GIRAUD G., 1981. Sur un cycle de renouvellement des feuilles de *Posidonia oceanica* (L.) Delile dans le golf de Marseille. *Vie milieu*, Fr., 31 (2) :129-136.
- PANAYOTIDIS P., 1986. Influence de la floraison sur le cycle de renouvellement des feuilles de *Posidonia oceanica* (L.) Dzellile, dans le golfe Saronikos (Mer Egée, Grèce). *Rapp.P.V. Réunion. Commiss. Internation. Explor. Set. Médit.*, Monaco.30 (2) : 6.
- PASQUALINI V., 1997. Caractérisation des peuplements et types de fonds le long du littoral Corse (Méditerranée, France). *Thèse Doct., Univ. Corse*, Fr.: 1-190.
- PASQUALINI V., PERGENT-MARTINI C., PERGENT G., 1995. Etude de la formation récifale de Saint-Florent (Haute-Corse). Cartographie et évolution. *DIREN Corse & GIS Posidonie*, GIS Posidonie publ., Fr.: 1-49.
- PASQUALINI V., PERGENT-MARTINI C., CLABAUT P., PERGENT G., 1998. Mapping of *P. oceanica* using aerial photographs and side-scan sonar: Application of the island of Corsica (France). *Estuarine Coastal Shelf Science* 47: 359-367.
- PASQUALINI V., PERGENT-MARTINI C., PERGENT G., 1999. Environmental impacts identification along corsican coasts (Mediterranean Sea) using image processing. *Aquat. Bot.* 65: 311-320.
- PERES J.M., PICARD J., 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. *Rec. Trav. Stat. mar. Endoume*, 31 (47) : 3-137.
- PERES J.M., PICARD J., 1975. Causes de la raréfaction et de la disparition des herbiers de *Posidonia oceanica* sur les côtes françaises de la Méditerranée. *Aquat. Bot.* 1(2): 133-139.
- PERES J.M., 1984. La régression des herbiers à *Posidonia oceanica*. *International Workshop Posidonia oceanica Beds*, BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A. & OLIVIER J. Edit., *GIS Posidonie Publ.*, Fr., 1 : 445-454.
- PEREZ M., ROMERO J., DUARTE C.M., SAND-JENSEN K., 1991. Phosphorus limitation of *Cymodocea nodosa* growth. *Marine Biology*, 109 : 129-133.
- PERGENT G., 1985. Floraison des herbiers à *Posidonia oceanica* dans la Région d'Izmir (Turquie). *Posidonia Newsletter* 1(1): 15-21.
- PERGENT G., PERGENT C., 1985. Cartographie de l'herbier à *Posidonia oceanica* de la baie d'Urla-Iskele (Turquie). *Rapp. P.V. Réunion. Commiss. Internation. Explor. Sci. Médit.* 29(6): 231-234.
- PERGENT G., BOUDOURESQUE C.F., VADIER B., 1985. Etude préliminaire des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile de la côte des Albères (Pyrénées-Orientales, France). *Ann. Inst. Océanogr.*, N.S., 61(2): 97-114.
- PERGENT G., 1987. Recherches lépidochronologiques chez *Posidonia oceanica* (Potamogetonaceae). Fluctuations des paramètres anatomiques et morphologiques des écailles des rhizomes. *Thèse Doctor. Océanol., Univ. Aix-Marseille II*: 1-853.
- PERGENT G., PERGENT- MARTINI C., 1988. Localisation et état de l'herbier de Posidonies sur le littoral PACA : Bouches-du-Rhône. *DRAE PACA & GIS Posidonie*, *GIS Posidonie publ.*, Fr.: 1-53.

- PERGENT G, BOUDOURESQUE CF, CROUZET A, MEINESZ A 1989.** Cyclic changes along *P. oceanica* rhizomes (Lepidochronology) : Present State and Perspectives. *P.S.Z.N.I. Marine Ecology*, 10(3): 221-230
- PERGENT G., BEN MAIZ N., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., 1989a.** The flowering of *Posidonia oceanica* over the past fifty years: a lepidochronological study. In: Boudouresque, C.F., Meinesz A., Fresi E., Gravez V. edits. *International workshop on Posidonia beds*. GIS Posidonie publ., Fr., 2: 69-76.
- PERGENT G., 1990.** Utilisation de la technique du krigeage en cartographie benthiques: intérêt et limites. *Rapp P.V. Réunion Commission Internationale Explor Sci Médit* 32 : 6.
- PERGENT G., 1991a.** La protection légale de la Posidonie en France: Un outil efficace. Nécessité de son extension à d'autres pays méditerranéens. In : Boudouresque C.F., Avon M., Gravez V. edits. *Les Espèces Marines à Protéger en Méditerranée, Rencontres scientifiques de la Côte Bleue*. GIS Posidonie publ., Fr., 2: 29-34.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 1990.** Some applications of lepidochronological analysis in the seagrass *Posidonia oceanica*. *Bot. mar.* 33: 299-310.
- PERGENT, G., 1991.** Les indicateurs écologiques de la qualité du milieu marin en Méditerranée. *Oceanis* 17(4), 341-350.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 1991.** Leaf renewal cycle and primary production of *Posidonia oceanica* in the bay of Lacco Ameno (Ischia, Italy) using lepidochronological analysis. *Aquat. Bot.* 42: 49-66.
- PERGENT G., ZAOUALI J., 1992.** Analyse phénologique et lépidochronologique de *Posidonia oceanica* dans une lagune hyperhaline du Sud tunisien. *Rapp. P.V. Réunion. Commission. International. Explor. Sci. Médit.* 33: 48.
- PERGENT G., 1993.** L'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Approche structurale, fonctionnelle et appliquée. *Diplôme d'Habilitation à Diriger des Recherches*, Univ. Corse, Fr. 1-141.
- PERGENT G., KEMPF M., 1993.** L'environnement marin côtier en Tunisie. 1. Rapport de synthèse. 2. Etude documentaire. 3. Ann. Agence Nationale pour la Protection de l'Environnement (Tunisie), *Ifremer & GIS Posidonie*, Fr.: 1-55 + 1-395 + 1-173.
- PERGENT G., SEMROUD R., BABA AHMED R., DELBAL F., KHATAL Y., REMILI A., ROBERT P., BOUDOURESQUE C.F., 1993.** Données préliminaires sur la répartition et l'état de l'herbier à *Posidonia oceanica* de la Région d'El Kala (Algérie). *Sci. Rep. Port-Cros nation. Park* 15: 253-263.
- PERGENT G, ROMERO J, PERGENT-MARTINI MC, MATEO MA et CF BOUDOURESQUE., 1994.** Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar Ecol Prog Ser* 106 139- 146.
- PERGENT G., ROMERO J., PERGENT-MARTINI C., MATEO M.A., BOUDOURESQUE C.F., 1994.** Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 106: 139-146.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 1995.** Indicateurs biologiques : Posidonies. In: *Etat des connaissances opérationnelles sur la contamination et les indicateurs de pollution chimique toxique du milieu marin. Résumé des contributions*. IARE publ., Fr.: 123-135.

- PERGENT, G., PERGENT-MARTINI, C., BOUDOURESQUE, C.F., 1995.** Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée : état des connaissances. *Mésogée* 54, 3-29.
- PERGENT G., RICO-RAIMONDINO V., PERGENT-MARTINI C., 1997.** Fate of primary production in *Posidonia oceanica* meadows of the Mediterranean. *Aquatic Botany*, 59 : 307-321.
- PERGENT-MARTINI C., PERGENT G., RICO-RAIMONDINO V., 1993.** *Posidonia oceanica* beds, a biological indicator of the marine environment quality. In: *Pour qui la méditerranée au 21ème Siècle - Le système littoral méditerranéen. Actes du colloque scientifique Okeanos*, Maison de l'Environnement de Montpellier publ., Fr.:207-212.
- PERGENT-MARTINI C., FERNANDEZ C., PASQUALINI V., PERGENT G., 1992.** Etude de site, dans le cadre l'installation des canalisations d'exhaure et de rejet d'eau de mer d'un Centre de Thalassothérapie à Piantarella (Corse du Sud). Contrat Domaine de Spérone/GIS Posidonie, GIS Posidonie édit., Fr. : 1 - 57.
- 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* : 190
- 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, G., PERGENT-MARTINI, C., 1999.** Mercury levels and fluxes in *Posidonia oceanica* meadows. *Environmental pollution* 106, 33-37.
- PERGENT G, MENDEZ M, PERGENT-MARTINI C, PASQUALINI V., 1999.** Preliminary data on the impact of fish farming facilities on *Posidonia oceanica* meadows in the Mediterranean. *Oceanologica acta*, 22(1): 95 -107.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 2000.** Mission d'Etude en Libye. Etude des formations végétales de la lagune de Frawa. *Centre d'Activités Régionales pour les Aires Spécialement Protégées et Université de Corse* publ.: 1-48 + Ann.
- PERGENT, G., DJELLOULI, A., HAMZA, A.A., ETTAYEB, K.S., EL MANSOURI, A.A., TALHA, F.M., HAMZA, M.A., PERGENT-MARTINI, C., PLATINI, F., 2002.** Characterization of the benthic vegetation in the Farwà lagoon (Libya). *Journal of Coastal Conservation* 8, 119-126.
- PERGENT G., CLABAUT P., MIMAULT B., PASQUALINI V., PERGENT-MARTINI C., 2005.** Mise en œuvre d'un réseau de Surveillance Posidonies le lon de littoral de la Corse. Deuxième phase : Porto - Vecchio / Ajaccio. *Contrat Office de l'Environnement de la Corse et GIS Posidonie Centre de Corse, GIS Posidonie, Publ., Cort* : 1.133.
- PERGENT G., 2006.** Le rôle des herbiers à *Posidonia oceanica*. In : *Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica*. BOUDOURESQUE, C.F., BERNARD, G., BONHOMME, P., CHARBONNEL, E., DIVIACCO, G., MEINESZ, A., PERGENT, G., PERGENT-MARTINI, C., RUITTON, S., TUNESI, L., edit., RAMOGE pub., 25-31.
- PERGENT-MARTINI C., PERGENT G., ROMERO J., 1992b.** The litter in the *Posidonia oceanica* ecosystem: preliminary results. In: Keegan B F. edit. *Space and time series. Data analysis in coastal benthic Ecology. Commission of the European Communities* publ.: 541-547.
- PERGENT-MARTINI C., 1994.** *Impact d'un rejet d'eaux usées urbaines sur l'herbier à Posidonia oceanica avant et après la mise en service d'une station d'épuration. Thèse Doct. Océanol., Univ. Corse, Fr. : 1-190.*

- PERGENT-MARTINI C., RICO-RAIMONDINO V., PERGENT G., 1994. Primary production of *Posidonia oceanica* in the Mediterranean basin. *Mar. Biol.* 120: 9-15.
- PERGENT-MARTINI, C., PERGENT, G., 2000. Marine phanerogams as a tool in the evaluation of marine trace-metal contamination: an example from the Mediterranean. *International Journal of Environment and Pollution* 13, 1-6.
- 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. Maison de l'Environnement de Montpellier publ., Fr.:* 209-220. publ., Fr., 2 : 77-84.
- PERGENT-MARTINI, C., LEONI, V., PASQUALINI, V., ARDIZZONE, G.D., BALESTRI, E., BEDINI, R., BELLUSCIO, A., BELSHER, T., BORG, J., BOUDOURESQUE, C.F., BOUMAZA, S., BOUQUEGNEAU, J.M., BUIA, M.C., CALVO, S., CEBRIAN, J., CHARBONNEL, E., CINELLI, F., COSSU, A., DI MAIDA, G., DURAL, B., FRANCOUR, P., GOBERT, S., LEPOINT, G., MEINESZ, A., MOLENAAR, H., MANSOUR, H.M., PANAYOTIDIS, P., PEIRANO, A., PERGENT, G., PIAZZI, L., PIRROTTA, M., RELINI, G., ROMERO, J., SANCHEZ-LIZASO, J.L., SEMROUD, R., SHEMBRI, P., SHILI, A., TOMASELLO, A., VELIMIROV, B., 2005b. Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows : Use and application. *Ecological Indicators* 5, 213–230.
- PHILLIPS, D.J.H., 1994. Macrophytes as biomonitors of trace metals. *Biomonitoring of Coastal Waters and Estuaries*, 85-103.
- PHILLIPS, R.C et E.G MEÑEZ., 1988. Seagrasses. Smithsonian Institution Press 34. 104pp.
- PIAZZI L., ACUNTO S., CINELLI F., 1999. *In situ* survival and development of *Posidonia oceanica* (L.) Delile seedlings. *Aquat. Bot.* 63: 103- 112.
- PIAZZI L, ACUNTO S, CINELLI F (2000). Mapping of *P. oceanica* beds around Elba Island (western Mediterranean) with integration of direct and indirect methods. *Oceanologica Acta* 23(3): 339-346.
- PIAZZI, L., PIRROTTA, M., RELINI, G., ROMEO, J., SANCHEZ-LIZASO, J.L., SEMROUD, R., SHEMBRI, P., SHILI, A., TOMASELLO, A., VELIMIROV, B., 2005b. Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows : Use and application. *Ecological Indicators* 5, 213–230.
- PIAZZI, L. A. MEINESZ, M. VERLAQUE, B. AKCALI, B. ANTOLIC, M. ARGYROU, D. BALATA, E. BALLESTEROS, S. CALVO, F. CINELLI, S. CIRIK, A. D. COSSU, R. ARCHINO, A.S. DJELLOULI, F. JAVEL, E. LANFRANCO, C. MIFSUD, D. PALA, P. PANAYOTIDIS, A. PEIRANO, G. PERGENT, A. PETROCELLI, S. RUITTON, A. ŽULJEVIC & G.CECCHERELLI., 2005. Invasion of *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean Sea: an 4 *Acta Botanica Malacitana* 35. 2010 assessment of the spread. *Cryptogamie Algologie* 26 (2): 189-202.
- PIAZZI, L. & G. CECCHERELLI., 2006. Persistence of biological invasion effects: Recovery of macroalgal assemblages after removal of *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 68: 455–461.
- PIOVETTI L., SERVE L., COMBAUT G., GADEL F., 1984. Analyse des substances phénoliques des restes de *Posidonia oceanica* (L.) Delile provenant de sédiments holocènes et de dépôts actuels. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., OLIVIER J. édit., *GIS Posidonie publ., Fr.,* 1 : 137-144.
- PLATINI F., 2002a. Characterization of the benthic vegetation in the Farwà lagoon (Libya). *J. Coastal Conservation* 8: 119-126.

- POR F.D., 1978. Lessepsian migrations.** The influx of Red Sea biota into the Mediterranean by way of the Suez canal. *Springer Verlag publ.*, Berlin: x + 1-228.
- PORCHER M., 1984.** Impact des mouillages forains sur les herbiers à *Posidonia oceanica*. In: BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., OLIVIER J. edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 145-148.
- RELINI G., 1992.** Depauperamento e protezione della fauna marina italiana. *Boll. Mus. Ist. biol. Univ. Genova* 56-57: 9-52.
- RIBERA G., COLOREU M., RODRIGUEZ-PRIETO C., BALLESTEROS E., 1997.** Phytobenthic assemblages of Addaia bay (Menorca, Western Mediterranean): composition and distribution. *Bot. mar.* 40(6): 523-532
- RICO V et PERGENT G., 1990.** Evaluation de la production primaire de l'herbier à *Posidonia oceanica* de la baie de Porto Conte (Sardaigne) par le modele 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.* : 10 p non num. + 1-248.
- ROBERT P., 1988.** Etude du régime thermique des principales biocénoses marines benthiques du Parc national de Port-Cros (Var, France). *Diplôme de Recherche universitaire, Univ. Aix-Marseille II, Fr.*: 1-209.
- ROMEO, M., GNASSIA-BARELLI, M., JUHEL T., MEINESZ A., 1995.** Memorization of heavy metals by scales of the seagrass *Posidonia oceanica*, collected in the NW Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series* 120(1-3), 211-218.
- ROMERO-MARTINENGO J., 1985.** Estudio ecológico de las Fanerógamas marinas de la costa catalana: producción primaria de *Posidonia oceanica* (L.) Delile en las islas Medes. *Tesis Doct., Univ. Barcelona, Spain*: 1-261.
- ROMERO J., 1986.** Note sur une méthode d'évaluation de la densité des faisceaux dans les herbiers de Posidonies. *Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. Sci. Médit.* 30(2): 1-266.
- ROMERO J., 1988.** Epífitos de las hojas de *Posidonia oceanica* : variaciones estacionales y batimétricas de biomasa en la pradera de las islas Medes (Girona). *Oecologia aquatica*, 9 : 19-25.
- ROMERO J., 1989.** Premières données sur la production primaire d'un herbier de *Posidonia oceanica* en Méditerranée occidentale (côtes catalanes). *Rapp. P.V. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.*, Monaco, 28 (3) : 129-130.
- ROMERO J., 1999.** Els herbassars submarins de la Mediterrània. *Butlletí de la Secció de Ciènces naturals del Museu de Mataró, L'Atzavara* 8: 5-8.
- ROMERO J., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., MATEO M.A., REGNIER C., 1992.** The detritic compartment in a *Posidonia oceanica* meadow : litter features, decomposition rates and mineral stocks. *Mar. Ecol., PSZN* 13(1): 69-83.
- ROMERO J., 2004b.** Posidonia: els prats del fons del mar. La mirada del biòleg a un ecosistema mediterrani. *Escola del Mar, Centre d'Estudis Marins de Badalona publ.*, Spain:1-159.
- RUITTON S., BOUDOURESQUE C.F., 1994.** Impact de *Caulerpa taxifolia* sur une population de l'oursin *Paracentrotus lividus* à Roquebrune- Cap Martin (Alpes-Maritimes, France). In: Boudouresque C.F., Meinesz A., Gravez V. edits. *First international workshop on Caulerpa taxifolia.*, GIS Posidonie Publ., Fr.: 371-378.

- RUIZ JM, MARÍN A, CALVO JF, RAMÍREZ-DIAZ L., 1993.** Interactions between a floodway and coastal constructions in Aguila bay (Southeastern Spain). *Ocean & Coastal Management* 19(3): 241-262.
- 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., 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., 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.
- RUIZ-FERNANDEZ J.M., 2000.** Respuesta de la Fanerógama marina *Posidonia oceanica* (L.) Delile a perturbaciones antrópicas. *Mem. Doct. Biol., Univ. Murcia, Spain*: 1-212.
- SAADA. M., 1997-** Présentation générale du littoral et aménagement des zones de baignade. *Séminaire, Ain Témouchent* (23 - 25.02.1997).
- SALAT J., PASCUAL J., 2002.** The oceanographic and meteorological station at L'Estartit (NW Mediterranean). *In: Tracking long-term hydrological change in the Mediterranean Sea. CIESM Workshop Series*,16: 29-32.salavguardia del principale ecisistema marino del Mediterraneo. *Rivista Maritima* : 15-24p. *In Ben Rehouma*, 2003.
- SANCHEZ-LIZASO J.L., GUILLEN-NIETO J.E., RAMOS-ESPLA A.A., 1990.** The regression of *Posidonia oceanica* meadows in El Campello (SE Spain). *Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.* 32(1): 7.
- SANCHEZ-LIZASO J.L., 1993.** Estudio de la pradera de Psidonia oceanica (L.) Delile de la reservade Tabarca marina (Alicante): fenología y produccion primaria. *Thesi Doctoral, Univ.de Alicante*:1-12
- SANCHEZ-LIZASO J.L., 2004.** Las praderas de Fanerógamas marinas. Estructura de las praderas. *In: Luque A.A., Templado J. edits. Praderas y bosques marinos de Andalucía.* Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía publ., Sevilla: 71-73.
- SCHEMBRI P.J., 1995.** The state of *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows in the Maltese Islands (Central Mediterranean). *Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.* 34: 1-123.
- SCHERRER.B., 1984** : Biostatistique. *Ed.Morin.*, Canada :850pp.
- SCHLACHER-HOENLINGER,M.A.,SCHLACHER,T.A.,1998.**Differential accumulation patterns of heavy metals among the dominant macrophytes of a mediterranean seagrass meadow. *Chemosphere* 37(8), 1511 1519.
- SDAGE, 2003.** Connaissance et gestion de l'érosion du littoral. Guide technique n°9. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, Fr.: 1-53. Sea) using image processing. *Aquat. Bot.* 65: 311-320. *Seagrass Biology. Proceedings of international workshop, Rottnest Island, Western Australia, 25-29 January 1996*: 181-190.
- SEELEM F., 1990.** Données sur la biométrie de *Paracentrotus lividus*, *Arbacia lixula* et *Sphaerichinus granularis* et sur la biologie de *Paracentrotus lividus* dans le golfe de Tunis *Rapp.D.E.A.Biol.Mar.Oceanol.Univ.Tunis II, Fac,Sci ,Tunis*,123p.
- SEMROUD R., 1993.** Contribution à la connaissance de l'écosystème à *Posidonia oceanica* (L.) Delile dans la région d'Alger (Algérie) : Etude de quelques compartiments. *Thèse .Doct.Etat. Océanographie, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumédiène, Alger*: 218 p.

- SGHAIER.Y-R., ZAKHAMA-SRAEIB.R., CHARFI-CHEIKHROUHA.F., 2006.** Statuts of *Posidonia oceanica* meadows along the eastern coast of Tunisia : *Mediterranean Seagrass Workshop May 29-June 4 2006*, Marsascalea, Malta *Biol.Mar.Medit.* (2006), 13 (4) 85-11.
- SHEPHERD S.A., MCCOMB A.J., BULTHUIS D.A., NEVERAUSKAS V., STEFFENSEN D.A., WEST R., 1989.** Decline of seagrasses. In: Larkum A.W.D., McComb A.J., Shepherd S.A. edits. *Biology of Seagrasses. A treatise on the biology of seagrasses with special reference to the Australian Region.* Elsevier, Amsterdam: 346-393.
- SHORT, F.T., WOLF, J., JONES, G.E., 1989.** Sustaining eelgrass to manage a healthy estuary. In :Coastal and Ocean Management / ASCE. *Proceedings of the sixth Symposium, July 11-14, 1989*, Charleston, SC, 3689-3706.
- SHORT F.T.,WYLLIE-ECHEVERRIA., 1996 .** Natural and human-induced disturbance of seagrasses. *Environemental conservation* , 23 : 17-27.
- SHORT F.T., COLES R.G., PERGENT-MARTINI C., 2001.** Global Seagrass Research Methods. Short, F.T. and Coles, R.G. (eds). *Elsevier Science B.V.*, Amsterdam. 473pp.
- SHORT.F.,CARRUTHERS T., DENNISON .W. ET WAYCOTT .M., 2007.** Global seagrass distribution and diversity : a bioregional model .*Journalof Experimental Marine Biology and Ecology* ,350 : 3-20.
- SILVESTRI C., 1993.** Studio sinecologico sulla prateria di *Posidonia oceanica* (L.) Delile di Monterosso al mare (SP) : cartografica quali-quantitativa e dinamica stagionale.*Tesi*, Univ. Roma, Izl. : 1-197.
- SINNASSAMY J.M., AUGRIS C., PEYRONNET J.P., KESSLER M., AUGUSTIN J.M., LE DREZEN E., PRUDHOMME C., RAILLARD J.M., PERGENT G., HOAREAU A., CHARBONNEL E., 1993.** Cartographie de l'herbier de Posidonie et des fonds marins environnants de Toulon à Hyères (Var, France). Reconnaissance par sonar latéral et photographie aérienne. *Notice de présentation. Ifremer & GIS Posidonie, GIS Posidonie publ.*, Fr.: 1-36 + 3 cartes h.t.
- SOLIS-WEISS V., ALEFFI F., BETTOSO N., ROSSIN P., 2004.** Gli indicatori biologici nel benthos del Golfo di Trieste. *Biol. mar. Medit.* 11(2): 351-354.
- SOMASCHINI A., GRAVINA M.F., ARDIZZONE G.D., 1994.** Polychaete depth distribution in a *Posidonia oceanica* bed (rhizome and "matte" strata) and neighbouring soft and hard bottoms. *Mar. Ecol. P.S.Z.N.I.* 15(2): 133-151.
- STONER A.W., 1980.** The role of seagrass biomass in organization of benthic macrofaunal assemblages. *Bull. Mar. Sci.* 30(3): 531-551.
- STUMM W et JJ MORGAN 1996.** Aquatic Chemistry: Chemical equilibria and rates in natural waters, 3rd Edition. Wiley Interscience, New York.
- SCHWARTZ.D., 1993.** Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes, 4<sup>ème</sup> Ed., Flammarion.311pp.
- TAVOSO M.A., 1997.** La convention de Barcelone pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution et le développement durable. UNEP publ., Athens. *MAP technical reports Series*, 117: 1-102.
- TERBECHE, M., 2007-** Tendence de la contamination bactériologique et métallique chez la crevette rouge (*Aristeus antennatus*). *Mémoire de Magister (pollution marine)* Université d'Oran. 79 p.

- TERRADOS J., DUARTE C. M., 2000.** Experimental evidence of reduced particle a lepidochronological study. In: Boudouresque, C.F., Meinesz A., Fresi E., Gravez V. edits. *International workshop on Posidonia beds. (Posidonia oceanica) meadows. Aquat. Bot.* 65: 255-268.
- THELIN I., BEDHOMME A.L., 1983.** Biomasse des épiphytes des feuilles de *Posidonia oceanica* dans un herbier superficiel. *Rapp. P.V. Réunion. Commiss. internation. Explor. Sci. Médit.* 28(3): 125-126.
- THELIN I., GIORGI J., 1984.** Production de feuilles dans un herbier superficiel à *Posidonia oceanica*, évaluée par une méthode dérivée de la méthode de Zieman. *International Workshop Posidonia oceanica Beds*, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac et Olivier J. édit., *GIS Posidonie publ.*, 1 : 271-276.
- THIEBAUT J., 1953.** Flore libano-syrienne. Troisième partie. CNRS édit. : 1-360, 7 pl. h.t.
- THIBAUT, T.Y., 2001.** Etude fonctionnelle, contrôle et modélisation de l'invasion d'une algue introduite en Méditerranée : *Caulerpa caulerpa*. Thèse. Doct. Ocea. Biol. Env. Mar. Univ. Paris. 258pp.
- TORCHIA G., PALANDRINI G., CIMA C., RELINI M., RELINI G., 2000.** La cartografia nello studio dell'invasione dell'alga *Caulerpa taxifolia*. *Biol. mar. Medit.* 7(1): 517-527
- TUNESI, L., BOUDOURESQUE, C.F., 2006.** Les causes de la régression des herbiers à *Posidonia oceanica*. In : Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. Boudouresque, C.F., Bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel, E., Diviacco, G., Meinesz, A., Pergent, G., Pergent-Martini, C., Ruitton, S., Tunesi, L., édit., RAMOGE pub., France, 32-47.
- TURNER S, SCHWARZ AM., 2006.** Management and conservation of seagrass in New Zealand: an introduction. *Science For Conservation* 264.
- VANGELUWE, D., 2007.** Effets de la transplantation sur la biométrie et sur la dynamique des nutriments, du carbone et de la chlorophylle de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. . Thèse Doctorat en Océanographie biologique Univ. Liège Belgique pp :196.
- VELIMIROV B., 1984.** Grazing of *Sarpa salpa* L. on *Posidonia oceanica* and utilization of soluble compounds. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. édit., *GIS Posidonie publ.*, Fr., 1 : 381-387.
- VELIMIROV B., WALENTA-SIMON M., 1992.** Seasonal changes in specific growth rates, production and biomass of a bacterial community in the water column above a Mediterranean seagrass system. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 80(2-3): 237-248.
- VERLAQUE M., 1981.** Preliminary data on some *Posidonia feeders*. *Rapp. P.V. Réunion. Commiss. internation. Explor. Sci. Médit.* 27(2): 201-202.
- VERLAQUE M., 1987.** Contribution à l'étude du phytobenthos d'un écosystème photophile thermophile marin en Méditerranée occidentale - Etude structurale et dynamique du phytobenthos et analyse des relations Faune-Flore. *Thèse Doctorat F-tat Sci. nat.* Aix-Marseille 11, Fr. : 389 p., 96 pl. + XXXVI tabi. h.t.
- VERLAQUE M., NÉDÉLEC H., 1983.** Biologie de *Paracentrotus lividus* (Lamarck) sur substrat rocheux en Corse (Méditerranée, France): alimentation des adultes. *Vie Milieu* 33(3-4): 191-201.
- VERLAQUE, M., C. F. BOUDOURESQUE., A. MEINESZ & V. GRAVEZ., 2000.** The *Caulerpa racemosa* complex (Caulerpales, Ulvophyceae) in the Mediterranean Sea. *Botanica Marina* 43: 49-68.
- VERLAQUE M., C. DURAND., J.M. HUISMAN., C.F. BOUDOURESQUE., Y. LE PARCO., 2003.** On the identity and origin of the Mediterranean invasive *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta). *European Journal of Phycology* 38: 325-339.

- VERLAQUE, M. & C.F. BOUDOURESQUE., 2005. Macrophytes introduites en Méditerranée: la part du trafic maritime. *Cryptogamie Algologie* 26 (2): 222-223.
- VIDEAU C., MERCERON M., 1992. Impact de la pisciculture marine intensive sur l'environnement. Revue bibliographique. Direction de l'Environnement et de l'aménagement littoral, *Ifremer publ.*, Fr.: 1-106.
- VILLELE X. de, VERLAQUE M., 1995. Changes and degradation in a *Posidonia oceanica* bed invaded by the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia* in the Northwestern Mediterranean. *Botanica marina* 38: 79-87.
- WALKER D.I., PERGENT G., FAZI S., 2001. Seagrass decomposition. In: Short F T., Coles R G. edits. *Global seagrass research methods*. Elsevier Scientific Publishers B.V., Amsterdam: 313-324.
- WARD T.J., 1989. The accumulation and effects of metals in seagrass habitats. In: Larkum A.W.D., McComb A.J., Shepherd S.A. edits. *Biology of seagrasses, Aquatic Plant Studies 2*. Elsevier publ.: 797-820.
- WARNAU, M., LEDENT, G., TEMARA, A., BOUQUENGEAU, J.M., JANGOUX, M., DUBOIS, P., 1995. Heavy metals in *Posidonia oceanica* and *Paracentrotus lividus* from seagrass beds of the northwestern Mediterranean. *The Science of the Total Environment* 171, 95-99.
- WARNAU, M., FOWLER, S.W., TEYSSIE, J.L., 1996. Biokinetics of selected heavy metals and radionuclides in two marine macrophytes : the seagrass *Posidonia oceanica* and the alga *Caulerpa taxifolia*. *Marine Environmental Research* 41, 343-362.
- WAYCOTT M., LES D.H., 2000. Current perspectives on marine Angiosperm evolution. *Biol. Mar. Medit.* 7(2): 160-163.
- WELLMAN C.H., OSTERLOFF P.L., MOHUDDIN U., 2003. Fragments of the earliest land plants. *Nature* 425: 282-285.
- WIEL J.H., 1994. *Biochimie générale* 7<sup>e</sup>édition, Masson, Paris.
- WITTMANN K., SCIPIONE M.B., FRESI E., 1981. Some laboratory experiments on the activity of the macrofauna in the fragmentation of detrital leaves of *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Rapp. P.V. Réunion. Commiss. internation. Explor. Sci. Médit.* 27(2): 205-206.
- WITTMANN K.J., 1984. Temporal and morphological variations of growth in a natural sand of *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Marine ecology*, 5(4): 301-316.
- WOLFF, T., 1976. Utilization of seagrass in the deep sea. *Aquat. Bot.* 2: 161-174.
- ZALOKAR M., 1942. Les associations "sous-marines" de la côte adriatique au-dessous de Velebit. *Bull. Soc. bot. Genève*.
- ZIEMAN JC., 1974. Methods for study of the growth and production of the turtle grass, *Thalassia testudinum* Köning. *Aquaculture* 4: 139-143.
- ZIMMERMAN RC et RS ALBERTE., 1996 Effect of light/dark transition on carbon translocation in eelgrass *Zostera marina* seedlings. *Mar Ecol Prog Ser* 136: 305-309.
- ZUPO V., FRESI E., 1984. A study of the food web of the *Posidonia oceanica* ecosystem : analysis of the gut contents of Echinoderms. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds, GIS Posidonie publ.*, Fr., 1: 373-379.



---

---

## *ANNEXES*

---

---

## Paramètres physico-chimiques

Annexe 1 : Températures de l'eau de mer relevées (en °C) durant la campagne d'échantillonnage dans les deux sites d'étude.

<i>Mois</i>	<i>Cap Carbon</i>	<i>Ain Franin</i>
<i>Novembre 08</i>	15,20	15,00
<i>Décembre</i>	15,10	15,30
<i>Janvier</i>	14,60	14,80
<i>Février</i>	14,90	15,20
<i>Mars</i>	15,90	16,40
<i>Avril</i>	17,20	17,30
<i>Mai</i>	17,80	18,00
<i>Juin</i>	18,10	18,20
<i>Juillet</i>	20,50	20,70
<i>Août</i>	22,10	22,00
<i>Septembre</i>	23,80	23,40
<i>Octobre</i>	18,20	18,00
<i>Novembre</i>	17,50	17,10

Annexe 2 : Salinité de l'eau de mer (p.s.u) relevée durant la campagne d'échantillonnage dans les deux sites d'étude.

<i>Mois</i>	<i>Cap Carbon</i>	<i>Ain Franin</i>
<i>Novembre 08</i>	35,30	35,20
<i>Décembre</i>	35,20	35,44
<i>Janvier</i>	35,50	35,30
<i>Février</i>	35,80	36,00
<i>Mars</i>	36,20	35,90
<i>Avril</i>	36,20	36,20
<i>Mai</i>	35,80	36,70
<i>Juin</i>	36,84	36,85
<i>Juillet</i>	35,90	36,00
<i>Août</i>	36,65	36,20
<i>Septembre</i>	36,20	36,25
<i>Octobre</i>	35,90	36,00
<i>Novembre</i>	35,90	35,80

## Caractéristiques de l'herbier

Annexe 3 : Densité de l'herbier à *Posidonia oceanica* (Nombre de faisceaux par m<sup>2</sup>) dans les deux sites d'étude.

	<i>Cap Carbon</i>		<i>Ain Franin</i>	
	m	s.e.	m	s.e.
<i>Novembre 08</i>	326,67	17,00	513,00	72,89
<i>Décembre</i>	338,33	33,00	389,67	20,76
<i>Janvier</i>	346,00	15,58	367,00	41,21
<i>Février</i>	390,67	10,66	386,00	48,19
<i>Mars</i>	430,00	22,86	340,67	88,64
<i>Avril</i>	344,00	37,85	429,67	89,70
<i>Mai</i>	327,33	32,01	413,33	47,75
<i>Juin</i>	302,33	46,23	472,33	4,78
<i>Juillet</i>	333,33	24,14	381,67	135,69
<i>Août</i>	384,67	79,32	430,33	91,07
<i>Septembre</i>	297,33	50,81	352,33	56,15
<i>Octobre</i>	416,33	26,04	356,00	41,04
<i>Novembre</i>	313,00	75,91	407,00	124,12

Annexe 4 : Taux de recouvrement de l'herbier à *Posidonia oceanica* dans les deux sites d'étude.

<i>Réplicats</i>	<i>Taux de recouvrement (%)</i>	
	<i>Cap Carbon</i>	<i>Ain Franin</i>
1	25	100
2	100	50
3	75	75
4	75	50
5	25	50
6	25	75
7	100	100
8	100	100
9	75	75
10	25	25
11	75	100
12	75	75
13	100	75
14	75	25
15	100	25
16	25	100
17	75	100
18	100	75
19	100	100
20	75	25
21	100	75
22	50	100
23	75	100
24	50	75
25	50	75
26	75	75
27	100	25
28	100	100
29	75	50
30	100	25
<i>Moyenne</i>	73,33	70

## Évolution saisonnière des paramètres phénologiques

**Annexe 5** : Longueurs moyennes de feuilles adultes (**FA**), de feuilles intermédiaires (**FI**) et de feuilles globales (**FAI**) en mm dans les deux sites d'étude, en fonction du mois de récolte.

**M** : valeurs maximales, **m** : valeurs minimales, **s.e.** : erreur standard.

	<i>Cap Carbon</i>						<i>Ain Franin</i>					
	FA	s.e.	FI	s.e.	FAI	s.e.	FA	s.e.	FI	s.e.	FAI	s.e.
<i>Novembre 08</i>	242,92	39,39	195,18	28,59	438,10	50,40	226,33	35,06	120,46	28,79	346,79	60,22
<i>Décembre</i>	231,19	81,42	116,16	22,49	347,34	87,18	181,18	48,28	132,21	31,51	313,39	71,91
<i>Janvier</i>	176,92	23,90	132,04	16,41	308,96	31,67	128,21 <b>m</b>	20,56	159,66	25,53	287,86 <b>m</b>	26,82
<i>Février</i>	145,24 <b>m</b>	11,96	174,95	25,59	320,20	30,09	140,79	17,96	174,73	28,88	315,51	28,20
<i>Mars</i>	207,81	24,36	293,65	27,61	501,46	38,28	211,85	30,12	311,38	33,62	523,23	44,60
<i>Avril</i>	235,64	23,83	324,79	37,58	560,43	44,63	237,83	55,63	338,59	41,72	576,41	67,61
<i>Mai</i>	240,91	29,57	350,91	39,81	591,83	49,33	232,96	29,18	314,98	29,88	547,94	41,42
<i>Juin</i>	352,84	59,13	498,24 <b>M</b>	84,84	851,08	96,98	311,76	34,62	479,55 <b>M</b>	171,30	791,31	175,00
<i>Juillet</i>	472,66	69,68	336,04	89,84	808,70	118,44	428,00	107,11	368,84	76,13	796,84	131,79
<i>Août</i>	545,31 <b>M</b>	51,82	406,93	94,70	952,24 <b>M</b>	107,70	624,93 <b>M</b>	89,94	488,68	22,40	981,33 <b>M</b>	246,40
<i>Septembre</i>	337,87	52,43	146,93	65,25	484,80	90,52	511,24	72,11	300,50	51,71	739,67	132,97
<i>Octobre</i>	187,32	25,50	73,63 <b>m</b>	23,25	260,95	39,50	273,12	36,92	89,48 <b>m</b>	47,97	362,97	71,36
<i>Novembre</i>	186,87	28,90	107,43	21,09	294,3 <b>m</b>	39,46	247,31	34,40	117,35	35,35	364,78	58,14

**Annexe 6** : Largeurs moyennes de feuilles adultes (**FA**), de feuilles intermédiaires (**FI**) et de feuilles globales (**FAI**) en mm dans les deux sites d'étude, en fonction du mois de récolte.

**M** : valeurs maximales, **m** : valeurs minimales, **s.e.** : erreur standard.

	<i>Cap Carbon</i>						<i>Ain Franin</i>					
	FA	s.e.	FI	s.e.	FAI	s.e.	FA	s.e.	FI	s.e.	FAI	s.e.
<i>Novembre 08</i>	10,69	0,44	9,58	0,55	10,14	0,45	10,94	0,66	9,53	0,54	10,24	0,54
<i>Décembre</i>	10,68	0,54	9,31	0,46	10,00	0,46	9,79 <b>m</b>	0,59	8,88	0,41	9,34 <b>m</b>	0,44
<i>Janvier</i>	10,80	0,48	9,39	0,35	10,10	0,35	9,92	0,55	8,85	0,92	9,39	0,74
<i>Février</i>	10,17 <b>m</b>	0,45	9,26 <b>m</b>	0,46	9,72 <b>m</b>	0,46	9,98	0,52	9,19	0,61	9,58	0,51
<i>Mars</i>	11,53	0,36	10,12	0,33	10,82	0,33	10,93	0,56	9,98	0,36	10,45	0,43
<i>Avril</i>	11,51	0,53	10,48 <b>M</b>	0,46	10,99	0,46	11,51 <b>M</b>	0,50	10,46 <b>M</b>	0,48	10,99 <b>M</b>	0,44
<i>Mai</i>	11,81 <b>M</b>	0,41	10,43	0,43	11,12 <b>M</b>	0,43	11,34	0,44	10,14	0,36	10,74	0,34
<i>Juin</i>	10,57	0,37	9,77	0,30	10,17	0,30	10,00	0,41	8,40 <b>m</b>	2,84	9,20	1,42
<i>Juillet</i>	10,95	0,49	9,95	0,42	10,47	0,42	10,65	0,82	9,85	0,55	10,25	0,59
<i>Août</i>	11,04	0,47	9,76	1,92	10,40	1,92	10,24	0,50	9,75	0,45	8,76	2,24
<i>Septembre</i>	11,21	0,35	9,52	2,59	10,36	2,59	10,78	0,87	10,20	0,40	9,47	2,19
<i>Octobre</i>	10,61	0,31	9,43	0,54	10,02	0,54	11,14	0,56	8,68	2,38	9,91	1,31
<i>Novembre</i>	11,12	0,40	9,79	0,29	10,46	0,29	10,42	0,61	9,15	0,50	9,79	0,52

**Annexe 7** : Longueurs moyennes (en mm) des pétioles (**Lp**) et des pétioles (**Lp R1**) dans les deux sites d'étude, en fonction du mois de récolte. **M** : valeurs maximales, **m** : valeurs minimales, **s.e.** : erreur standard.

	<i>Cap Carbon</i>				<i>Ain Franin</i>			
	Lp	s.e.	Lp R1	s.e.	Lp	s.e.	Lp R1	s.e.
<i>Novembre 08</i>	38,77	4,55	44,87	5,62	35,16	2,66	39,00	4,31
<i>Décembre</i>	38,28 <b>m</b>	4,85	40,23	4,78	23,18 <b>m</b>	3,25	29,26 <b>m</b>	5,33
<i>Janvier</i>	42,72	3,38	47,07	5,60	32,30	4,32	34,13	3,64
<i>Février</i>	35,50	4,30	39,90 <b>m</b>	3,13	31,83	3,21	35,53	4,27
<i>Mars</i>	42,44	2,47	47,07	3,19	40,19	2,54	42,97	4,11
<i>Avril</i>	45,03	2,40	48,50	2,43	42,21	1,32	44,30	2,38
<i>Mai</i>	46,40 <b>M</b>	2,26	48,67	2,21	36,03	1,54	39,77	4,34
<i>Juin</i>	42,82	4,95	46,77	2,88	42,87	2,87	45,80	2,78
<i>Juillet</i>	37,83	2,56	41,53	4,58	36,85	3,21	41,23	2,80
<i>Août</i>	45,39	1,63	49,93 <b>M</b>	1,55	45,57	3,98	51,53	2,51
<i>Septembre</i>	46,14	1,63	49,83	2,18	46,37 <b>M</b>	1,54	50,63 <b>M</b>	2,72
<i>Octobre</i>	41,56	5,42	48,50	1,88	40,64	1,98	46,73	2,14
<i>Novembre</i>	40,20	2,37	45,03	2,34	32,72	2,22	37,60	4,79

**Annexe 8** : Surface moyennes (cm<sup>2</sup>) de feuilles adultes (**FA**), de feuilles intermédiaires (**FI**) et de feuilles globales (**FAI**) dans les deux sites d'étude, en fonction du mois de récolte. **M** : valeurs maximales, **m** : valeurs minimales, **s.e.** : erreur standard.

	<i>Cap Carbon</i>						<i>Ain Franin</i>					
	FA	s.e.	FI	s.e.	FAI	s.e.	FA	s.e.	FI	s.e.	FAI	s.e.
<i>Novembre 08</i>	25,99	4,34	18,7	2,95	44,38	5,11	24,80	4,33	11,47	2,80	35,51	6,54
<i>Décembre</i>	24,63	8,49	10,85	2,34	34,73	8,81	17,84	5,21	11,82	3,21	29,43	7,65
<i>Janvier</i>	19,1	2,65	12,41	1,67	31,19	3,23	12,93 <b>m</b>	4,42	14,17	2,18	27,13 <b>m</b>	4,26
<i>Février</i>	14,77 <b>m</b>	1,35	16,26	2,90	31,14	3,50	14,05	1,93	16,06	3,01	30,25	3,33
<i>Mars</i>	23,93	2,63	29,73	3,19	54,25	4,08	23,16	3,64	31,09	3,64	54,75	5,69
<i>Avril</i>	27,12	3,15	34,12	4,62	61,67	6,09	27,32	6,19	35,52	5,33	63,31	7,54
<i>Mai</i>	28,41	3,30	36,58 <b>M</b>	4,42	65,76	5,51	26,39	3,19	31,97	3,58	58,84	4,71
<i>Juin</i>	37,36	7,14	48,74	8,51	86,61	10,59	31,16	3,66	44,76 <b>M</b>	16,15	75,01	21,16
<i>Juillet</i>	51,7	7,72	33,54	9,40	84,59	13,37	45,67	11,97	36,31	7,65	81,74	14,55
<i>Août</i>	60,13 <b>M</b>	5,52	41,22	10,43	99,04 <b>M</b>	15,50	63,94 <b>M</b>	9,42	47,69	22,07	90,63 <b>M</b>	37,48
<i>Septembre</i>	37,92	6,26	14,99	6,68	50,82	12,59	54,97	8,39	30,76	13,25	72,03	24,13
<i>Octobre</i>	19,91	3,01	7,03 <b>m</b>	2,49	26,23 <b>m</b>	4,52	30,48	4,73	8,36 <b>m</b>	4,55	36,52	9,42
<i>Novembre</i>	20,79	3,41	10,54	2,19	30,8	4,35	25,73	3,50	10,75	3,21	35,64	5,50

**Annexe 9** : Indice foliaire ( $m^2 / m^2$ ) de feuilles adultes (**FA**), de feuilles intermédiaires (**FI**) et de feuilles globales (**FAI**) dans les deux sites d'étude, en fonction du mois de récolte. **M** : valeurs maximales, **m** : valeurs minimales, **s.e.** : erreur standard.

	<b>Cap Carbon</b>						<b>Ain Franin</b>					
	<b>FA</b>	<b>s.e.</b>	<b>FI</b>	<b>s.e.</b>	<b>FAI</b>	<b>s.e.</b>	<b>FA</b>	<b>s.e.</b>	<b>FI</b>	<b>s.e.</b>	<b>FAI</b>	<b>s.e.</b>
<b>Novembre 08</b>	0,91	0,15	0,65	0,65	1,55	0,18	1,00	0,17	0,46	0,11	1,43	0,26
<b>Décembre</b>	0,86	0,30	0,38	0,08	1,22	0,31	0,72	0,21	0,48	0,13	1,19	0,31
<b>Janvier</b>	0,67	0,09	0,43	0,06	1,09	0,11	0,52 <b>m</b>	0,18	0,57	0,09	1,09 <b>m</b>	0,17
<b>Février</b>	0,52	0,05	0,57	0,10	1,09	0,12	0,57	0,08	0,65	0,12	1,22	0,13
<b>Mars</b>	0,84	0,09	1,04	0,11	1,90	0,14	0,93	0,15	1,25	0,15	2,21	0,23
<b>Avril</b>	0,95	0,11	1,19	0,16	2,16	0,21	1,10	0,25	1,43	0,21	2,55	0,30
<b>Mai</b>	0,99	0,12	1,28 <b>M</b>	0,15	2,30	0,19	1,06	0,13	1,29	0,14	2,37	0,19
<b>Juin</b>	1,31	0,25	1,71	0,30	3,03	0,37	1,26	0,15	1,8 <b>M</b>	0,65	3,02	0,85
<b>Juillet</b>	1,81 <b>M</b>	0,27	1,17	0,33	2,96 <b>M</b>	0,47	1,84	0,48	1,46	0,31	3,29	0,59
<b>Août</b>	2,10	0,19	1,44	0,37	3,49	0,54	2,58 <b>M</b>	0,38	1,42	0,88	3,65 <b>M</b>	1,51
<b>Septembre</b>	1,33	0,22	0,52	0,23	1,78	0,44	2,22	0,34	0,94	0,53	2,9	0,97
<b>Octobre</b>	0,70	0,11	0,25 <b>m</b>	0,01	0,92	0,16	1,23	0,19	0,34 <b>m</b>	0,18	1,47	0,38
<b>Novembre</b>	0,73 <b>m</b>	0,12	0,37	0,08	1,08 <b>m</b>	0,15	1,04	0,14	0,43	0,13	1,44	0,22

**Annexe 10** : Coefficient A (en pourcentage) de feuilles adultes (**FA**), de feuilles intermédiaires (**FI**) et de feuilles globales (**FAI**) dans les deux sites d'étude, en fonction du mois de récolte. **M** : valeurs maximales, **m** : valeurs minimales.

	<b>Cap Carbon</b>			<b>Ain Franin</b>		
	<b>FA</b>	<b>FI</b>	<b>FAI</b>	<b>FA</b>	<b>FI</b>	<b>FAI</b>
<b>Novembre 08</b>	54,26	8,00	31,13	50,62	11,96	31,29
<b>Décembre</b>	50,00	1,08 <b>m</b>	25,54	39,74	10,53	25,14
<b>Janvier</b>	54,65	11,39	33,02	35,13	3,00	19,07 <b>m</b>
<b>Février</b>	42,17 <b>m</b>	7,37	24,77 <b>m</b>	76,83	0,00 <b>m</b>	38,42
<b>Mars</b>	88,89	12,77	50,83	89,53	0,00 <b>m</b>	44,77
<b>Avril</b>	71,76	34,72	53,24	86,67	18,28	52,48
<b>Mai</b>	72,37	22,99	47,68	83,81	26,67	55,24
<b>Juin</b>	66,96	51,47	59,21	100,00 <b>M</b>	76,12 <b>M</b>	88,06 <b>M</b>
<b>Juillet</b>	90,91 <b>M</b>	55,13	73,02	94,68	36,25	65,47
<b>Août</b>	83,78	80,39 <b>M</b>	82,09 <b>M</b>	90,32	11,32	50,82
<b>Septembre</b>	65,79	27,91	46,85	93,02	8,58	50,80
<b>Octobre</b>	42,50	18,92	30,71	78,65	9,25	43,95
<b>Novembre</b>	53,03	10,47	31,75	89,28	12,12	50,70

## Biomasse

**Annexe 11** : Biomasse (en mg /Poids sec) de feuilles adultes (**BFA**), de feuilles intermédiaires (**BFI**), de feuilles globales (**BFAI**), des épiphytes des feuilles adultes (**BepFA**), des épiphytes des feuilles intermédiaires (**BepFI**), des épiphytes des feuilles globales (**BepFAI**) dans les deux sites d'étude, en fonction du mois de récolte. **M** : valeurs maximales, **m** : valeurs minimales.

		<b>Cap Carbon</b>					
		<b>BFA</b>	<b>BFI</b>	<b>BFAI</b>	<b>Bep FA</b>	<b>Bep FI</b>	<b>Bep FAI</b>
<b>Novembre 08</b>	<b>Moyenne</b>	423,55	254,63	678,18	233,64	255,54	489,18
	<b>Erreur standard</b>	159,46	93,60	196,93	270,01	259,47	296,57
<b>Décembre</b>	<b>Moyenne</b>	344,54	169,77	514,31	68,24	129,69	197,92
	<b>Erreur standard</b>	308,77	82,06	313,74	34,41	26,29	48,59
<b>Janvier</b>	<b>Moyenne</b>	220,35	143,98	364,32	95,30	144,01	239,31
	<b>Erreur standard</b>	149,50	54,74	145,51	14,51	179,19	179,55
<b>Février</b>	<b>Moyenne</b>	115,97 <b>m</b>	261,48	377,45	95,38	261,48	356,86
	<b>Erreur standard</b>	36,12	61,28	62,97	13,48	312,45	315,08
<b>Mars</b>	<b>Moyenne</b>	304,44	553,53	857,97	162,65	465,82	628,47
	<b>Erreur standard</b>	73,78	174,05	200,30	32,48	201,91	204,58
<b>Avril</b>	<b>Moyenne</b>	340,60	458,23	798,83	202,99	458,24	661,23
	<b>Erreur standard</b>	97,53	132,24	157,30	29,12	44,14	54,81
<b>Mai</b>	<b>Moyenne</b>	335,75	492,28	828,03	230,45	492,27	722,72
	<b>Erreur standard</b>	106,84	163,52	193,54	16,28	117,07	117,73
<b>Juin</b>	<b>Moyenne</b>	885,52	634,82 <b>M</b>	1520,34	345,29	634,76 <b>M</b>	980,05
	<b>Erreur standard</b>	176,60	233,07	258,70	74,33	102,75	136,74
<b>Juillet</b>	<b>Moyenne</b>	1099,84	552,12	1651,95 <b>M</b>	591,04 <b>M</b>	480,02	1071,05 <b>M</b>
	<b>Erreur standard</b>	408,90	245,38	492,45	153,73	112,03	192,64
<b>Août</b>	<b>Moyenne</b>	1160,72 <b>M</b>	451,07	1611,79	578,68	415,84	994,52
	<b>Erreur standard</b>	273,73	266,21	410,33	152,08	113,77	183,01
<b>Septembre</b>	<b>Moyenne</b>	836,57	94,48	931,06	200,96	96,01	296,97
	<b>Erreur standard</b>	172,70	75,33	174,44	115,77	62,19	127,36
<b>Octobre</b>	<b>Moyenne</b>	391,07	22,14 <b>m</b>	413,21	94,76	39,37 <b>m</b>	134,14 <b>m</b>
	<b>Erreur standard</b>	89,45	19,07	91,66	99,29	34,36	104,91
<b>Novembre</b>	<b>Moyenne</b>	178,63	124,44	303,08 <b>m</b>	71,70 <b>m</b>	126,41	198,11
	<b>Erreur standard</b>	70,93	52,95	80,95	132,94	126,11	192,22

## Suite Annexe 11

		<b>Ain Franin</b>					
		<b>BFA</b>	<b>BFI</b>	<b>BFAI</b>	<b>Bep FA</b>	<b>Bep FI</b>	<b>Bep FAI</b>
<b>Novembre 08</b>	<i>Moyenne</i>	311,32	170,53	481,85	156,25 <b>M</b>	5,99	162,25
	<i>Erreur standard</i>	97,04	77,97	124,88	179,76	4,56	180,44
<b>Décembre</b>	<i>Moyenne</i>	272,74	238,91	511,65	19,14	4,31 <b>m</b>	23,45
	<i>Erreur standard</i>	116,34	117,41	189,78	9,91	3,19	9,96
<b>Janvier</b>	<i>Moyenne</i>	142,33 <b>m</b>	270,34	412,68 <b>m</b>	17,02	5,04	22,06 <b>m</b>
	<i>Erreur standard</i>	61,42	84,41	115,87	9,64	3,19	10,18
<b>Février</b>	<i>Moyenne</i>	187,13	305,52	492,65	15,31 <b>m</b>	21,29	36,60
	<i>Erreur standard</i>	54,61	93,26	109,69	9,55	10,19	13,99
<b>Mars</b>	<i>Moyenne</i>	339,44	718,24	1057,68	17,77	39,82	57,60
	<i>Erreur standard</i>	128,89	211,91	248,95	9,62	13,80	21,47
<b>Avril</b>	<i>Moyenne</i>	429,02	761,83	1190,85	19,19	40,53	59,72
	<i>Erreur standard</i>	216,99	253,65	293,83	8,30	13,80	17,15
<b>Mai</b>	<i>Moyenne</i>	478,87	676,50	1155,37	20,57	42,14	62,71
	<i>Erreur standard</i>	167,76	259,03	343,48	8,31	13,92	17,58
<b>Juin</b>	<i>Moyenne</i>	639,71	815,71 <b>M</b>	1455,42	22,08	43,72	65,80
	<i>Erreur standard</i>	218,74	318,71	433,23	8,30	13,97	14,29
<b>Juillet</b>	<i>Moyenne</i>	828,42	615,78	1444,20	40,96	59,85	100,81
	<i>Erreur standard</i>	317,32	242,81	439,69	70,74	75,09	114,65
<b>Août</b>	<i>Moyenne</i>	1055,34 <b>M</b>	534,72	1590,05 <b>M</b>	113,03	78,56	191,59
	<i>Erreur standard</i>	213,26	397,16	494,72	68,99	36,82	80,95
<b>Septembre</b>	<i>Moyenne</i>	907,13	205,68	1112,81	136,19	116,65 <b>M</b>	252,84 <b>M</b>
	<i>Erreur standard</i>	136,77	188,81	230,17	87,57	35,78	90,69
<b>Octobre</b>	<i>Moyenne</i>	456,16	75,37 <b>m</b>	531,53	106,38	54,62	161,01
	<i>Erreur standard</i>	168,02	36,13	178,60	81,02	11,67	81,26
<b>Novembre</b>	<i>Moyenne</i>	338,05	120,40	458,45	54,27	28,69	82,96
	<i>Erreur standard</i>	78,65	64,08	108,70	65,90	15,66	64,97

## Caractères lépidochronologiques

**Annexe 12** : Nombre moyen d'écailles formées par cycle dans les rhizomes orthotropes de *Posidonia oceanica*, dans les deux sites étudiés, en fonction de l'année lépidochronologique. s.e : erreur standard.

	<b>Cap Carbon</b>		<b>Ain Franin</b>	
	<b>moyenne</b>	<b>s.e.</b>	<b>moyenne</b>	<b>s.e.</b>
<b>2009</b>	8,05	2,04	7,84	2,60
<b>2008</b>	8,21	2,62	8,61	2,55
<b>2007</b>	8,15	2,34	8,51	2,14
<b>2006</b>	8,08	2,24	8,46	2,16
<b>2005</b>	7,97	2,26	8,31	2,46
<b>2004</b>	8,02	2,05	8,10	2,06
<b>2003</b>	8,13	2,42	8,59	6,72
<b>2002</b>	8,10	2,20	8,23	2,36
<b>2001</b>	7,74	2,37	8,36	2,62
<b>2000</b>	8,23	1,58	9,33	2,22
<b>1999</b>	8,42	2,36	8,50	1,28
<b>1998</b>	5,60	1,85	-----	-----
<b>moyenne</b>	<b>7,89</b>	2,63	<b>8,44</b>	2,32

**Annexe 13** : Vitesse de croissance (en mm / an) des rhizomes orthotropes de *Posidonia oceanica*, dans les deux sites étudiés, en fonction de l'année lépidochronologique. **M** : valeurs maximales, **m** : valeurs minimales ;s.e : erreur standard.

	<b>Cap Carbon</b>		<b>Ain Franin</b>	
	<b>moyenne</b>	<b>s.e.</b>	<b>moyenne</b>	<b>s.e.</b>
<b>2009</b>	9,43	4,17	9,62	4,12
<b>2008</b>	10,00 <b>M</b>	4,92	10,76	4,70
<b>2007</b>	9,43	3,85	10,62	3,95
<b>2006</b>	9,26	3,38	10,12	4,22
<b>2005</b>	9,07	3,49	9,92	3,29
<b>2004</b>	9,30	4,12	9,25	3,09
<b>2003</b>	9,05	3,94	9,25	3,12
<b>2002</b>	8,91	3,96	9,54	4,03
<b>2001</b>	7,75	1,87	8,84 <b>m</b>	3,00
<b>2000</b>	7,63	3,6	9,00	4,00
<b>1999</b>	7,50 <b>m</b>	3,2	11,00 <b>M</b>	6,28
<b>1998</b>	9,20	2,71	-----	-----
<b>moyenne</b>	<b>8,88</b>	1,99	<b>9,81</b>	3,56

**Annexe 14** : Production de rhizomes par faisceau (en mg de poids sec / an) de *Posidonia oceanica*, dans les deux sites étudiés, en fonction de l'année lépidochronologique. s.e : erreur standard.

	<i>Cap Carbon</i>		<i>Ain Franin</i>	
	moyenne	s.e.	moyenne	s.e.
<b>2009</b>	0,14	0,18	0,10	0,0819
<b>2008</b>	0,15	0,19	0,12	0,0830
<b>2007</b>	0,14	0,18	0,12	0,094
<b>2006</b>	0,12	0,14	0,12	0,1064
<b>2005</b>	0,12	0,15	0,12	0,2570
<b>2004</b>	0,12	0,09	0,11	0,1115
<b>2003</b>	0,13	0,04	0,12	0,1364
<b>2002</b>	0,13	0,02	0,11	0,097
<b>2001</b>	0,12	0,18	0,13	0,179
<b>2000</b>	0,09	0,13	0,14	0,1793
<b>1999</b>	0,13	0,19	0,09	0,861
<b>1998</b>	0,10	0,05	-----	-----
<b>moyenne</b>	<b>0,12</b>	0,17	<b>0,12</b>	0,20

---

---

## LISTE DES FIGURES

---

---

<b>Figure 1</b> : Hypothèse possible des différents stades des Magnoliophytes marines depuis le Crétacé jusqu'à nos jours.....	5
<b>Figure 2</b> : Représentation d'une Magnoliophyte marine du genre <i>Zostera</i> .....	8
<b>Figure 3</b> : Section longitudinale d'une feuille de <i>P. oceanica</i> .....	9
<b>Figure 4</b> : Distribution mondiale et diversité des Magnoliophytes marines.....	11
<b>Figure 5</b> : Répartition de <i>P.oceanica</i> le long des côtes Méditerranéennes.....	14
<b>Figure 6</b> : Aspect de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> à Cap Carbon.....	15
<b>Figure 7</b> : Morphologie de <i>Posidonia oceanica</i> .....	16
<b>Figure 8</b> : Quelques exemples d'épiphytes.....	17
<b>Figure 9</b> : a) Bloc diagramme montrant la structure d'une matre ; b) Un rhizome plagiotrope de <i>Posidonia oceanica</i> portant des racines ainsi que des rhizomes orthotropes avec des faisceaux de feuilles à leurs extrémités.....	19
<b>Figure 10</b> : Cycle de vie de Posidonie.....	20
<b>Figure 11</b> : Fruits de <i>Posidonia oceanica</i> (« olive de mer»). a : Début de fructification. b : Fruits mûrs. c : Fruits à la surface de l'eau.....	21
<b>Figure 12</b> : cycle de Calvin-Benson.....	23
<b>Figure 13</b> : Représentation des transferts possibles d'O <sub>2</sub> vers les racines et rhizomes.....	24
<b>Figure 14</b> : Dynamique de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> en mode battu. La montée de la "matte", au cours du temps, s'arrête à 1-2m de profondeur. L'érosion par l'hydrodynamisme de surface détermine la formation d'une pénéplaine de "matte morte.....	26
<b>Figure 15</b> : Le récif-barrière de Posidonie de la baie de Port-Cros.....	27
<b>Figure 16</b> : Dynamique de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> en mode calme.....	28
<b>Figure 17</b> : L'herbier de plaine. En haut, coupe perpendiculaire à la côte. En bas, vue de dessus des mêmes structures.....	29
<b>Figure 18</b> : Coupe transversale dans un herbier de colline.....	30
<b>Figure 19</b> : Un herbier tigré, vu de dessus.....	31
<b>Figure 20</b> : Micro-atoll de <i>Posidonia oceanica</i> .....	31
<b>Figure 21</b> : Ilots vivants de <i>P.oceanica</i> au sommet de «pains de sucre ».....	32
<b>Figure 22</b> : Coupe transversale dans un herbier en escalier.....	33
<b>Figure 23</b> : Coupe et vue en perspective d'un herbier ondoyant à <i>Posidonia oceanica</i> .....	33
<b>Figure 24</b> : Feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> couvertes d'épiphytes, au niveau de Cap Carbon.....	34
<b>Figure 25</b> : Le poisson <i>Sarpa salpa</i> (saupe) est l'un des principaux consommateurs de <i>Posidonia oceanica</i> .....	35
<b>Figure 26</b> : Relations trophiques au sein de l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i> .....	37
<b>Figure 27</b> : Devenir de la production primaire (en pourcentage de carbone) de <i>Posidonia oceanica</i> .....	39
<b>Figure 28</b> : Rôle écologique de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> .....	41
<b>Figure 29</b> : Piégeage du sédiment et réduction de l'hydrodynamisme dans un herbier à <i>Posidonia</i> .....	42
<b>Figure 30</b> : Une vue de l'épaisseur de la matre, au niveau de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> de Cap.....	43
<b>Figure 31</b> : Banquette de feuilles mortes de <i>Posidonia oceanica</i> à Cap Carbon.....	44
<b>Figure 32</b> : <i>Caulerpa taxifolia</i> (Chlorobionte, Plantae) : aspect général de l'extrémité d'un rhizome sur lequel sont fixées quelques feuilles.....	52
<b>Figure 33</b> : Localisation des deux sites étudiés (AF Ain Franin ; CC Cap Carbon).....	65
<b>Figure 34</b> : Réalisation du transect au niveau du site Cap Carbon.....	66
<b>Figure 35</b> : Détermination de la densité de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> du site Cap Carbon.....	67
<b>Figure 36</b> : Détermination du taux de recouvrement de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> d'Ain Franin.....	70
<b>Figure 37</b> : Récolte des rhizomes de <i>P. oceanica</i> au niveau du site d'Ain Franin.....	71
<b>Figure 38</b> : Dissection phénologique de <i>Posidonia oceanica</i> .....	73
<b>Figure 39</b> : Dissection d'un rhizome de <i>P. oceanica</i> .....	76

<b>Figure 40:</b> Le cycle d'épaisseur des écailles et la notion d'années lépidochronologiques.....	77
<b>Figure 41:</b> Transect topographique réalisé à Cap Carbon.....	82
<b>Figure 42:</b> Transect topographique réalisé à Ain Franin.....	83
<b>Figure 43 :</b> Évolution saisonnière de la température dans les deux sites d'étude.....	84
<b>Figure 44 :</b> Densité moyenne des faisceaux au niveau des herbiers de Posidonies des sites d'étude.....	86
<b>Figure 45 :</b> Nombre moyen des feuilles par faisceau (adultes et intermédiaires) dans les sites étudiés en fonction des dates de récolte.....	88
<b>Figure 46 :</b> Longueur des feuilles (mm) par faisceau (adultes et intermédiaires) dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte.....	91
<b>Figure 47 :</b> Largeur moyenne des feuilles globales (mm) par faisceau (adultes et intermédiaires) dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte.....	96
<b>Figure 48 :</b> Largeur moyenne des feuilles adultes (mm) dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte.....	96
<b>Figure 49 :</b> Largeur moyenne des feuilles intermédiaires (mm) dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte.....	97
<b>Figure 50 :</b> Corrélation entre la longueur des feuilles adultes de rang1 et celle de leurs pétioles (Cap Carbon).....	98
<b>Figure 51 :</b> Corrélation entre la longueur des feuilles adultes du rang 1 et celle de leurs pétioles (Ain Franin).....	98
<b>Figure 52 :</b> Variation de la longueur moyenne(mm) des pétioles des feuilles adultes dans les sites étudiés en fonction des dates de récolte.....	99
<b>Figure 53 :</b> Variation de l'indice foliaire globale en m <sup>2</sup> / m <sup>2</sup> d'herbier en fonction de la période de récolte des rhizomes dans les sites étudiés.....	100
<b>Figure 54 :</b> Evolution saisonnière de la surface foliaire moyenne des feuilles adultes , intermédiaires et globales d'Ain Franin.....	103
<b>Figure 55 :</b> Evolution saisonnière de la surface foliaire moyenne des feuilles adultes , intermédiaires et globales de Cap Carbon.....	103
<b>Figure 56 :</b> Variation du coefficient « A » globale (feuilles adultes et intermédiaires), en pourcentage, en fonction de la période de récolte des rhizomes (novembre 2008à novembre 2009) dans les deux sites étudiés.....	106
<b>Figure 57 :</b> Évolution saisonnière de la biomasse moyenne des feuilles adultes, intermédiaires et globales au niveau de Cap Carbon.....	110
<b>Figure 58 :</b> Évolution saisonnière de la biomasse moyenne des feuilles adultes, intermédiaires et globales au niveau d'Ain Franin.....	110
<b>Figure 59 :</b> Evolution saisonnière de la biomasse moyenne des épiphytes des feuilles adultes, intermédiaires et globales au niveau de Cap Carbon.....	112
<b>Figure 60 :</b> Evolution saisonnière de la biomasse moyenne des épiphytes des feuilles adultes, intermédiaires et globales au niveau d'Ain Franin.....	112
<b>Figure 61 :</b> Évolution du nombre moyen d'écailles par cycle dans les sites d'étude.....	115
<b>Figure 62 :</b> Évolution du nombre moyen d'écailles par cycle (Cap Carbon).....	117
<b>Figure 63 :</b> Évolution du nombre moyen d'écailles par cycle (Ain Franin).....	117
<b>Figure 64 :</b> Evolution de la vitesse de croissance moyenne des rhizomes au niveau des deux sites d'étude.....	119
<b>Figure 65 :</b> Evolution de la croissance moyenne des rhizomes et du nombre moyen de feuilles produites par an , à la station de Cap Carbon.....	120
<b>Figure 66 :</b> Evolution de la croissance moyenne des rhizomes et du nombre moyen de feuilles produites par an , à la station de Cap Carbon.....	120

## Liste des figures

<b>Figure 67</b> : Rythme de chute de feuilles en données cummulées, pour nos deux sites d'études entre novembre 2008 et novembre 2009.....	123
<b>Figure 68</b> : Rythme de formation des feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> en données cumulées, pour nos deux sites d'études, entre novembre 2008 et novembre 2009.....	126
<b>Figure 69</b> : Corrélation entre le vitesse de croissance et la production moyenne des rhizomes (Ain Franin).....	133
<b>Figure 70</b> : Corrélation entre le vitesse de croissance et la production moyenne des rhizomes (Cap Carbon).....	133
<b>Figure 71</b> : Presence de <i>Caulerpa racemosa</i> (Forsskal) J. Agardh au niveau de Cap Carbon.....	176

---

---

## LISTE DES TABLEAUX

---

---

<b>Tableau 1</b> : Classification des 14 genres de Magnoliophytes.....	6
<b>Tableau 2</b> : Valeur de la biomasse animale de chaque compartiment trophique constituant l'écosystème à <i>P. oceanica</i> .....	35
<b>Tableau 3</b> : Valeur annuelle moyenne des services fournis par quelques grands types d'écosystèmes terrestres et marins.....	45
<b>Tableau 4</b> : Pays Méditerranéens qui ont adopté (A) ou ratifié (R) les conventions internationales, état au 3/04/2003.....	54
<b>Tableau 5</b> : Fréquences mensuelles des précipitations moyennes P (mm) et des températures relevées au niveau d'Oran.....	62
<b>Tableau 6</b> : Fréquences mensuelles des vitesses moyennes (V moy m/s), direction et force, des vents relevées au niveau de la baie d'Oran.....	62
<b>Tableau 7</b> : Fréquences mensuelles des précipitations moyennes (P mm) et des températures relevées au niveau d'Arzew.....	64
<b>Tableau 8</b> : Fréquences mensuelles des vitesses moyennes (moy m/s), direction et force, des vents relevées au niveau de la baie d'Arzew.....	64
<b>Tableau 9</b> : Classification de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> selon la densité des faisceaux de feuilles au m <sup>2</sup> .....	68
<b>Tableau 10</b> : Échelle d'évaluation de la densité (faisceaux / m <sup>2</sup> ) des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> en fonction de la profondeur. DA = densité anormale ; DN = densité normale ; DSI = densité sub-normale inférieure ; DSS = densité sub-normale supérieure.....	69
<b>Tableau 11</b> : Plan d'échantillonnage.....	70
<b>Tableau 12</b> : Moyennes estivale et hivernale de salinité enregistrées dans les deux sites d'étude.....	85
<b>Tableau 13</b> : Densités moyennes des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> relevés dans la littérature pour différentes localités et profondeurs.....	87
<b>Tableau 14</b> : Nombre des feuilles adultes (moyenne mensuelle et annuelle) dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte des rhizomes.....	89
<b>Tableau 15</b> : Nombre des feuilles intermédiaires (moyenne mensuelle et annuelle) dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte des rhizomes.....	98
<b>Tableau 16</b> : Nombre moyen des feuilles globales (adultes et intermédiaires) par faisceau de <i>Posidonia oceanica</i> . Valeurs extrêmes (Maximum : M ; minimum : m) relevées dans la littérature pour différentes localités et profondeurs.....	90
<b>Tableau 17</b> : Longueur moyenne des feuilles globales (adultes et intermédiaires) de <i>Posidonia oceanica</i> . Valeurs extrêmes (Maximum : M ; minimum : m) relevées dans la littérature pour différentes localités.....	92
<b>Tableau 18</b> : Longueur moyenne (en mm) des feuilles adultes dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte des rhizomes.....	93
<b>Tableau 19</b> : Longueur moyenne (en mm) des feuilles intermédiaires dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte des rhizomes.....	94
<b>Tableau 20</b> : Longueurs moyennes des feuilles adultes et intermédiaires de <i>Posidonia oceanica</i> .....	94
<b>Tableau 21</b> : Largeur moyenne des feuilles adultes et intermédiaires en mm. Valeur relevées dans la littérature pour différentes localités et profondeurs.....	97
<b>Tableau 22</b> : Longueur moyenne des pétioles (en mm) de <i>Posidonia oceanica</i> . Valeurs extrêmes (Maximum : M ; minimum : m) relevée dans la littérature.....	99
<b>Tableau 23</b> : Surface et indice foliaires moyens par type de feuilles : minimum, maximum et moyenne annuelle observés dans l'ensemble des stations.....	101
<b>Tableau 24</b> : Surface foliaire (cm <sup>2</sup> / faisceau) (SF) et indice foliaire globale (en m <sup>2</sup> / m <sup>2</sup> ) (LAI) de <i>Posidonia oceanica</i> relevé dans la littérature.....	102
<b>Tableau 25</b> : Coefficient « A » des feuilles adultes en pourcentage dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte des rhizomes (novembre 2008 à novembre 2009).....	105
<b>Tableau 26</b> : Coefficient « A » des feuilles intermédiaires en pourcentage dans les sites étudiés en fonction de la date de récolte des rhizomes (novembre 2008 à novembre 2009).....	105
<b>Tableau 27</b> : Coefficient A des feuilles globales (adultes et intermédiaires) .Valeurs extrêmes (Maximum : M ; minimum : m ; *Moyenne annuelle) relevées dans la littérature pour différentes localités et profondeurs.....	106

<b>Tableau 28</b> : Moyennes annuelles des biomasses des feuilles et de leurs épiphytes observées dans les deux sites d'étude.....	108
<b>Tableau 29</b> : Biomasse moyenne des feuilles par faisceau et par m <sup>2</sup> pour chaque type de feuilles : minimum et maximum observés dans les sites d'étude.....	109
<b>Tableau 30</b> : Biomasse moyenne des épiphytes des feuilles par faisceau et par m <sup>2</sup> pour chaque type de feuilles : minimum et maximum observés dans les sites d'étude.....	111
<b>Tableau 31</b> : Biomasse moyennes des feuilles globales (adultes et intermédiaires) et de leurs épiphytes.Valeurs extrêmes (Maximum : M; minimum : m; * moyenne annuelle) de <i>Posidonia oceanica</i> relevée dans la littérature pour différentes localités et profondeurs.....	113
<b>Tableau 32</b> : Dates d'inversion des cycles d'épaisseur (inversion des minima et inversion des maxima). .....	114
<b>Tableau 33</b> : Nombre moyen d'écailles par cycle, valeurs relevées dans la littérature pour différentes localités.....	118
<b>Tableau 34</b> : Vitesse de croissance moyenne des rhizomes (mm /an). Valeurs relevées dans la littérature pour différentes localités.....	121
<b>Tableau 35</b> : Rythme de chute de feuilles dans les deux sites d'étude, entre novembre 2008 et novembre 2009 .Colonne de gauche : nombre moyen de feuilles tombées entre les deux mois ; colonne de droite : nombre de feuilles tombées depuis novembre 2008 (valeurs cumulées).....	122
<b>Tableau 36</b> : Rythme de chute des feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> (cumulé sur une année), relevé dans la littérature.....	124
<b>Tableau 37</b> : Évolution du nombre moyen de feuilles adultes et intermédiaires dans les sites étudiés, au cours de l'année. La variation du nombre de feuilles, par rapport au mois précédent, est également notée. Nb.F. : nombre de feuilles.....	124
<b>Tableau 38</b> :Rythme de formation des feuilles dans les sites étudiés. Chute : nombre moyen de feuilles tombées ; variation : augmentation ou diminution du nombre moyen de feuilles par faisceau ; formation : nombre moyen de nouvelles feuilles formées.....	125
<b>Tableau 39</b> : Rythme de formation des feuilles dans les sites étudiés. Chute. Colonne de gauche : nombre moyen de feuilles formées durant un mois ; colonne du centre nombre de feuilles formées depuis novembre 2008 (valeurs cumulées) ; colonne de droite : date d'apparition des nouvelles feuilles.....	125
<b>Tableau 40</b> : Rythme de formation des feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> (cumulé sur une année), relevé dans la littérature.....	126
<b>Tableau 41</b> : Longévité moyenne des feuilles à Ain Franin et Cap Carbon, en fonction de leur période de formation.	128
<b>Tableau 42</b> : Longévité maximale, minimale et moyenne des feuilles, relevée dans la littérature.....	129
<b>Tableau 43</b> : Densité des pétioles et des limbes des feuilles adultes de rang 1 (en Mg PS / cm), dans les sites d'étude.....	130
<b>Tableau 44</b> : Estimation de la production primaire foliaire (par faisceau et par m <sup>2</sup> ), au cours du cycle annuel (novembre 2008 à novembre 2009), dans les sites étudiées, en utilisant la totalité des feuilles adultes du rang 1 (entières et cassées).	132
<b>Tableau 45</b> : Production moyenne de rhizomes orthotropes de <i>Posidonia oceanica</i> ; valeurs relevées dans la littérature pour différentes localités du bassin méditerranéen. (mg PS/Rh /an) : biomasse en poids sec du rhizome en milligrammes par rhizome et par an,(mg PS/m <sup>2</sup> /an) : biomasse en poids sec du rhizome en milligrammes par mètre carré et par an ; m : profondeur en mètre.....	134
<b>Tableau 46</b> : Production primaire de <i>Posidonia oceanica</i> (g PS /faisceau /m <sup>2</sup> ). M: méthode de marquage ; L : méthode lépidochronologique.....	135

---

---

PUBLICATION

---

---

[Clicours.COM](https://www.clicours.com)



## PHENOLOGY OF POSIDONIA OCEANICA (LINNEAUS) DELILE IN THE WEST COAST OF ALGERIA

**F. CHAHROUR**

*Laboratoire Réseau de Surveillance Environnementale Université d'Oran (Algérie).*

**S. BOUMAZA**

*Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral d'Alger (Algérie).*

**R. SEMROUD**

*Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral d'Alger (Algérie).*

**Z. BOUTIBA**

*Laboratoire Réseau de Surveillance Environnementale Université d'Oran (Algérie).*

### ABSTRACT

*The Posidonia oceanica seagrass in the western coast of Algeria on the subject of annual monitoring from November 2008 to November 2009. Two sites are selected and each are represented by a station located 10 meters deep. The first is Cap Carbon which is a polluted site subject to various major releases, and the second one is Ain Franin considered as a reference site relatively far from sources of pollution other than pollution considered sporadic during the summer where there is a rare attendance of holidaymakers. A study of the phenology of Posidonia oceanica meadows, on the leaf biometry, the coefficient "A" and the surface shows that these parameters are strongly influenced by seasonal factors and not by the depth as our samples were made at the same depth.*

**Key Words:** Phenology, *Posidonia oceanica*, seasonal, depth, Cap Carbon, Ain Franin, Algeria.

### INTRODUCTION

The meadows constituted by the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile are considered one of the most important ecological assemblages of Mediterranean coastal systems Buia *et al.* (2000). In many areas of the Mediterranean coast, the *Posidonia* seagrass experienced significant regression due to many factors (Boudouresque and Meinesz, 1982; Peres, 1984; Krauss-Jensen *et al.*, 2004; Tunesi and Boudouresque, 2006): coastal development (right of hydrodynamics and sedimentation), pollution (hydrocarbons, pesticides, heavy metals) Kucuksezgin *et al.* (2006) organic matters, suspended solids, macro-wastes, anchors, the negative influence of human impacts (Short and



Wyllie, 1996; Orth *et al.*, 2006) and all practices that can cause a tear leaves or shoots of *Posidonia*. Indeed, *Posidonia oceanica* seagrass is fundamental to the quality of coastal environments (Augier, 1985; Pergent, 1991; Pergent *et al.*, 1995) and (Pergent *et al.*, 2005) and it has been object of numerous studies (Boudouresque *et al.*, 1979; Boudouresque *et al.*, 1980) and (Meinesz and Laurent, 1980). The Magnoliophyta marine organisms appear to be very interesting in the context of an environmental monitoring Boudouresque (2006). Phenological characters of *Posidonia oceanica* Magnoliophyta certainly make account of the vitality of these species, but May also reflect the quality of the environment where these structures are developed Pergent *et al.* (1995).

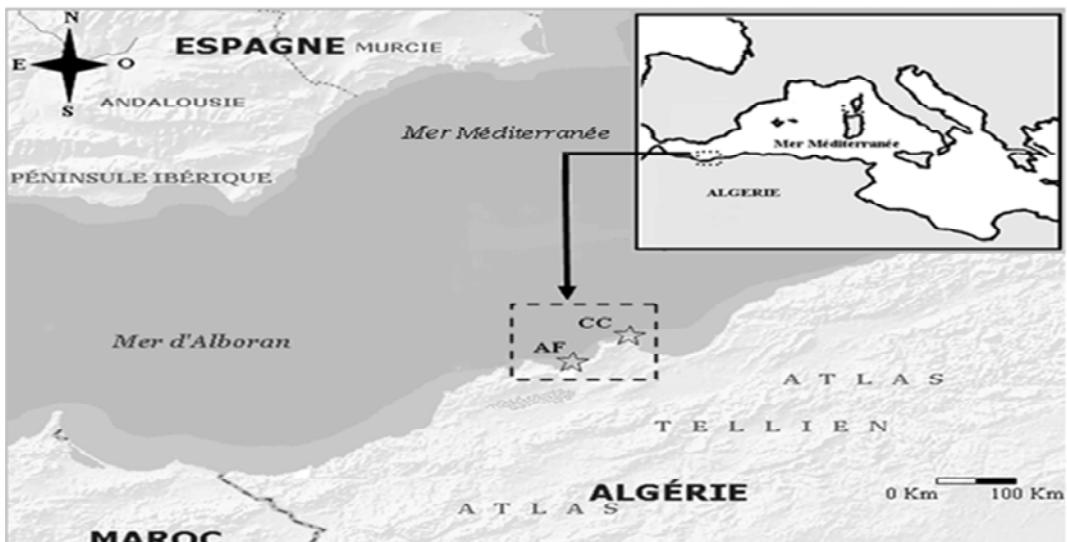
Any time despite the presence of *Posidonia oceanica* meadows along the Algerian coast, this research interest only one sector that is the coast of Algiers. We therefore seemed interesting to undertake a study of herbarium phenology of two sites of the basin on the west coast of Algeria because of their geographical conditions of different backgrounds, the first being a polluted site which is the site of Cap Carbon (Arzew), and the second one relatively considered as a reference site; namely, the site of Ain Franin (Oran). Therefore, we thought it is useful to compare the health status of both herbarium of the considered sites.

## 1. MATERIAL AND METHODS

### 1.1. Zone study

Annual cycles have involved two *Posidonia oceanica* seagrass, the first, located near the town of Arzew (Cap Carbon) 35° 54' 6.36 N and 0° 20' 20.22 W which is the headquarters, for several years of major urban and industrial discharges (Amar, 1998; Dermeche, 1998). In contrast, the second one is located about ten kilometers east of Oran (Ain Franin) 35° 46' 49.78'' N and 0° 31' 01.51'' W. (Figure 1). Which is subject only to sporadic releases (summer, currents) Belkhedim (2010).

**Figure-1.** Geographic location of stations studied: Ain Franin (AF) and Cap Carbon (CC).



## I.2. The sampling

The sampling ranged from November 2008 to November 2009, at the rate of one sample per month and per site. The crops of rhizomes, terminated by a beam lifetime are made in diving (scuba) to 10 meters deep. The studied seagrasses grow primarily on soft substrate. The harvested rhizomes are preserved in seawater formalin at 10%. This method of attachment allows you to work after rehydration of the material which is very close to the fresh material. For each site, counting in situ shoots has been undertaken in scuba using a quadrat placed randomly within the homogeneous *Posidonia oceanica* seagrass (Panayotidis 1980; Panayotidis and Giraud, 1981).

## I.3. The study in laboratory

Each shoot is rehydrated, and then husked one sheet couplet in the order of their insertion. The leaves are separated according to the protocol of Pergent (1987) according to their maturity:

- ✓ The « adult leaves » of over 50cm long, and equipped with a petiole whose length is greater than or equal to 2 mm.
- ✓ The « intermediate leaves » of more than 50cm long and devoid of petiole or petiole which is less than or equal to 2 mm.
- ✓ The « juvenile leaves » without petiole and the length does not exceeding 50 mm.

Only intermediates and adults leaves are considered in this work (number of leaves per shoot). The various parameters related to the phenology of *Posidonia oceanica* leaves are calculated for the intermediates and adults leaves, such as the forthcoming:

- ✓ The Mean number of sheets per bundle.
- ✓ The Mean length and width of adult leaves and intermediates.
- ✓ The coefficient "A" which is the percentage of the leaves having lost their apex Giraud (1977).
- ✓ The leaf area index (L.A.I) corresponds to the surface of the leaves per shoot or per m<sup>2</sup> [(Drew, 1971), (Drew and Jupp, 1976)].

Only one side is taken into account, although the two sides of the leaves of *Posidonia oceanica* are chlorophyll. This index is therefore only half of the actual leaf area.

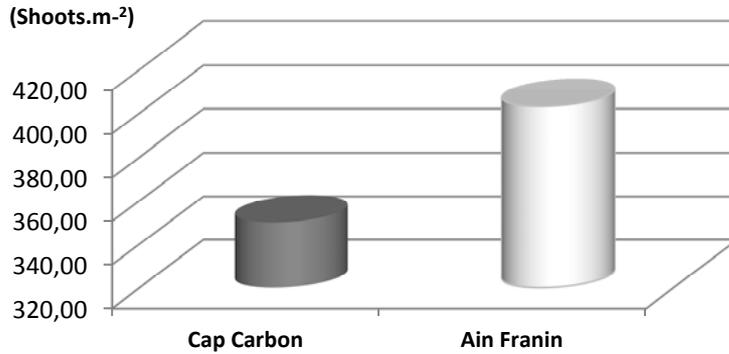
## II. RESULTS AND DISCUSSION

### II.1. The meadow density

The density is 350 shoots m<sup>-2</sup> of the level of the herbarium of the Cap Carbon and 403 shoots m<sup>-2</sup> of the level of Ain Franin. According to the classification of (Giraud, 1977), the herbarium of Cap Carbon is of type **III** which is described as « clear-sown » ; on the other hand, the herbarium of Ain Franin is of type **II** described as « dense » (Figure 2). According to the latest classification (Pergent *et al.*, 2005), the seagrasses of the studied sites are considered « poor state ».

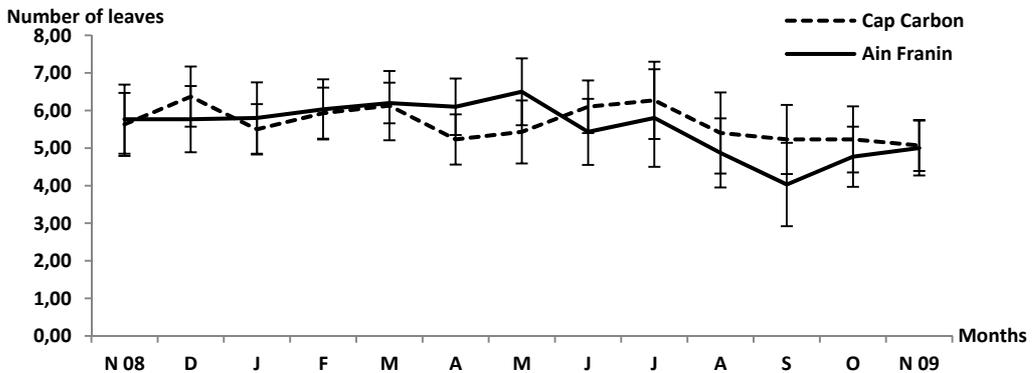


**Figure-2.** Mean density of *Posidonia oceanica* shoots per m<sup>2</sup> at study sites.



## II.2.Shoot structure

The overall mean number of the leaves (adults and intermediates) per shoot (Figure3) varies significantly depending on the season and this irrespective of the studied site ,corroborating the results of (Pergent and Pergent, 1988; Semroud, 1993; Boumaza, 1995; Rico-Raimondino, 1995; Belgacem *et al.*, 2007).This number is maximum in winter ( $6,37 \pm 0,80$  December) in Cap Carbon and in spring ( $6,50 \pm 0,89$  May) in Ain Franin on the other hand, it is minimum in autumn ( $5,07 \pm 0,68$  November) in Cap Carbon and in the late summer ( $4,03 \pm 1,11$  September) in Ain Franin.



**Figure-3.** Mean number of leaves (adults and intermédiates) per rhizome in the studied sites according to the harvest date.

## II.3.The structures of the leaves

### II.3.1.The length of leaves

Significant variations are recorded in the length of the adults leaves: 128,21 mm to 624,93 mm at the site of Ain Franin and ditto for the site of Cap Carbon where the minimum length is 145,24 mm and the maximum is 545,31 mm (Table 1).For both studied sites, we can notice that the longer leaves appear in summer , however, the shorter leaves are measured in winter (Table 2) confirms the results obtained by (Belgacem *et al.*, 2007) in Ras Jebel (Tunisia).



**Table-1.** Mean length (mm) of adults leaves in the studied sites as a function of rhizome sampling date (m: minimum, M: maximum).

Months	years	Cap Carbon	Ain Franin
November	2008	242,92	226,33
December	2008	231,19	181,18
January	2009	176,92	128,21 <b>m</b>
February	2009	145,24 <b>m</b>	140,79
March	2009	207,81	211,85
April	2009	235,64	237,83
May	2009	240,91	232,96
June	2009	352,84	311,76
July	2009	472,66	428,00
August	2009	545,31 <b>M</b>	624,93 <b>M</b>
September	2009	337,87	511,24
October	2009	187,32	273,12
November	2009	186,87	247,31
<b>Mean</b>		<b>274.12</b>	<b>288.89</b>

The table above shows that the length of intermediates leaves is always less than that of adults' leaves in the two studied sites. This is explained by the fact that have not completed their growth (Semroud, 1993; Boumaza, 1995; Rico-Raimondino, 1995; Belgacem *et al.*, 2007) to 73,63mm in October and to 498,24mm in June for the site of Cap Carbon and to 89,48mm in October to 488,68mm in August for the site of Ain Franin (Tables 1 and 2).

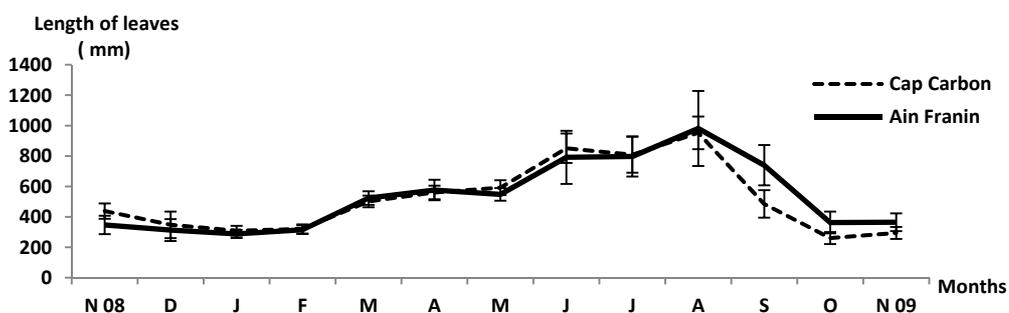
**Table-2.** Mean length (mm) of intermediates leaves of the studied sites as a function of rhizome sampling date (m: minimum, M: maximum).

Months	years	Cap Carbon	Ain Franin
November	2008	195.18	120.46
December	2008	116.16	132.21
January	2009	132.04	159.66
February	2009	174.95	174.73
March	2009	293.65	311.38
April	2009	324.79	338.59
May	2009	350.91	314.98
June	2009	498.24 <b>M</b>	479.55
July	2009	336.04	368.84
August	2009	406.93	488.68 <b>M</b>
September	2009	146.93	300.50
October	2009	73.63 <b>m</b>	89.48 <b>m</b>
November	2009	107.43	117.35
<b>Mean</b>		<b>242.84</b>	<b>261.26</b>

According to the table above, the monthly overall Mean of the leaves (adults and intermediates) is characterized by significant variations. These can be explained by the formation rate of the fall of

the leaves, therefore the succession of different types of the leaves in the shoot (Sanchez-Lizaso, 1993). The longest leaves (monthly Mean) appear in summer. According to (Wittman, 1984) and (Caye, 1980), the period most favorable to the growth of the leaves is spring; on the other hand the fall autumn and winter correspond to the period where the growth of leaves is low (Figure 4). The same evolutionary aspect is recorded in the Mediterranean according to the literature and the lengths of the leaves and the same depth corroborate with those obtained by (Boumaza, 1995; Rico-Raimondino, 1995) and (Belgacem *et al.*, 2007).

**Figure-4.** The average length of the leaves (in mm) per beam (adults and intermediates) in the studied as function of rhizome sampling date.



### II.3.2. The leaves width

The width of the leaves increases from the inside of a shoot to the outside (Pergent and Pergent-Martini, 1988). They are the outermost leaves that are larger whatever the station and the period of the year are considered. The Mean width of adult leaves (monthly Mean) is always larger than the intermediate leaves. The Mean width of adult leaves showed extreme values ranging from 9, 79 mm in December (Ain Franin) to 11,81mm in May (Cap Carbon) (Table 4).

**Table-4.** Mean width (in mm) of adult leaves in the studied sites according as a function of rhizome sampling date (m: minimum, M: maximum).

Months	years	Cap Carbon	Ain Franin
November	2008	10.69	10.94
December	2008	10.68	9.79 <b>m</b>
January	2009	10.80	9.92
February	2009	10.17 <b>m</b>	9.98
March	2009	11.53	10.93
April	2009	11.51	11.51 <b>M</b>
May	2009	11.81 <b>M</b>	11.34
June	2009	10.57	10.00
July	2009	10.95	10.65
August	2009	11.04	10.24
September	2009	11.21	10.78
October	2009	10.61	11.14
November	2009	11.12	10.42
<b>Mean</b>		<b>10.98</b>	<b>10.59</b>



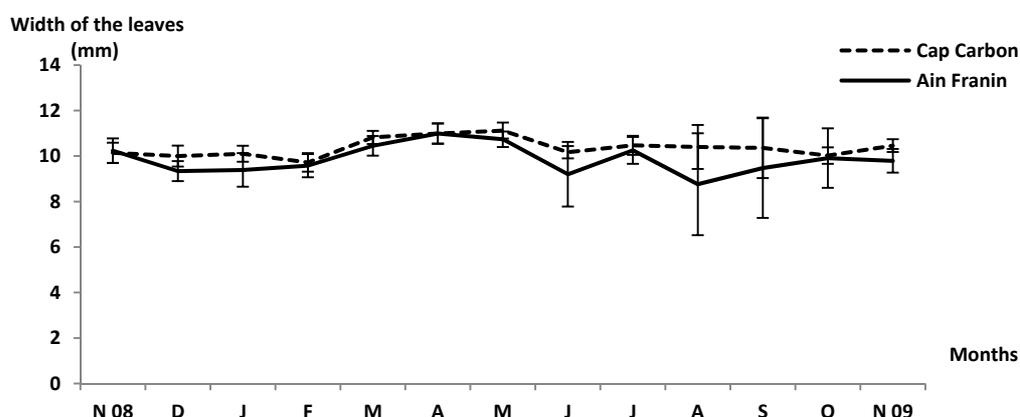
The width of the intermediates leaves also shows seasonal variations; with extreme values of 8,40mm in June (Ain Franin) to 10,48mm in April (Cap Carbon) (Table5).These results are also shown by (Belgacem *et al.*, 2007).

**Table-5.** Mean width (mm) of the intermediates leaves in the studied sites as a function of rhizome sampling date (m: minimum, M: maximum).

Months	years	Cap Carbon	Ain Franin
November	2008	9.58	9.53
December	2008	9.31	8.88
January	2009	9.39	8.85
February	2009	9.26 m	9.19
March	2009	10.12	9.98
April	2009	10.48 M	10.46 M
May	2009	10.43	10.14
June	2009	9.77	8.40 m
July	2009	9.95	9.85
August	2009	9.76	9.75
September	2009	9.52	10.20
October	2009	9.43	8.68
November	2009	9.79	9.15
<b>Mean</b>		<b>9.75</b>	<b>9.47</b>

As it is shown clearly in the table above, the overall Mean width of the leaves (adults and intermediates) evolves in the same way that the width of adults leaves and intermediates with values ranging from 9,34 mm in December in Ain Franin to 11, 12 mm in May in Cap Carbon (Figure5).These values follow the same seasonal pattern as those mentioned in the literature (Sanchez-Lizaso, 1993; Semroud, 1993; Boumaza, 1995).

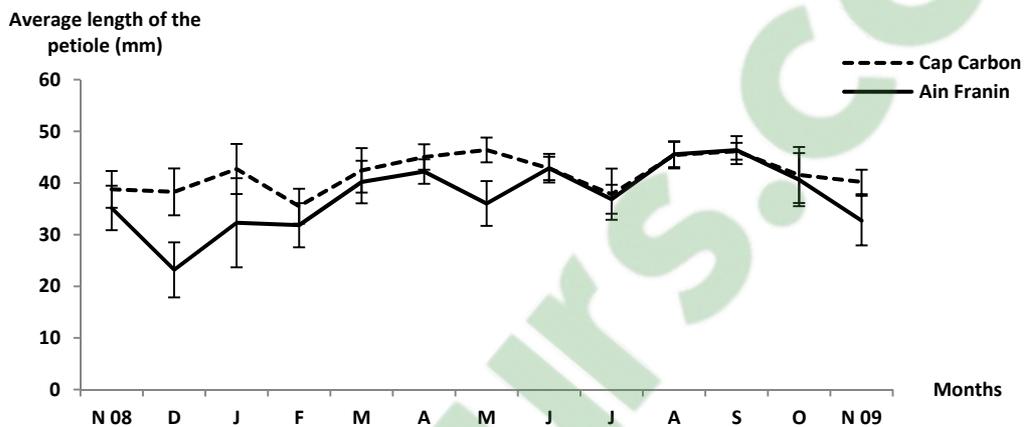
**Figure-5.** The average width of the leaves (adults and intermediates) in the studied sites as function of rhizome sampling date.



### II.3.3. The length of petiole

The length of petiole varies with the rank of the leaf. It is up to the older leaves (elevated rank) that their growth is completed (Giraud, 1977; Giorgi and Thellin 1983; Pergent, 1987). The Mean length of the petiole varies not only with the rank of the leaf, but also with the harvest period of the rhizomes and the sites or samplings that were performed. The length (monthly Mean) of the petioles reaches its peaks in May 46.46 mm (Cap Carbon) and in September 46.37mm (Ain Franin). The length (monthly Mean) of the petioles minimum is reached in December for the two sites with the respective values of 38.28mm in Cap Carbon and 23.18mm in Ain Franin. (Figure 6).

**Figure-6.** Variation of the average length of the adult leaves of the petiole (in mm) in the studied sites in relation of the dates of the harvest



### II.3.4. The state of apex

The state of apex provides information for a given site, the rate of predation by consumers (Velimirov 1984; Zupo, 1985; Verlaque 1987) and the action of the hydrodynamics (Mazzella *et al.*, 1981; Witman *et al.*, 1981). The state of the apex is determined by the coefficient "A" of (Giraud, 1977), which is the percentage of the leaves having lost their apex. In the studied sites, the apex of the adult's leaves is almost always broken whatever the time of the year. We observe throughout the year that the large values of the coefficient "A" are greater than 43% except for the winter the percentage is 39.74% (December) and 35.13% (January) in Ain Franin and 42.17% (February) in Cap Carbon (Table 6). The coefficient "A" of intermediates leaves is significantly lower than that of adults leaves (Table 7) because they are younger and better protected from the action of the predators, and because of their position within the shoot (Giraud, 1977; Buia *et al.*, 1985; Pergent and Pergent-Martini, 1988; Rico and Pergent, 1990). The maxima and minima are respectively between February and July in Cap Carbon and between February and June in Ain Franin.

**Table-6.** Coefficient "A" adult leaves as a percentage in the studied sites as a function of rhizome sampling date (November2008 to November 2009). m :minimum, M :maximum.

Months	years	Cap Carbon	Ain Franin
November	2008	54.26	50.62
December	2008	50.00	39.74
January	2009	54.65	35.13 <b>m</b>
February	2009	42.17 <b>m</b>	76.83
March	2009	88.89	89.53
April	2009	<b>71.76</b>	86.67
May	2009	72.37	83.81
June	2009	66.66	100.00 <b>M</b>
July	2009	90.91 <b>M</b>	94.68
August	2009	83.78	90.32
September	2009	65.79	93.02
October	2009	42.50	78.65
November	2009	53.03	89.28
<b>Mean</b>		<b>64.39</b>	<b>77.56</b>

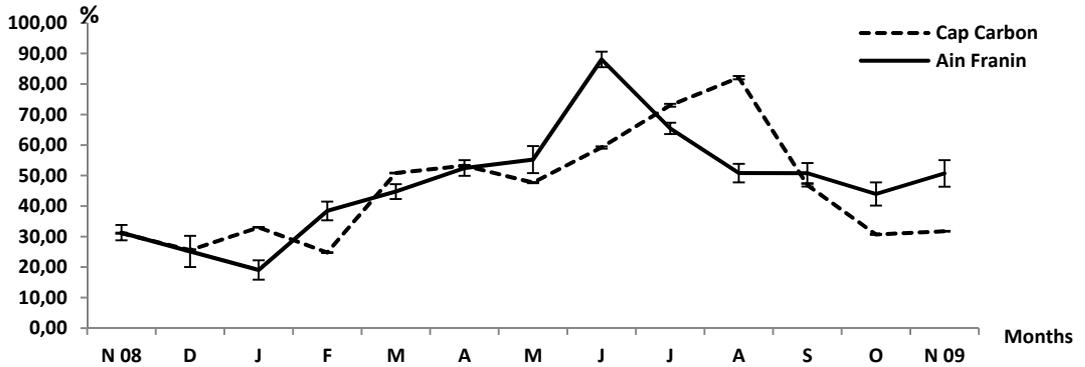
**Table-7.** Coefficient "A" leaves intermediates percentage in the studied sites as a function of rhizome sampling date m : minimum, M : maximum.

Months	Years	Cap Carbon	Ain Franin
November	2008	8.00	11.96
December	2008	1.08 <b>m</b>	10.53
January	2009	11.39	3.00
February	2009	7.37	0.00 <b>m</b>
March	2009	12.77	0.00 <b>m</b>
April	2009	34.72	18.28
May	2009	22.99	26.27
June	2009	51.47	76.12 <b>M</b>
July	2009	55.13	36.25
August	2009	80.39 <b>M</b>	11.32
September	2009	27.91	8.58
October	2009	18.92	9.25
November	2009	10.47	12.12
<b>Mean</b>		<b>26.35</b>	<b>17.24</b>

The coefficient "A" overall, which is the percentage of adults and intermediates leaves having lost their apex (Figure7) shows that if we consider the annual Means, the *Posidonia oceanica* meadows of Cap Carbon and Ain Franin are characterized by similar state while varying with the seasons.



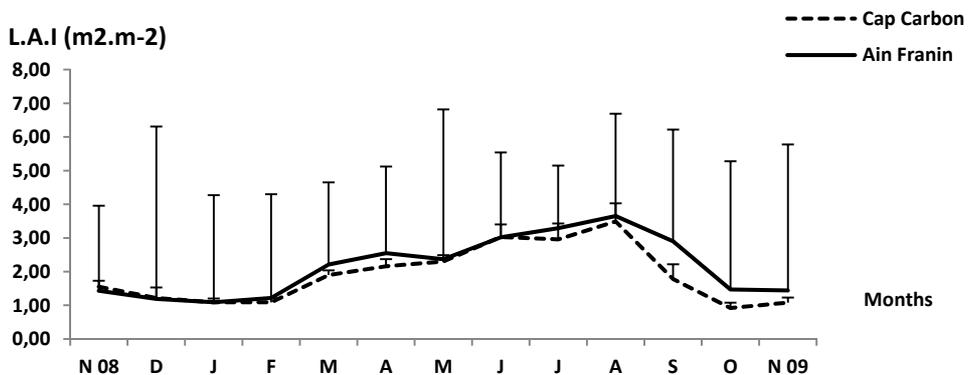
**Figure-7.** Variation of the global coefficient "A " adult and intermediary leaves in percentages, in the studied sites as function of rhizome sampling date .m:minimum M:maximum.



### II.3.5. Leaf Index Area (LAI)

The total leaf area index (adults and intermediates leaves) shoot varies significantly during the year, is usually the maximum in summer and the minimum between October and January. This variation in leaf area index during the year was also highlighted by (Pergent and Pergent-Martini, 1988) in Port Cros (France), (Semroud, 1993) in La Marsa and Tamenfoust (Algeria) and (Rico-Raimondino, 1995) in Ischia (Italy), (Boumazza, 1995) in l'anse de Kouali (Algeria) and (Belgacem *et al.*, 2007) in Ras Jebel(Tunisia).The leaf area index passes from single to double in two sites of study (Figure8) which leads us to say that both sites are under the same influences of the large waves and are there fore subject to the same hydrodynamic force.

**Figure-8.** Variation of the mean index overall in  $m^2.m^{-2}$  of the herbarium in relation to the period of the harvest of the rhizomes in the studied sites



Our data are among the lowest values. In all regions of the Mediterranean, we find relatively low values by maintaining that high values are higher a  $10 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$  (Table 8).

**Table-8.** Values of leaf area indexes (L.A.I) per shoot (in  $\text{cm}^2$ ) and per  $\text{m}^2$  of *Posidonia oceanica* bed as found in the literature, for different localities and depths.

Locations	References	Depth (m)	L.A.I ( $\text{cm}^2/\text{shoot}$ )		L.A.I ( $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ )	
Cap Carbon (Algérie)	Chahrour, 2012	10	99,04	August	3,49	August
			26,23	October	1,09	January
Ain Franin (Algeria)	Present study	10	90,04	August	3,65	August
			27,10	January	1,09	January
Calvi (Corsica)	(Bay, 1984)	10	347	June	10,32	March
			117	October	6,53	December
Anse de Kouali (Algeria)	(Boumaza, 1995)	10	435,50	May	16,80	May
			264,00	February	10,20	February
La Marsa (Algeria)	Semroud, 1993)	8	305,00	July	5,20	July
			202,50	January	3,50	January
Tamentfoust (Algeria)			207,5	April	2,40	April
			117,40	October	1,30	October
Iles Medes (Spain)	(Romero, 1985)	13	233,00	August	7,90	August
			80,00	December	2,70	December
Banyuls-sur-Mer (France)	(Pergent, 1987)	12	251,00	July	13,40	July
			72,00	December	3,90	December
Tabarca (Spain)	(Sanchez, 1993)	12,5	152,00	November	7,00	November
			321,00	March	14,40	March
Mondello (Sicily, Italy)	(Frada <i>et al.</i> , 1993)	10	136,00		8,40	
				September/October		September/October
Ras Jebel (Tunisia)	(Belgacem <i>et al.</i> , 2007)	10	-----		14,92	Spring

## CONCLUSION

This study assessed the status of the *Posidonia oceanica* seagrass at the studied sites (Cap Carbon and Ain Franin). In fact the results, obtained in the realization of this work are generally similar and corroborate with the majority of studies which are discussed earlier and made in the different sectors of the Mediterranean.

The low density variation of the shoots, raised, in *Posidonia* meadows of the two studied sites is probably due to the fact that it is the same type of substrate and that our samples were made at depths similar, although the *Posidonia* meadows of Cap Carbon is under the influence of a very diverse pollution as opposed that of Ain Franin which is concerned with only a sporadic pollution especially in summer. This similarity of results can also be due to the current patterns that submit the two seagrasses to the same environmental conditions.



The evolution of phenological parameters along an annual cycle showed their seasonal character frankly:

- ✓ The Mean number of leaves per shoot and the proportion of different types of leaves vary during the year.
- ✓ The Means lengths of adults and intermediates leave change during the year.
- ✓ The Mean width of adults and intermediates leaves increases with them age. The leaves of rhizomes from Cap Carbon are slightly larger than those of Ain Franin, this can be seen as a response to particular environmental conditions (high turbidity, excess nutrients).
- ✓ The Mean length of petioles varies with age of the leaf and the harvest period made in the studied sites.
- ✓ The coefficient "A" varies depending on the harvest period with a maximum value during summer and minimum in winter.
- ✓ The maximum leaf area index is minimum in autumn and maximum in summer.

## REFERENCES

- Amar, Y., 1998. Etude des peuplements macrobenthiques du golfe d'arzew . *Thèse Magister Ismal.*, Alger.
- 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.
- Bay, D., 1984. A field study of growth dynamics and productivity of *Posidonia oceanica* (L.) delile incalvi bay.Corsica.*Aquat.Bot.* Netherl. 20: 43-64.
- Belgacem, W., H. Ghrairi and O.K. Benhassine, 2007. .Etude lépidochronologique d'un herbier de posidonie à ras jebel (nord-est de la tunisie) : Phenologie et diversité des macro invertébrés. In: *Mediterranean syposium on marine végétation*, . Marseille: pp: 27-29.
- Belkhedim , L., 2010. Contribution à l'étude de la biologie de l'oursin régulier *Paracentrotus lividus* (Imck, 1816) du port d'Oran et d'Ain Franine. *Thèse Magister.LRSE.Biol.Poll.Mar.Univ.Oran.*
- Boudouresque, C.F., 2006. Les herbiers à *Posidonia oceanica*. France: *RAMOGE pub.*
- Boudouresque, C.F., G. Giraud and B. Perret, M. , 1979. Bibliography on vegetation and ecosystems of *Posidonia oceanica*. Part I .*Excerpta botanica*, West Germ., sect B 19(2): 145-161.
- Boudouresque, C.F., G. Giraud and B. Perret, M. , 1980. Bibliography on vegetation and ecosystems of *Posidonia oceanica* Part II .*Excerpta botanica*, West Germ., sect B 20(2): 125-135.
- Boudouresque, C.F. and A. Meinesz, 1982. Découverte de l'herbier de posidonies. Cahier parc nation.Port. Cros, Fr, 4: 1-79.



- Boumaza, S., 1995. Phénologie, biomasse, lépidochronologie et production primaire de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) delile de l'Anse de Kouali, Tipaza (Alger). *Thèse de Magister*, Inst . Sci. Mer et Aménagement du Littoral (Iismal), Océanol. Écologie marine Alger.
- Buia, M.C., M. Cormaci, G. Furnari and L. Mazzella, 1985. Osservazioni sulla stuttura delle praterie de *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., M.C. Gambi and V. Zupo, 2000. Stucture and functioning of mediterranean seagrass ecosystems: An overview. *Biol.Mar.Medit*, 7: 167-190.
- Caye, G., 1980. Analyse du polymorphisme caulinaire chez *Posidonia oceanica* (L.) delile. *Bull.Soc. Bot. Fr. Lett. bot*, 127(5): 257-262.
- Dermeche, S., 1998. Teneurs en métaux lourds (cd, pd, cu, zn, et ni) chez l'oursin commun paracentrotus lividus (lmk) pêché dans le golfe d'arzew, *Thèse Magister Univ.Oran*.
- Drew, E.A., 1971. Botany. Underwater science. An introduction to experiments by divers. London: Woods & Lithogoe
- Drew, E.A. and B.P. Jupp, 1976. Some aspects of the growth of *Posidonia oceanica* (L.) in malta.Undewater reaserch, u.K. 357-367.
- Frada, O., C. , S. Calvo and S. Arico, 1993. Stucturalanalysis of *Posidonia oceanica* (linnaeus) delile meadow in the bay of mondello (sicily.Italy).*Posidonia newsletter*. 2(4): 21-30.
- Giorgi, J. and I. Thellin 1983. Phenologie, biomasse et production primaire de *Posidonia oceanica* (L.) (feuilles et épiphytes) dans la baie de port-cros. Lab.Ecol. Benthos, Fac.Sci.Luminy, Univ.Aix-Marseille ii et parc nation. Port-cros, france. 126.
- Giraud, G., 1977. Recencement des floraisons de *Posidonia oceanica* (L.) delile en méditéranée. *Rapp.Comm.int.Mer Médit*, 24(24): 126-130.
- Krauss-Jensen, D., D.A. E., H. Cunhah, CCMAR. and T. Greve, 2004. Heave seagrass distributon and abundance changed? European seagrasses : an introduction to monitiring and management.*The M&MS project*: 33-40.
- Kucuksezgin, F., A. Kontas, O. Altay, E. Uluturhan and E. Darilmaz, 2006. Assessment of marine pollution in izmir bay: Nutrient, heavy metal and total hydrocarbon concentrations. *Environment International* 32: 41-51.
- Mazzella, L., F. Cinelli, J. Ott and W. Klepal, 1981. Sudi sperimentali « in situ » suu'epifitismo della *Posidonia oceanica* (L.) delile .*Quad.Lab.Technol.Pesca* 3(1): 481-492.
- Meinesz, A. and R. Laurent, 1980. De la limite inférieure de l'herbier *Posidonia oceanica* (L.) dans les alpes –maritimes (France). Paris: *Annales de l'institut océanographique*.



- Orth, R.J., T.J.B. Carruthers , W.C. Denninson, C.M. Duarte, J.W. Forqurean , J.R.K.I. Heck , A.R. Ughes, G.A. Kendric, W.J. Kenworthy, S. Olyarnik, F.T. Short, M. Waycott and S.I. Williams 2006. Aglobal crisis for seagrass ecosystems. *Bioscience*, 56: 987-996.
- Panayotidis , P., 1980. Contribution à l'étude qualitative et quantitative de l'association posidonietum oceanicae funk 1927. *Thèse Doct.3° Cycle Océanologie Biologique*, Univ. Aix-Marseille ii.
- Panayotidis, P. and G. GIRAUD, 1981. Sur un cycle de renouvellement des feuilles de *Posidonia oceanica* (linnaeus) delile dans le golf de Marseille. *Vie Milieu*, Fr, 31(2): 129-136.
- Peres, J.M., 1984. La régression des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.). *International Workshop Posidonia oceanica Beds*, 1: 445-444.
- Pergent, -M., C., V. Leoni, V. Pasqualini, G.D. Ardizzone, E. Balestri, R. Bedini, A. Belluscio, T. Belsher, J. Borg, C.F. Boudouresque, S. Boumaza, J.M. Bouquegneau, M.C. Buia, S. Calvo, J. Cebrian, E. Charbonnel, F. Cinelli, A. Cossu, G. Di mayda, B. Dural, P. Francour, S. Gobert, G. Lepoint, A. Meinesz, H. Molenaar, H.M. Mansour, P. Panayotidis, A. Peirano, G. Pergent, L. Piazzzi, M. Pirrotta, G. Relini, J. Romero, L. Sanchez, J.L. , R. Semroud, P. Shembri, A. Shili, A. Tomasello and B. Velimirov, 2005. Descriptors of *Posidonia oceanica* (L.) meadows Ecological Indicators 5: 213–230.
- Pergent, G., 1987. Recherches lepidocronologiques chez *Posidonia oceanica* (L.) (Potamogetonaceae). Fluctuations des paramètres anatomiques et morphologiques des écailles des rhizomes. *Thèse Doctor.Océanol.*, Univ. Aix-Marseille II: 1-853.
- Pergent, G., 1991. Les indicateurs écologiques de la qualité du milieu marin en méditerranée. *Oceanis*, 17(4): 341-350.
- Pergent, G. and Pergent-Martini, C . 1988. Phénologie de *Posidonia oceanica* (L.) delile dans le bassin méditerranéen. *Ann Inst Océanogr.* 64: 79-100.
- Pergent, G., Pergent-Martini, C. and C.F. Boudouresque, 1995. Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en méditerranée : État des connaissances. *Mésogée* 54: 3-29.
- Rico-Raimondino, V., 1995. Contribution à l'étude des stocks et flux d'éléments dans les herbiers à *Posidonia oceanica* (L.). *Thèse.Doct.* Univ aix- marseille ii. Fr.
- Rico, V. and G. Pergent, 1990. Evaluation de la production primaire de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) de la baie de porto conte (sardaigne) par la méthode lépidochronologique. *Programme medspa*, . Marseille.
- Romero, M., J., 1985. Estudio ecologico de las fanerogamas marinas de la costa catalana : Production primaria de *Posidonia oceanica* (L.) delile en las islas medes .Tesis doctoral.Univ.De barcelona.

- Sanchez-Lizaso, J.L., 1993. Estudio de la predera de *Posidonia oceanica* (L.) delile de la reserva marina de tabarca (alicante) : Fenologia y production primaria. *Tesis Doctoral*, univ de alacante.
- Semroud, R., 1993. Contribution à la connaissance de l'écosystème à *Posidonia oceanica* (L.) delile dans la région d'Alger (Algérie) : Etude de quelques compartiments. *Thèse de Doct d'Etat*. USTHB - Alger.
- SHORT, F.T. and E. Wyllie, S., 1996. Natural and human-induced disturbance of seagrasses. *Environmental conservation*, 23: 17-27.
- Tunesi, L. and C.F. Boudouresque, 2006. Les causes de la régression des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.). France: RAMOGE
- Velimirov , B., 1984. Grazing of sarpa salpa l. On *Posidonia oceanica* (L.) and utilization of soluble compounds. International workshop on *Posidonia oceanica* beds. *GIS Posidonie publ.*
- Verlaque , M., 1987. Relation entre paracentrotus lividus (lamarck) et le phytobentos de méditerranée occidentale. Colloque internationale sur *Paracentrotus lividus* et les oursins comestibles. Marcheille: *GIS Posidonie publ.*
- Witman, K., L. Mazzella and E. Fresi, 1981. Age specific patterns of leaf growth: Their determination and importance for epiphytic colonization in *Posidonia oceanica* (L.) delile. *Rapp .P.V.Reun.Commiss. Internation.Explor.sci.Médit*, 27.
- Wittman, K.J., 1984. Temporal and morphological variations growth in natural sand of *Posidonia oceanica* (L.) delile. *Marine ecology* 5(4): 301-316.
- Zupo, V., E. Fresi., 1985. A study on the food web of *Posidonia oceanica* (L.) delile ecosystem: Analysis of the gut contents of echinoderms.*Rapp.Comm.Int.Mer Medit.* 29.