

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد- تلمسان

Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEM

كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département : Ecologie et Environnement

MÉMOIRE

Présenté par

DJAFAR HAYAM

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Hydrobiologie marine et continentale

Spécialité : Sciences de la Mer

Sujet

Contribution à l'étude bibliographique bioécologique de *Posidonia Oceanica* sur le littoral Algérien

Soutenu devant le jury composé de :

Président	Mr.SMAHI Mohammed Djamel Eddine	M.A.A	Univ. Tlemcen
Encadreure	Mme.BENGUEDDA Wacila	M.C.A	Univ. Tlemcen
Examineur	Mr.BENDIMERAD Mohamed El Amine	M.C.A	Univ. Tlemcen

Année Universitaire : 2020-2021

Remerciements

Louange tout d'abord au Bon Dieu qui m'a donné la force et la volonté d'entammer et de terminer ce mémoire.

Toute ma gratitude va à Madame **Benguedda Wacila** pour la confiance qu'elle m'a accordée en acceptant de diriger ce modeste travail, pour ses orientations, sa grande disponibilité, et d'avoir consacré un temps précieux à corriger ce mémoire me permettant ainsi d'améliorer la qualité de ce document.

J'exprime mes sincères remerciements à **Mr Smahi Mohammed Djamel Eddine**, pour s'être intéressé à mon travail et pour avoir accepté la présidence en siégeant au sein de ce jury. Qu'il me soit permis de lui adresser tout mon respect.

A Mr **Bendimerad Mohamed El Amine** notre cher enseignant, j'exprime ma reconnaissance pour ses efforts et ses encouragements durant ma formation de master ; aussi pour m'avoir fait le grand honneur d'examiner mon travail.

Dédicaces

A la mémoire de mon père.

Je dédie ce mémoire à ma mère ; qui a été toujours à mes côtés et qui n'a pas cessé de me conseiller et de prier pour moi.

Mon frère Ali ; pour son aide inconditionnelle et sa disponibilité pour moi tout le temps.

Mes sœurs Siham, Fatima zohra, Afaf ; qui m'ont toujours soutenu, encouragé durant ces années d'études, je suis chanceuse de les avoir.

Ma belle-sœur Afrah pour ses mots d'encouragements.

Mes beaux-frères Samir, Boumedien et surtout à Bounouar qui m'a toujours soutenu et pour le grand intérêt qui'il a manifesté, concernant mes études et ce mémoire en particulier.

A mes neveux : Mortada, Ahmed, Racim, Raéd, Aram, Iyad.

A mes nièces : Tasnim et Miral.

A mes copines.

A mes amis et mes collègues de l'université, qui m'ont aidé de près ou de loin.

ملخص

Posidonia oceanica هي عشب زهري بحري، من عائلة Potamogetonaceae المتوطنة في البحر الأبيض المتوسط. تظهر على شكل حزم من الأوراق التي تحملها السيقان الزاحفة، ثم تزود بالجزور، أو منتصبية، مدفونة بشكل عام في الرواسب وتسمى الجزور.

مجموعة من نباتات البوزيدونيا المكونة عن طريق العشب ضرورية لحياة الكائنات الحية وغالبا ما تعتبر رئة البحر الأبيض المتوسط. تعتبر *Posidonia oceanica* واحدة من أقدم الكائنات الحية على هذا الكوكب .

يعتمد هذا العمل على الجودة البيولوجية البيئية لمروج البوزيدونيا لتعزيز ورفع أهميتها في النظام البيئي البحري.

تتكاثر البوزيدونيا عن طريقين، إما عن طريق جنسية أو لاجنسية، وفي الربيع تعطي ثمار تسمى "زيتون البحر" .

على سطح أوراق البوزيدونيا، نلاحظ مجموعة من الكائنات المشاشية تلعب دورًا رئيسيًا في الإنتاج الأولي للنظام البيئي العشبي.

من بين الأدوار المعروفة لبوسيدونيا: الأكسجة، استقرار وتثبيت قاع البحر، حضانة لأنواع معينة، ملجأ ضد الحيوانات المفترسة. إنه حساس للغاية لعوامل مختلفة مثل: الملوحة والضوء والعمق وما إلى ذلك .

على الرغم من الهجمات المختلفة التي تتعرض لها أحواض الأعشاب البحرية: المادية (قوارب الإرساء، الصيد بالشباك، المتفجرات، إلخ)، الكيماوية (المعادن الثقيلة والنيتروجين من الزراعة، إلخ) والبيولوجية (التنافس مع الطحالب، الرعي الجائر لأنواع العاشبة، إلخ ..)، تظهر *Posidonia* مقاومة ملحوظة للغاية، ومن هنا تأتي أهمية الحفاظ على أسطح المروج وزيادتها .

اعشاب البوزيدونيا محمية بموجب اتفاقيات برن وبرشلونة وأنظمة دول البحر الأبيض المتوسط.

الكلمات المفتاحية: البوزيدونيا، المتوطنة، البحر الأبيض المتوسط، الاعشاب.

Résumé :

Posidonia oceanica est une phanérogame marine, de la famille des Potamogetonaceae endémique de la mer méditerranée. Elle se présente sous la forme de faisceaux de feuilles qui sont portés par des tiges rampantes, alors munies de racines, ou dressées, généralement enfouies dans le sédiment et appelées rhizomes. Un ensemble de plant de posidonies constitué par l'herbier. Celui-ci est indispensable pour la survie d'autres espèces et est souvent considéré comme le poumon de la méditerranée.

On considère la posidonie parmi les plus anciens êtres vivants de la planète.

Le présent travail se base sur la qualité bioécologique des herbiers de posidonies pour revaloriser leurs importances dans l'écosystème marin.

La posidonie se reproduit de deux façons soit sexuée soit asexuée par le bouturage et au printemps elle donne les fruits nommés 'olives de mer'.

Sur la surface des feuilles on remarque un ensemble d'organismes épiphytes qui ont un rôle majeur dans la production primaire de l'écosystème de l'herbier.

Parmi les rôles connus de la posidonie : l'oxygénation, la stabilisation et fixations des fonds marins, nurseries pour certains espèces, refuge contre les prédateurs. Elle est très sensible aux différents facteurs comme : la salinité, la lumière, la profondeur etc.

Malgré les diverses agressions que les herbiers subissent : **physiques** (l'ancrage des bateaux, le mouillage, le chalutage, les explosifs...), **chimiques** (les métaux lourds et l'azote issus de l'agriculture...) et **biologiques** (la concurrence avec les algues, le surpâturage des espèces herbivores...), la posidonie montre une résistance très remarquable d'où tout l'intérêt de préserver et augmenter les surfaces des prairies.

L'herbier est protégé par les conventions de Berne et de Barcelone et par la réglementation des pays méditerranéens.

Mots clés : *Posidonia oceanica*, endémique, méditerranée, herbiers.

Abstract

The *Posidonia oceanica* is a marine phanerogam, of the Potamogetonaceae family, endemic to the Mediterranean Sea. It is presented in the form of bundles of leaves which are carried by crawling stems, then provided with roots, or drawn up, generally buried in the sediment and called rhizomes. A set of posidonia plant constitutes by the herbarium, which is essential for the survival of other species. It's often considered as the lung of the Mediterranean Sea.

Posidonia is considered among the oldest living beings on the planet.

The present work is based on the bioecological quality of the Posidonia meadows to revalue their importance in the marine ecosystem. The posidonia reproduces in two ways either sexually or asexually by cuttings and in spring it gives the fruits named "sea olives".

On the surface of the posidonia's leaves we can see a set of epiphytic organisms that have a major role in the primary production of the ecosystem of the seagrass.

Among the known roles of the posidonia: oxygenation, stabilization and fixation of the sea bed, nurseries for some species, refuge against predators. It is very sensitive to different factors such as: salinity, light, depth, etc.

In spite of the various aggressions that the seagrass undergoes: physical (anchoring of boats, anchoring, trawling, explosives...), chemical (heavy metals and nitrogen from agriculture...) and biological (competition with algae, overgrazing of herbivorous species...), the posidonia shows a very remarkable resistance, hence the interest in preserving and increasing the surface area of the meadows.

The meadow is protected by the Bern and Barcelona conventions and by the regulations of Mediterranean countries.

Key words: *Posidonia oceanica*, endemic, Mediterranean Sea, meadows.

Liste des tableaux :

Tableau 01 : Nombre d'espèces animales et végétales associées aux herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> des côtes algériennes (Grimes <u>et al.</u> , 2004, modifié).....	04
Tableau 02 : Valeur de la biomasse animale de chaque compartiment trophique constituant l'écosystème à <i>P. oceanica</i> (Jimenez <u>et al.</u> ,1997) (MS : matière sèche).....	24
Tableau 3 : Une comparaison entre quelques paramètres biométriques de la Posidonie sur deux sites algériens (Oran et Tipaza). (Chahrour,2013 et Boumaaza,2015).....	32

Liste des Figures :

Figure 01 : Les prairies à <i>Posidonia oceanica</i> (Boudouresque, 2013.).....	03
Figure 02 : Répartition de <i>Posidonia oceanica</i> le long des côtes méditerranéennes (ligne rouge) (Procaccini <u>al.</u> 2003,modifiée)	05
Figure03 : 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.(Boudouresque <u>et al.</u> ,2006modifié).....	06
Figure 04 : Matre de Posidonies de plus de cinq mètres de haut retrouvée aux îles Baléares, (Espagne). En haut de la figure, des faisceaux vivants de <i>Posidonia oceanica</i> peuvent être reconnues (Matéo <u>et al.</u> , 2006,modifiée).....	07
Figure 05 :Morphologie externe de <i>Posidonia oceanica</i> (Boudouresque et Meinesz, 1982).....	08
Figure 06 : La lépidochronologie. (Pergentet <u>al.</u> , 1989b).....	09
Figure 07 : A gauche : une inflorescence de <i>Posidonia oceanica</i> . A droite : deux fleurs ; les étamines (e) sont situées à l'extérieur ; on aperçoit le sommet de l'ovaire doté de denticulations susceptibles d'accrocher le pollen filamenteux(o).(Den Hartog,1970).....	12
Figure 08 : Fruits de <i>Posidonia oceanica</i> ("olives de mer" ; flèches), au sein d'un herbier. Ils mesurent 1.5-2.0cm de longueur et environ 1cm de large (Boudouresque <u>et al.</u> ,2012).....	13
Figure 09 : A gauche : quelques aegagropiles posés sur du papier millimétré. A droite : coupe équatoriale d'un aegagropile montrant sa structure interne : un cœur lâche entouré d'une croûte plus dense (Schneider,2020).....	14
Figure 10 : Cycle de vie de <i>Posidonia oceanica</i> . (Cinelli <u>et al.</u> ,1995) photos ajoutées par l'auteur.....	15
Figure 11 : quelques uns des consommateurs directs ou indirects de Posidonies et de leurs épiphytes. Les saupes broutent activement les feuilles, de même que certains Crustacés, certains Gastéropodes et que les oursins <i>Paracentrotus</i> .Les oursins <i>Sphaerechinus</i> mangent surtout les rhizomes des plantes, tandis que les concombres de mer (Holothuries) se nourrissent de la matière organique contenue dans les sédiments et en particulier des déjections d'oursins (Paccalet et Cousteau,1983).....	17
Figure 12 : Biofilm présent sur des feuilles de posidonies où on peut reconnaître divers types de bactéries et de diatomées (Dauby &Poulícek, 1995).....	18
Figure13 : L'herbier de plaine. En haut, coupe perpendiculaire à la côte .En bas, Vue de dessus des mêmes structures (Boudouresque1982,Modifié).....	19
Figure14 : Coupe transversale dans un herbier de colline (Boudouresque1982, Modifié).....	20
Figure15 : Un herbier tigré, vu de dessus(Boudouresque <u>et al.</u> ,1985b).....	20
Figure16 :Micro-atoll de <i>Posidonia oceanica</i> (Boudouresque <u>et al.</u> 1990a).....	21

Figure17 : Ilots vivants de <i>P. oceanica</i> au sommet de “pains de sucre” (Boudouresque1982, modifié)....	21
Figure18 : Coupe transversale dans un herbier en escalier (Boudouresque,1982, modifié).....	22
Figure19 : Coupe et vue en perspective d’un herbier ondoyant à <i>Posidonia oceanica</i> (Bonhomme <u>et al.</u> ,1999, modifié).....	22
Figure 20 : Feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> couvertes d’épiphytes (Cap Blanc) (Khodja,2013).....	24
Figure 21 : Rôles écologiques de l’herbier de <i>P. oceanica</i> dans le fonctionnement des écosystèmes littoraux en Méditerranée. (GIS Posidonie, 2009 ; modifié d’après la figure originale de (Boudouresque <u>et al.</u> ,2012).....	25
Figure22 : Les feuilles tombent toute l’année mais le rythme de chute s’accélère en automne, après la floraison. Ce phénomène, conjugué à des conditions agitées (tempêtes automnales), entraîne le transport de quantités importantes de feuilles mortes sur les plages (Boudouresque et Meinez,1982).....	26
Figure 23 : Schéma synthétique du "cercle vicieux" lié à l'enlèvement des banquettes de Posidonie et à l'érosion des plages. (Martin,2018).....	27
Figure 24 : Schéma montrant les facteurs naturels et anthropiques qui influencent un paysage marin <i>Posidonia oceanica</i> . L'échelle de gauche indique la bathymétrie. (Abadie <u>et al.</u> ,2018).....	28
Figure 25 : Impact d’une ancre de bateau de plaisance dans un herbier à <i>Posidoniaoceanica</i> , avec arrachage des faisceaux de feuilles et labourage des rhizomes. (Boudouresque <u>et al.</u> ,2012).....	29
Figure 26 : Herbier à <i>Posidonia oceanica</i> colonisé par la chlorobionte invasive <i>Caulerpataxifolia</i> (flèches) (Belbachir,2012).....	30

Sommaire

Introduction	01
CHAPITRE I : Généralités sur les herbiers de posidonie	02
1-Les herbiers de Posidonie.....	02
1.1. Historique	02
1.2. Les herbiers à <i>P. oceanica</i>	02
1.3. Les herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> des côtes algériennes	03
1.4. Systématique.....	05
1.5. Distribution géographique	05
CHAPITRE II : Biologie de <i>Posidonia oceanica</i>.....	06
1. Morphologie	06
1.1. Rhizomes et matre	06
1.2. Les feuilles	07
2. La croissance	09
3. La photosynthèse	10
4. Acquisition des nutriments	10
4.1. L'azote	11
4.2. Le phosphore	11
5. La reproduction de la Posidonie	11
5.1. La reproduction sexuée	11
5.2. La reproduction asexuée	12
6. Cycle de vie	14
CHAPITRE III : Ecologie de <i>Posidonia oceanica</i>	16
1. Caractères diagnostiques de l'Habitat	16
1.1 Caractéristiques stationnelles	16
1.2 Variabilité	16
1.3 Espèces « indicatrices » du type d'habitat	16
2. Les organismes épiphytes associés à <i>Posidonia oceanica</i>	16
2.1 Les bactéries	18

2.2 Les diatomées	18
2.3 Les macro-algues épiphyte	18
2.4 La faune épiphyte	18
3. Les types d’herbier	19
3.1 L’herbier de plaine.	19
3.2. L’herbier de colline	19
3.3. L’herbier tigré.....	20
3.4. Un micro-atoll	21
3.5. L’herbier en pain de sucre	21
3.6. L’herbier en escalier	21
3.7. L’herbier ondoyant	22
4. Sensibilité aux facteurs externes	22
4.1. La profondeur	22
4.2. La lumière	23
4.3. La salinité	23
4.4. La température	23
4.5. L’hydrodynamisme	23
5. Productivité et fonctionnement des herbiers :	23
5.1. Production primaire	23
6. Importance et rôle de l’herbier de Posidonie	25
6.1. Dans les équilibres écologiques et physiques du système littoral	25
6.2. Rôle bio-indicateur	27
7.Régression de l’herbier à <i>Posidonia oceanica</i>	28
7.1. Les pollutions industrielles et urbaines	29
7.2. Les aménagements	29
7.3. Plaisance et ancrage	29
7.4. L’utilisation d’engins explosifs	29
7.5. L’aquaculture.....	30
7.6. Le Dumping	30
7.7. L’introduction d’espèces invasives	30
8.Protection des herbiers	31
9.Restauration et transplantation des phanérogames marines	31

9.1 Méthodes de transplantation	31
CHAPITRE IV : Analyses des résultats	32
Conclusion et Perspectives	33
Références bibliographiques.	35

Introduction

La Posidonie, *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile 1813, est une magnoliophyte marine (plante à fleurs) endémique de la Mer Méditerranée. Elle constitue de vastes prairies sous-marines, appelées herbiers, qui se développent depuis la surface de l'eau jusqu'à 30 à 40 m de profondeur (Molinier & Picard, 1952 ; Boudouresque & Meinesz, 1982).

La Magniophyte *Posidonia oceanica*, et les herbiers qu'elle constitue sont devenus un objectif majeur en termes de protection et de gestion du milieu marin en Méditerranée (Pergent, 1991 ; Boudouresque et al., 1995 ; Procaccini et al., 2003). En effet, les herbiers à *Posidonia oceanica* constituent l'écosystème marin le plus important de la Méditerranée (Boudouresque et Meinesz, 1982) puisqu'ils représentent un grand pôle de diversité biologique.

Posidonia oceanica est l'une des espèces les plus étudiées de l'étage infralittoral de la Méditerranée ; elle a un rôle très important sur le plan écologique et économique (Boudouresque et al., 2006).

Malheureusement, dans de nombreux secteurs du littoral méditerranéen, les herbiers de Posidonie connaissent de fortes régressions. Les facteurs d'impact avancés sont divers : aménagements côtiers (emprises directes, modifications de l'hydrodynamisme et de la sédimentation), pollutions (hydrocarbures, pesticides, métaux lourds, matière organique, matières en suspension, macro déchets), ancres, etc. (Boudouresque et al., 2009).

Les herbiers de Posidonies qui couvrent certaines surfaces du littoral Algérien ont fait l'objet de plusieurs travaux, dont ceux de Semroud et al., (1992), Semroud, (1993) et Boumaza et Semroud, (2000), Boumaaza 2015, pour le littoral centre Algérien ; Mammeria et Djebbar, (2006), pour l'est Algérien. Belbachir 2012, et Bouchher 2015, sur les herbiers à *Posidonia oceanica* de la côte Mostaganemoise, Chahrour 2012 et Khodja 2013 sur la côte occidentale Algérienne (Oran).

Pourquoi cette plante marine endémique de la méditerranée est-elle si importante ??

1-Les herbiers de posidonie :

1.1. Historique :

Il y a 120 à 100 millions d'années (Ma), au Crétacé, des Magnoliophytes¹ (Plantae) continentales sont retournées dans le milieu marin. Plus loin dans le passé, il y a environ 475 Ma, à l'Ordovicien (Ere Primaire), leurs lointains ancêtres avaient quitté ce même milieu marin pour partir à la conquête des continents (Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Wellman et al., 2003). Par le nombre de leurs espèces, dans la nature actuelle, les Magnoliophytes marines représentent un ensemble de taille considérable : 13 genres et 60 espèces (Kuo et Den Hartog, 2001).

Posidonia oceanica 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'Egypte, lui a donné son nom actuel de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, 1813.

Le nom du genre *Posidonia*, vient du mot Poséidon qui n'est autre que le nom donné au dieu de la mer par les grecques antiques, alors que le nom de l'espèce *oceanica* qui veut dire océanique, vient d'une confusion à la fin du XIX^{ème} et au début du XX^{ème} siècle avec la zostère *Zostera marina* qui existe dans l'océan Atlantique (Hamdi, 2007).

La Posidonie vivante actuellement en Méditerranée, n'est connue à l'état fossile que depuis le Pléistocène d'Ischia en Italie (Rittmann, 1930). On retrouve ces restes à l'Holocène, dans des vases sableuses à Giens (Blanc, 1958). A la base d'une intérmatte déferlante de la baie de Calvi (Corse), les rhizomes d'une matte en place ont été datés 4590 ans A.J (Boudouresque et al., 1980d). A Port-laNouvelle, à 1 km à l'intérieur des terres, on a également découvert une strate correspondant à un ancien herbier à *Posidonia oceanica*, qui a été daté de 2100 ans A.J (Aloisi et al., 1978).

En Méditerranée, on recense 5 espèces de Magnoliophytes marines. Outre *Posidonia oceanica*, on y rencontre *Cymodocea nodosa*, *Nanozostera noltii*, *Zostera marina*, ainsi qu'une espèce de mer Rouge rentrée en Méditerranée par le canal de Suez, *Halophila stipulacea* (Den Hartog, 1970 ; Por, 1978).

1.2. Les herbiers à *P. oceanica* :

Posidonia oceanica (Linnaeus) DELILE 1813, communément appelée Posidonie est une magnoliophyte (phanérogame) marine endémique de la Méditerranée, c'est-à-dire strictement cantonnée à cette mer C'est une plante angiosperme monocotylédone sous-marine. Comme toutes les plantes à fleurs, elle a des racines, une tige rhizomateuse et des feuilles rubanées. Elle fleurit en automne et produit au printemps des fruits flottants communément appelés « olive di mare » ‘olives de mer’ en Italien (Boudouresque, 2006).

Les herbiers de posidonies sont des formations caractéristiques du littoral méditerranéen et occupent une surface comprise entre 25000 et 50000 km², soit 1 à 2% des fonds de la Méditerranée (Pasqualini et al., 1998 a ; Gobert et al., 2005). Ce sont de grandes prairies sous-marines constituées à partir de la phanérogame *P. oceanica* et dont la formation nécessite un substrat préalablement préparé par d'autres végétaux. Il se produit en fait une véritable succession écologique qui aboutit à une communauté climacique dominée par la posidonie. (Fig 01)

Cette succession peut avoir lieu aussi bien sur du sable que sur un substrat vaseux ou, plus rarement, sur substrat dur (Boudouresque & Meinesz, 1982 ; Cinelli et al., 1995).

En effet, les herbiers à *P. oceanica* constituent un élément fondamental pour la qualité des milieux littoraux (Bousouresque et Meinesz, 1982 ; Videau et Merceron, 1992).



Figure 01 : Les prairies à *Posidonia oceanica* (Boudouresque, 2013.)

1.3. Les herbiers à *Posidonia oceanica* des côtes algériennes :

Posidonia oceanica est la phanérogame marine la plus répandue sur les côtes algériennes ; elle colonise la quasi-totalité de l'étage infralittoral et forme de vastes herbiers entre -0.5 et -30 m de profondeur. Toutefois, les surfaces occupées restent modestes en raison de l'étroitesse du plateau continental. La seule cartographie à grande échelle des herbiers à *Posidonia oceanica* d'Algérie disponible est celle établie par (Vaissier et Fredj., 1963). Elle indique que les herbiers étaient particulièrement bien développés dans le golfe d'Annaba, la baie de Bou Ismail et le golfe d'Arzew. Dans le golfe d'Arzew, ils descendent jusqu'à l'isobathe -30 m, tandis que dans le golfe d'Annaba et la baie de Bou Ismail, ils ne dépassent pas l'isobathe -25 m. A ce travail s'ajoute ceux de Semroud (1993) et de Boumaza (1995), qui sont des études ponctuelles portant sur les différents aspects liés à l'écosystème à *Posidonia oceanica* et qui viennent préciser cette répartition. Des récifs-barrière sont signalés à El Kala et à l'anse de Kouali, près de Tipasa (c'est le récif-barrière le plus prospère des côtes algériennes) (Le Gall, 1969 ; Boumaza, 1995). Il existe également de petits récifs à Bou Ismail et Sidi Fredj (Molinier et Picard, 1953) et dans le secteur de Jijel et Bejaia (Gouraya) (Grimes et al., 2004).

Les études de (Semroud et al., 1992) ont abouti à la découverte à La Marsa (baie d'Alger) d'une population de Posidonie individualisée par rapport à la description classique de *Posidonia oceanica*. La variabilité morphologique de cette espèce sur les côtes algériennes s'expliquerait soit par des facteurs environnementaux, ou par des facteurs génétiques. Pour le moment, ces auteurs n'ont pas statué sur la position taxinomique de cette population, par rapport au concept classique de l'espèce *Posidonia oceanica*

(Grimes *et al.*, 2004). Une synthèse des données disponible relative à la biodiversité des habitats à Posidonies, malgré leur caractère fragmentaire et incomplet, montre déjà l'exceptionnelle richesse des herbiers à *Posidonia oceanica* des côtes algériennes (Tableau. 01).

Tableau 01 : Nombre d'espèces animales et végétales associées aux herbiers à *Posidonia oceanica* des côtes algériennes (Grimes *et al.*, 2004, modifié).

Groupes	Nombre d'espèces
Phycophytes	
Chlorophyceae	16
Pheophyceae	24
Rhodophyceae	33
Cnidaires	3
Mollusques	
Bivalvia	52
Gasteropoda	21
Placophora	4
Annélides	
<i>Polychaeta errantia</i>	57
<i>Polychaeta sedantennaria</i>	36
Crustacés	
Amphipoda	63
Decapoda	35
Isopoda	16
Anisopoda	4
Cumacea	4
Mysidacea	1
Leptostraca	1
Bryozoaires	2
Echinodermes	
Holothuridea	7
Echinoidea	5
Asteroidea	1
Ophiuroidea	9
Vertébrés	
Chondryctyies	1
osteichthyies	70

1.4. Systématique

La classification de *Posidonia oceanica* se présente comme suit :

Règne : Plantae

Sous règne : Tracheobionta

Super division : Spermatophyta

Division : Magnoliophyta

Classe : Liliopsida

Sous- Classe : Alismatidae

Ordre : Najadales

Famille : Posidoniaceae

Genre : *Posidonia*

Espèce : *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, 1813.

1.5. Distribution géographique

La phanérogame marine *Posidonia oceanica* colonise les côtes européennes (France, Corse, Sardaigne, Italie, Yougoslavie, Grèce, Turquie) et les côtes Nord Africaines (Égypte, Libye, Tunisie, Algérie) (Den Hartog, 1970 ; Phillips et Meneisz, 1988). Elle est plus abondante dans sa partie occidentale que dans sa partie orientale (absence dans la Mer de Marmara, le Bosphore et dans la Mer noire), même si elle disparaît près de Gibraltar et à l'embouchure des grands fleuves (Rhône, Pô, Nil) ; suite aux trop fortes variations de salinité, à la trop faible disponibilité en lumière et à la turbidité (Boudouresque et Meneisz, 1982) (Fig.02).

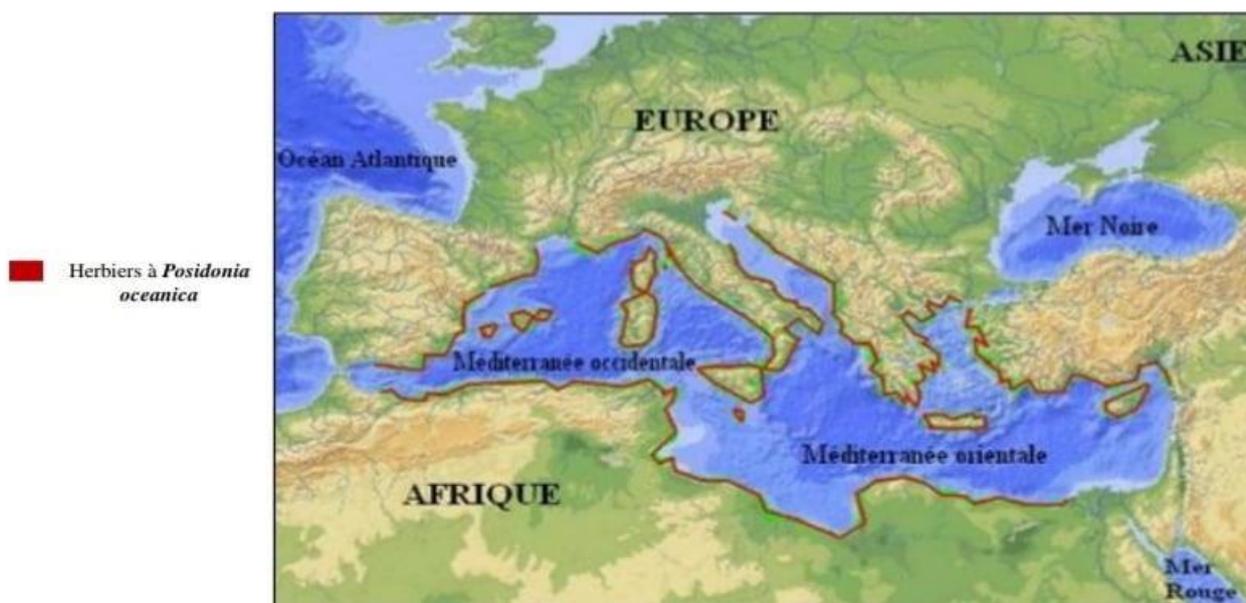


Figure 02 : Répartition de *Posidonia oceanica* le long des côtes méditerranéennes (ligne rouge)

(Procaccini et al., 2003, modifiée).

1. Morphologie :

1.1. Rhizomes et matte :

Posidonia oceanica est constituée par des tiges rampantes ou dressées, généralement enfouies dans le sédiment, que l'on nomme **rhizomes**. Les rhizomes rampants (à croissance horizontale) qui suivent la direction de la plage sont dits **plagiotropes**, ils assurent l'ancrage de l'herbier et l'extension de sa surface ; ceux dressés sont dits **orthotropes**, ils permettent la croissance verticale et empêchent l'enfouissement des feuilles (Fig. 03). La différenciation des rhizomes plagiotropes et orthotropes n'est pas irréversible : un rhizome plagiotrope peut se transformer en rhizome orthotrope et vice-versa (Caye, 1980).

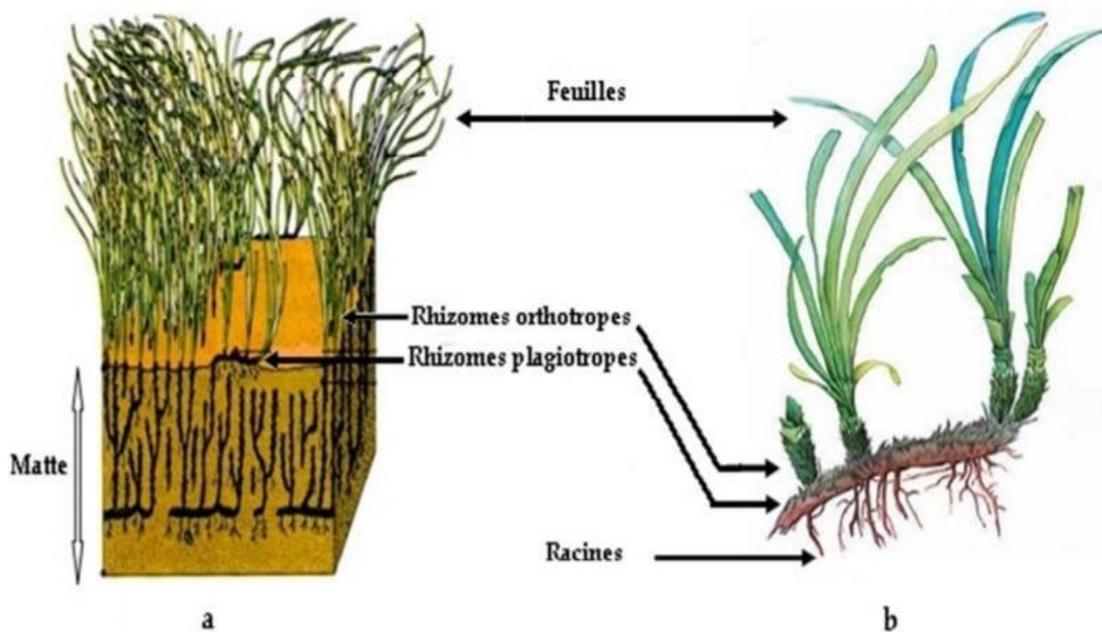


Figure 03 : a) Bloc diagramme montrant la structure d'une matte ; b) Un rhizome plagiotrope de *Posidonia oceanica* portant des racines ainsi que des rhizomes orthotropes avec des faisceaux de feuilles à leurs extrémités. (Boudouresque et al., 2006 ; modifié).

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.

Les rhizomes se terminent par des groupes de 4 à 8 feuilles (qui forme un faisceau), larges de 8-11 mm en moyenne et longues de 20-80 cm en moyenne, mais pouvant atteindre plus d'un mètre (Giraud et al., 1979 ; Panayotidis et Giraud, 1981). Ils portent également des racines qui peuvent descendre jusqu'à 70 cm dans le sédiment (Giraud et al., 1979 ; Caye, 1980 ; Boudouresque et Meinesz, 1982).

On trouve une partie « aérienne », la canopée et une partie souterraine, la « matte » (Boudouresque et Meinesz, 1982).

La matte

Ce lacs de rhizomes et le sédiment qui colmate les interstices, constituent un ensemble très caractéristique que l'on désigne sous le nom de **matte**. Au cours du temps, lorsque l'équilibre croissancesédimentation est réalisé, l'herbier et la matte sous-jacente s'élèvent lentement vers la surface et peuvent atteindre plusieurs mètres. Cette vitesse d'élévation de la matte varie en fonction des secteurs étudiés. Longtemps estimée à 1 m par siècle en moyenne (Molinier & Picard, 1952), elle semble, au vue de travaux plus récents, être plus lente, de 34 à 86 cm (Pergent & Pergent-Martini, 1990). (Fig.04).

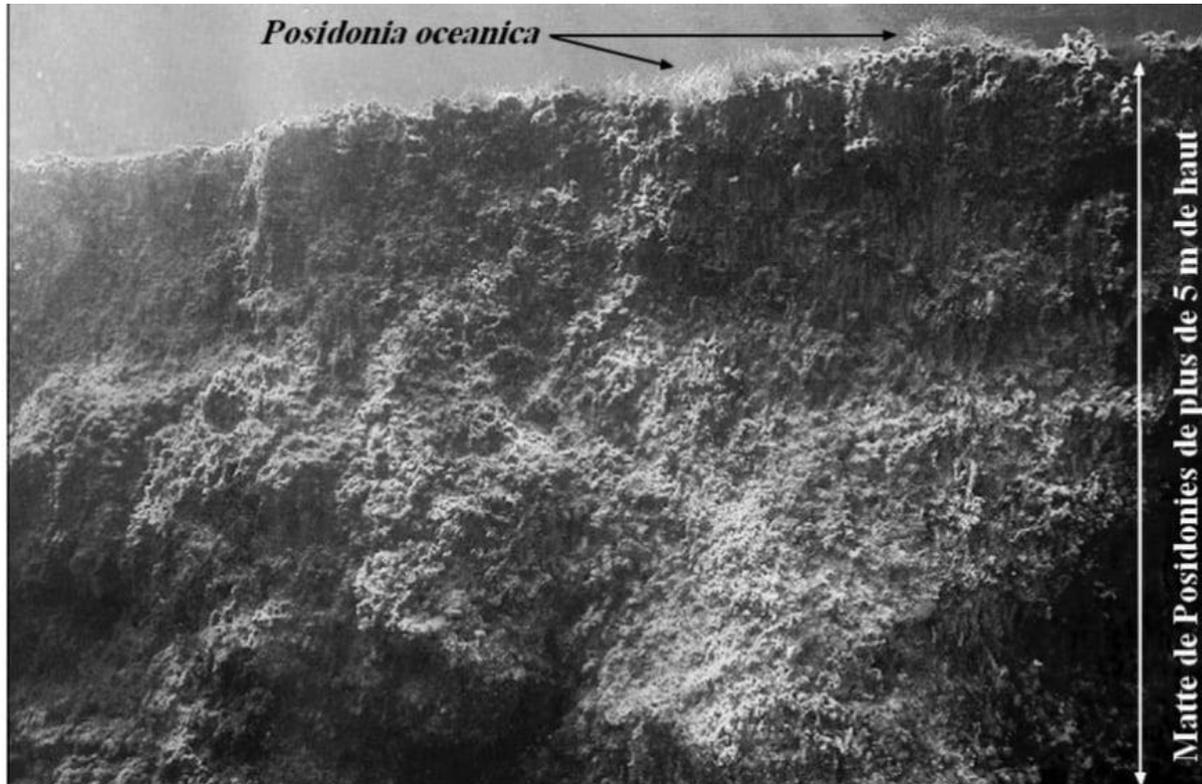


Figure 04 : Matte de Posidonies de plus de cinq mètres de haut retrouvée aux îles Baléares, (Espagne). En haut de la figure, des faisceaux vivants de *Posidonia oceanica* peuvent être reconnues (Matéo et al., 2006, modifiée)

1.2. Les feuilles :

Les feuilles de *Posidonia oceanica* sont rubanées et présentent 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 au centre et les plus âgées se trouvent donc à l'extérieur du faisceau.

De nouvelles feuilles se forment toute l'année. Elles vivent entre 5 et 8 mois, plus rarement jusqu'à 13 mois. Les feuilles de moins de 5cm de longueur sont appelées « feuilles juvéniles », les feuilles de plus de 5cm sans gaine basale (= pétiole), « feuilles intermédiaires » ; lorsque la croissance est terminée, une gaine basale se met en place : la feuille est alors dite adulte (Giraud, 1979 ; Ott, 1980 ; Thélin et Boudouresque, 1983). (Fig.05).

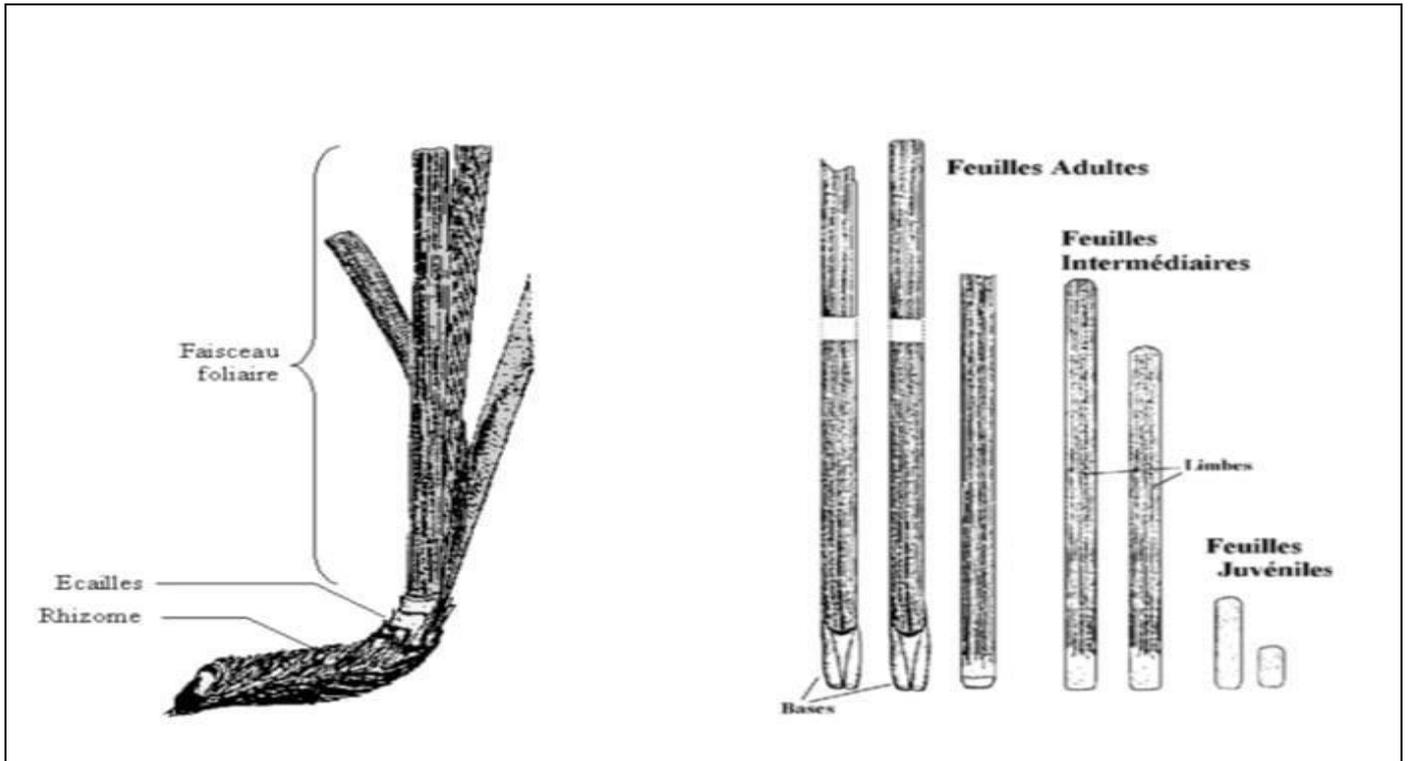


Figure 05 : Morphologie externe de *Posidonia oceanica* (Boudouresque et Meinesz, 1982).

Cette phanérogame est une plante caduque. Après la chute des limbes, les feuilles laissent des traces sur le faisceau (écailles, qui correspondent en fait aux pétioles des feuilles) qui engainent les nouvelles feuilles (Pergent & Pergent-Martini, 1991 ; Gobert *et al.*, 2005).

Les feuilles 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 (e.g. par une tempête ou suite au broutage par un herbivore). Les lacunes 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).

A leur mort, les feuilles ne se détachent pas en totalité ; seul le limbe est caduque, tandis que la gaine basale (appelée aussi pétiole), de quelques centimètres de longueur, reste fixée au rhizome. On lui donne alors le nom d'écaille. Les écailles (comme les rhizomes) sont peu putrescibles et se conservent donc pendant plusieurs siècles ou millénaires. Toute une série de paramètres des écailles (longueur, épaisseur, anatomie) varie de façon cyclique le long d'un cycle annuel. On désigne sous le nom de **lépidochronologie** l'analyse de ces cycles annuels (Crouzet, 1981 ; Crouzet *et al.*, 1983 ; Pergent *et al.*, 1983 ; Pergent, 1990a).

La lépidochronologie (Fig. 06), constitue un outil pour mesurer la vitesse de croissance des rhizomes, le nombre de feuilles formées chaque année, la dynamique d'édification des herbiers, la production primaire

passée, les teneurs anciennes en contaminants, etc... (Pergent, 1990b ; Pergent et Pergent-Martini, 1990 ; Pergent et al., 1992 ; Pergent-Martini et Pergent, 1994 ; Pergent-Martini, 1998). La chute des feuilles, comme leur formation, se produit tout au long de l'année (Pergent et Pergent-Martini, 1991).

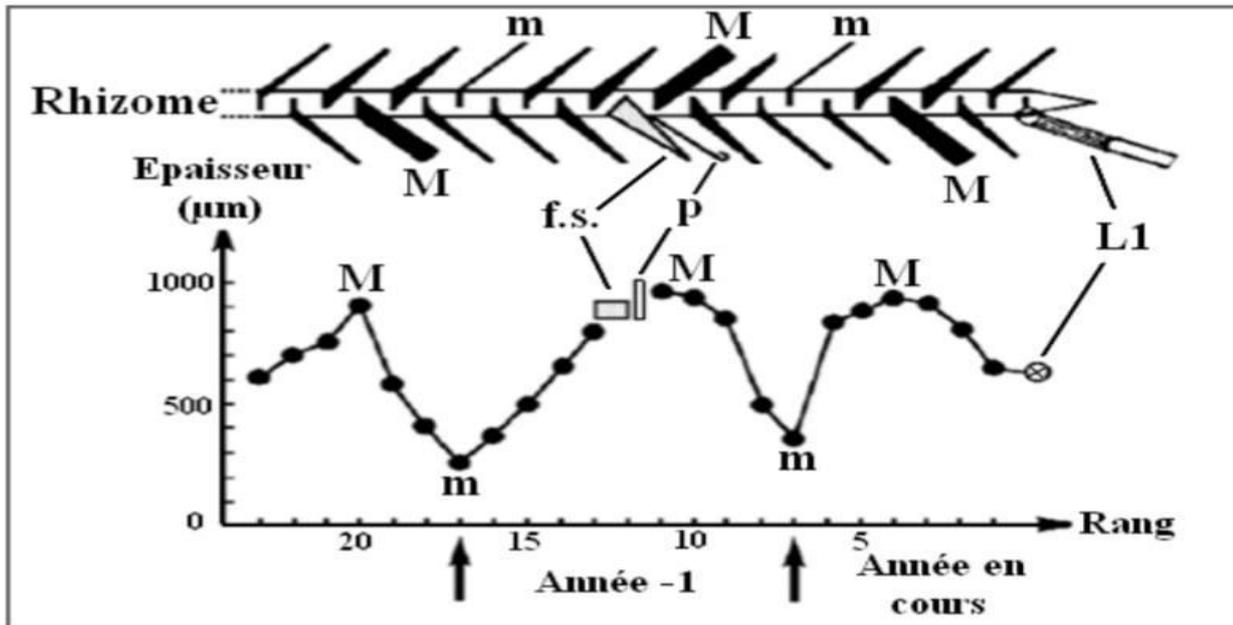


Figure 06 : La lépidochronologie. En haut : disposition des écailles le long d'un rhizome de *Posidonia oceanica*. En bas : épaisseur des écailles (en μm). M : maximum d'épaisseur. m : minimum d'épaisseur. f.s: restes d'un pédoncule floral. P: prophyllé (= préfeuille) accompagnant le pédoncule floral. L1 : feuille vivante la plus âgée (Pergent et al., 1989b).

Les feuilles et les rhizomes de *Posidonia oceanica* sont le support de toute une flore et une faune d'organismes dont certains sont calcifiés. A leur mort, leurs restes tombent sur place, constituant un sédiment autochtone (débris de tests ou de piquants d'oursins, de coquilles de Mollusques, de Corallinaceae, etc.) (Boudouresque et al., 2012).

2. La croissance :

La croissance de la posidonie est très lente et tant que l'espace disponible n'a pas entièrement été colonisé, elle permet de coloniser des espaces restants (Boudouresque et Jeudy de Grissac, 1983 ; Boudouresque et al., 1984 ; Caye, 1982, 1989).

Les rhizomes plagiotropes s'allongent plus vite que les rhizomes orthotropes (Boudouresque et Jeudy de Grissac, 1983). L'allongement annuel d'un rhizome orthotrope est très variable d'une station à l'autre, d'un rhizome à l'autre dans une même station, et surtout d'une année à l'autre dans une même station. Les valeurs extrêmes mesurées vont de 3 à 77 mm par an.

Un enfouissement dans le sédiment entraîne une accélération de la vitesse de croissance des rhizomes orthotropes (Molinier et Picard, 1952 ; Caye, 1980 ; Boudouresque et al., 1984).

En fait, le facteur limitant prépondérant pour la croissance des phanérogames marines est la lumière qui atteint les feuilles et donc la transparence de l'eau et la profondeur (Cinelli et al., 1995 ; Hemminga, 1998 ; Ballesta et al., 2000).

3. La photosynthèse

La photosynthèse est un processus physiologique, appelé autrefois assimilation chlorophyllienne. Ce terme, vient du grec phôtos, "lumière", et sunthesis, "réunion/composition". C'est en 1770 que le chimiste anglais Joseph Priestley montre qu'une plante peut restaurer l'air "vicié" par une bougie ou par un animal. Il a mis le doigt sur une composante clé de la photosynthèse, la libération d'oxygène - alors même que ce gaz n'est pas encore connu.

En 1845, l'Allemand Julius Von Mayer met en évidence la facette énergétique du processus : ce dernier repose sur la conversion de l'énergie solaire en énergie chimique en utilisant l'anhydride carbonique (CO₂), l'eau et les minéraux, les premières molécules produites sont les Glucides (Anonyme, (1981). L'équation est la suivante : L'anhydride carbonique $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ Lumière $\rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 =$ glucides.

Une des conséquences de la photosynthèse des végétaux est la production d'oxygène. Les herbiers à *P. oceanica* sont donc un facteur important de l'oxygénation de l'eau. Par exemple, à 10 m de profondeur, en Corse, un mètre carré d'herbier dégage jusqu'à 14 litres d'oxygène par jour (Bay, 1978 in Boudouresque et Meinesz, 1982).

Dans un milieu aquatique, la chlorophylle est considérée comme étant un indicateur de la biomasse et de la productivité végétale et algale. La chlorophylle a est ubiquitaire, les plantes et les algues vertes renferment de la chlorophylle b, les algues brunes et les diatomées de la chlorophylle c et certaines cyanobactéries, une chlorophylle d découverte en 1996.

Les chlorophylles a et b absorbent dans les régions bleues (420 – 495 nm) et rouge (600- 660nm). En solution dans l'acétone ou un autre solvant organique la chlorophylle a est bleue-verte et la chlorophylle b est jaune verte. Leur structure n'étant pas identique, leurs pics d'absorption ne coïncident pas exactement, ainsi, elles sont complémentaires dans l'absorption de la lumière incidente (Jupin H. et Lamant A., (1999).

On utilise, ensuite, l'équation des plantes supérieures de (Jeffrey et Humphrey,1975) pour le calcul des quantités de chlorophylles a et b présentes dans les échantillons

Les longueurs d'ondes sont : 750, 664 et 647 nm

Chlorophylle a : $11.93 E_{664} - 1.93 E_{647}$

Chlorophylle b : $20.36 E_{647} - 5.50 E_{664}$

Le symbole E_x désigne l'extinction à la longueur d'onde x. (Vangeluwe,2006)

4.Acquisition des nutriments

Posidonia oceanica vit dans des milieux généralement pauvres en nutriments (Gobert et al., 2003 ; Goffart et al., 2002). L'acquisition des nutriments nécessaires à la croissance constitue donc un problème fondamental

4.1. L'azote :

L'acquisition de l'azote par *P. oceanica* se fait suivant différents mécanismes. D'une part, elle capte les nutriments présents dans le sédiment grâce aux racines, d'autre part, elle peut prélever les ions directement dans la colonne d'eau via l'incorporation par les feuilles. Le budget en azote de *P. oceanica* est très complexe, tant au niveau des sources d'azote utilisées (sédiment, colonne d'eau) que de la nature de l'azote utilisé (ammonium, nitrate ou nitrite). C'est l'aptitude des phanérogames à utiliser différentes sources de nutriments qui leur permet d'assurer leurs besoins en nutriments de manière durable (Pedersen et Borum, 1992).

4.2. Le phosphore :

Les niveaux de phosphore dans les herbiers varient de 0.1 à 1.7 μM dans la colonne d'eau et on trouve des concentrations plus importantes dans l'eau interstitielle du sédiment (0.3-20 μMPO_4^{3-}) (Touchette et Burkholder, 2000a). La majeure partie de l'absorption du phosphore se fait au niveau des racines, le reste étant absorbé par les feuilles (McRoy et al., 1972). Le phosphore issu de la matière organique morte est transformé par les microorganismes détritvovores du sédiment en phosphate dissous qui pourra directement être assimilé.

5. La reproduction de la Posidonie :

Les organes sexuels sont identiques à ceux des plantes terrestres. Nous avons les étamines pour les mâles et le pistil pour les femelles. Le pollen, filaments visqueux, dérive au gré des courants et les ovaires sont adaptés à la capture de ce pollen à l'aide de denticulations. La posidonie se reproduit aussi par voie asexuée (végétative) c'est le bouturage naturel de ses fragments cassés et transportés lors des tempêtes qui finissent par s'enraciner à nouveau (Meinesz et Lefevre, 1984 ; Buia et Mazzella, 1991 ; Boudouresque et al., 1994).

5.1. La 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. A la différence des algues, elles fleurissent en automne (septembre- novembre), cette floraison a lieu moins d'une année sur 2 et seulement dans des secteurs localisés. 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). (Fig.07)

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 ; Mazella et al., 1983, 1984 ; Caye et Meinesz, 1984 ; Pergent, 1985 ; Pergent et al., 1989a ; Acunto et al., 1996 ; Piazziet al., 1999 ; Gobertet al., 2005).

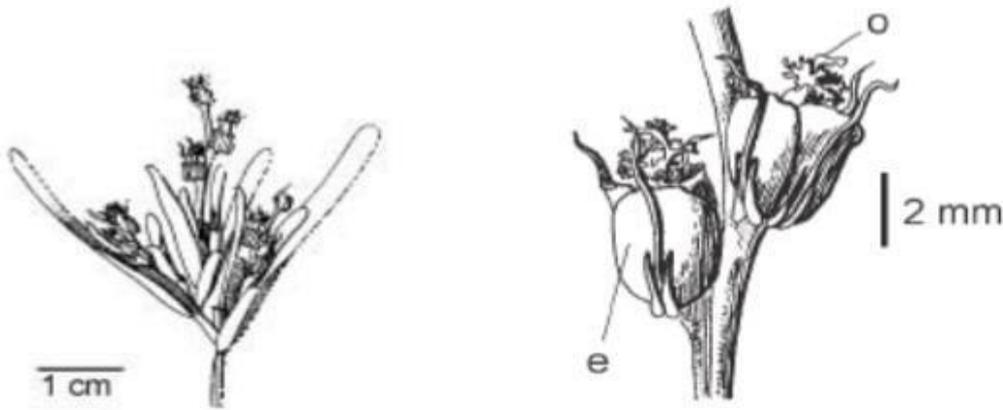


Figure 07 : A gauche : une inflorescence de *Posidonia oceanica*. A droite : deux fleurs ; les étamines (e) sont situées à l'extérieur ; on aperçoit le sommet de l'ovaire doté de denticulations susceptibles d'accrocher le pollen filamenteux (o). (Den Hartog ,1970).

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 physicochimiques sont favorables, la germination d'un embryon libéré par la déhiscence du fruit, peut avoir lieu (Gambiet al., 1996). Selon l'orientation des courants, ils peuvent s'échouer en grand nombre sur les plages. Ces fruits ont la forme et la dimension d'une olive ; leur couleur est vert foncé, brun foncé à noir (Fig. 08). Ils contiennent une seule graine (Den Hartog, 1970 ; Boudouresque et Meinesz, 1982).

5.2. La 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.



Figure 08 : Fruits de *Posidonia oceanica* (“olives de mer” ; flèches), au sein d’un herbier. Ils mesurent 1.5-2.0cm de longueur et environ 1cm de large (Boudouresque et al.,2012).

Cependant, Balestri & Cinelli (2003) ont montré qu’un grand nombre de ces fruits avortaient. Selon eux, pour produire un seul fruit mature viable, 12 ou 13 inflorescences seraient nécessaires ! C’est le facteur température qui est le plus souvent cité comme facteur limitant pour cette floraison, ce qui explique le manque de succès de ce type de reproduction (Boudouresque and Meneisz, 1982 ; Balestri et Cinelli, 2003). Etant donné que la reproduction végétative est la voie principale, on observe un faible polymorphisme génétique chez *P. oceanica*, ce qui peut être un désavantage face aux pressions de son environnement (Procaccini et al., 2002).

Si le substrat et les conditions physico-chimiques sont convenables la germination commence et assure la dissémination de l’espèce (Boudouresque et al.,1994). En automne, les feuilles de posidonie sont arrachées par la houle et les pelotes de mer (Fig.09) « aegagropyles » sont formées de morceaux de feuilles qui s’agglomèrent pour former des petites boules de quelques cm de diamètre, sont généralement rencontrées sur le sable des plages. En hiver, les rhizomes donnent naissance à de nouvelles feuilles vertes qui vont pousser avec vigueur tout au long du printemps. Au fur et à mesure qu’elles se développent, de petits organismes s’y incrustent et c’est ainsi qu’à la fin de l’été, elles paraissent blanches et se couchent sous le poids de ces incrustations.

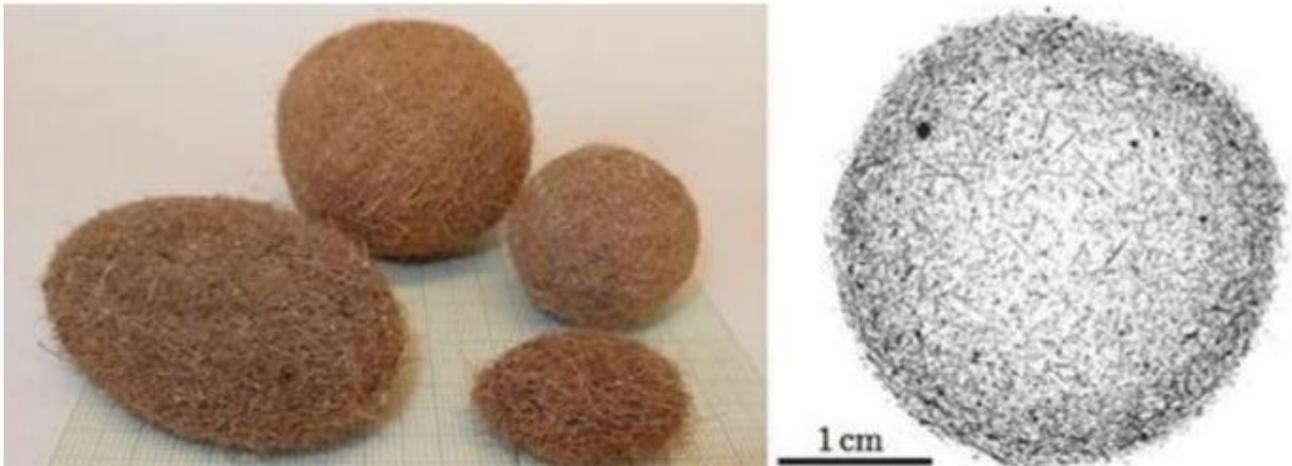


Figure 09 : A gauche : quelques aegagropiles posés sur du papier millimétré. A droite : coupe équatoriale d'un aegagropile montrant sa structure interne : un cœur lâche entouré d'une croûte plus dense (Schneider,2020).

6. Cycle de vie

Le cycle de vie de *Posidonia oceanica* est annuel. En cas de conditions défavorables à la germination, les graines entrent en dormance. De plus, on observe une augmentation du nombre de feuilles par faisceau d'août à novembre, un nombre constant de décembre à mai et une diminution de juin à novembre à -10 m de profondeur.

La longueur maximale des feuilles est atteinte aux alentours des mois de juin et de juillet et la période de croissance maximale a lieu en juin. Les mêmes cycles ont également été observés à des profondeurs plus importantes mais avec un décalage dans le temps (Bay, 1984 ; Novak, 1984 ; Romero, 1989b ; Pergent et Pergent- Martini, 1991 ; Elkalay et al., 2003). (Fig.10).

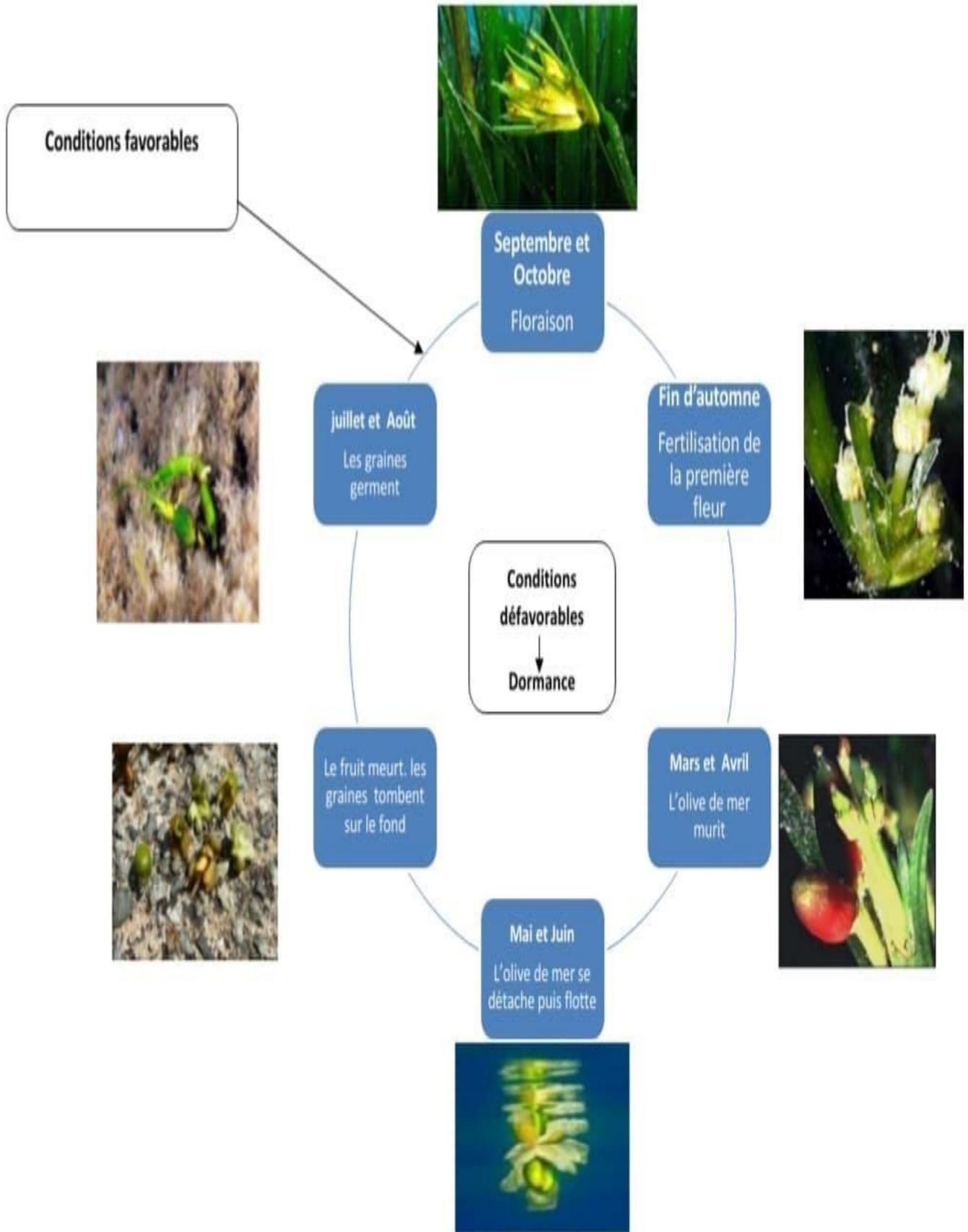


Figure 10 : Cycle de vie de *Posidonia oceanica*. (Cinelli et al.,1995) photos ajoutées par l'auteur.

1. Caractères diagnostiques de l'Habitat :

1.1 Caractéristiques stationnelles :

Posidonia oceanica constitue des herbiers caractéristiques de l'étage infralittoral (profondeur : de quelques dizaines de centimètres jusqu'à 30 à 40 m). Sur substrat dur ou meuble, ceux-ci constituent l'un des principaux climats méditerranéens. Ils tolèrent des variations d'amplitude relativement grandes en ce qui concerne la température et l'hydrodynamisme. On ne les rencontre jamais ni dans les lagunes ni à l'ouvert des estuaires. *Posidonia oceanica* est une plante dont les feuilles peuvent atteindre un mètre de hauteur. (Bensettiti et al., 2004).

1.2 Variabilité :

Posidonia oceanica constitue des « prairies » sous-marines débutant à quelques mètres de profondeur et descendant de 20 à 30 m, voire même jusqu'à 40 m. C'est cette forme que l'on nomme « herbier dense ». Parfois, l'herbier arrive à quelques centimètres de la surface de l'eau et constitue alors un « récif frangeant ». Lorsqu'il laisse une lagune en arrière, il constitue un « récif-barrière ». Parfois la *Posidonia oceanica* se présente sous forme de taches qui ne constituent pas vraiment un herbier, soit aux limites supérieure ou inférieure de l'herbier, soit directement sur des fonds sableux. (Bensettiti et al., 2004).

1.3 Espèces « indicatrices » du type d'habitat

L'habitat est caractérisé par la Posidonie (*Posidonia oceanica*) présente trois catégories de faune et de flore :

-Les espèces sessiles sur les feuilles de Posidonie

-Les espèces vivant dans la matrice constituée par les rhizomes de Posidonies

-Les espèces vagiles vivant dans l'ensemble du biome (Bensettiti et al., 2004).

2. Les organismes épiphytes associés à *Posidonia oceanica* :

La flore et la faune de l'herbier à *P. oceanica* sont d'une exceptionnelle richesse. Environ 20% de toutes les espèces recensées en Méditerranée y ont été signalées, ce qui en fait le principal pôle de biodiversité en Méditerranée (Boudouresque, 1996).

L'herbier attire et concentre également une faune variée grâce au développement important de sa canopée et constitue un lieu de choix pour la reproduction de nombreux organismes (lieu de frayère) ainsi que pour le développement des jeunes (lieu de nurserie), notamment en ce qui concerne certaines espèces économiquement rentables (certains crustacés, Sparidae, Serranidae, Labridae, Scorpaenidae, oursins, ...). Il peut aussi servir d'abri ou de terrain de chasse notamment pour des espèces rares comme l'hippocampe *Hippocampus hippocampus* (Boudouresque & Meneisz, 1982 ; Chessa et al., 1995 ; Procaccini et al., 2003 ; Lavery et al., 2003 ; Duarte, 2002 ; Gobert et al., 2005) (Fig.11)

La posidonie est peu consommée par les herbivores (moins de 10 %) : l'oursin *Paracentrotus lividus*, le poisson *Sarpa salpa* et divers crabes du genre *Pisa* principalement (Velimirov, 1984 ; Boudouresque et al., 1994 ; Rico-Raimondino, 1995 et Pergent et al., 1997). Une partie des feuilles mortes reste sur place, constituant une litière consommée par de nombreux détritivores, principalement des Crustacés, et des Echinodermes (Zupi et Fresi, 1984 et Pergent et al., 1997).

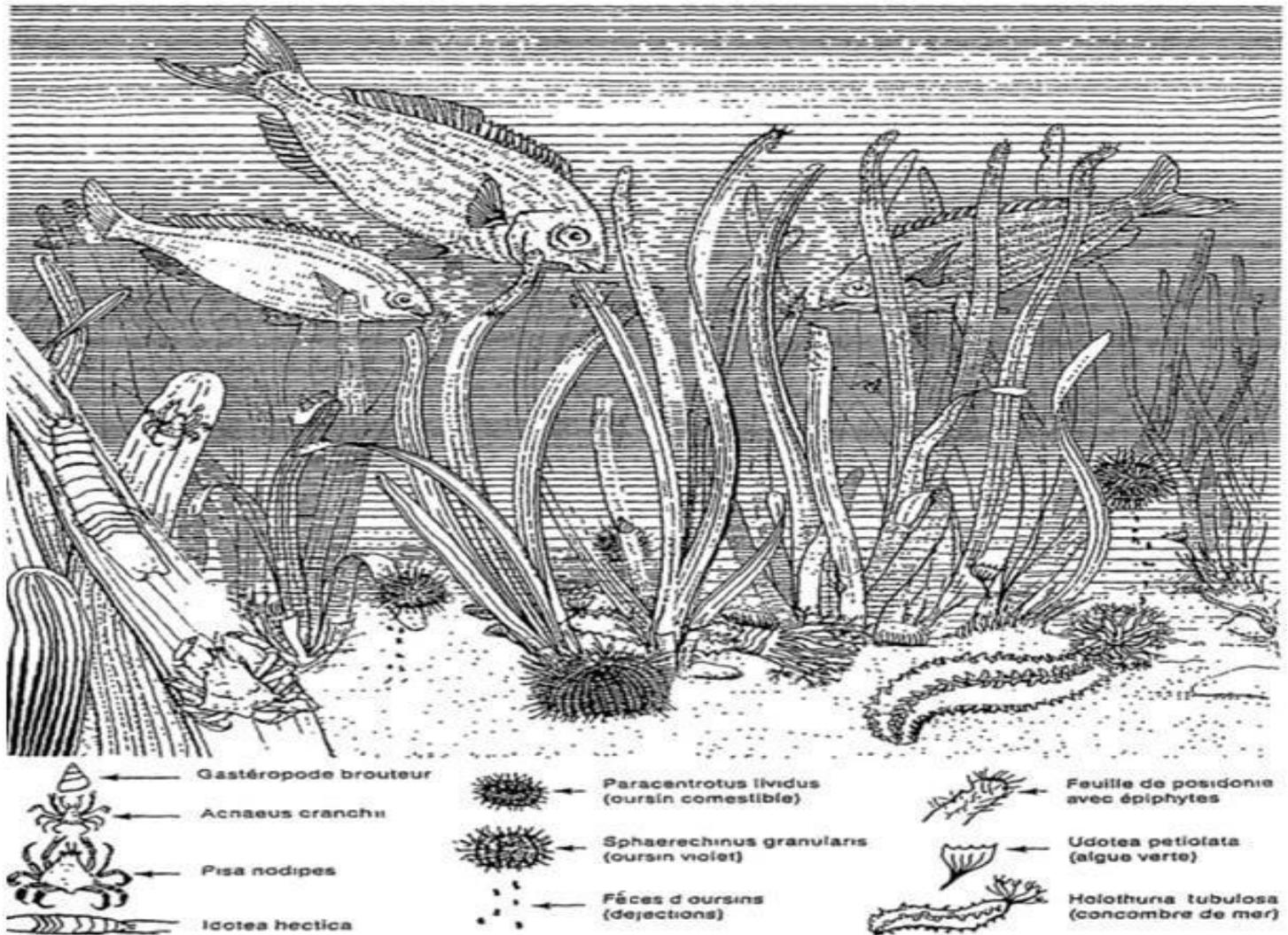


Figure 11 : quelques uns des consommateurs directs ou indirects de Posidonies et de leurs épiphytes. Les saupes broutent activement les feuilles, de même que certains Crustacés, certains Gastéropodes et que les oursins *Paracentrotus*. Les oursins *Sphaerechinus* mangent surtout les rhizomes des plantes, tandis que les concombres de mer (Holothuries) se nourrissent de la matière organique contenue dans les sédiments et en particulier des déjections d'oursins (Paccalet et Cousteau,1983).

Le terme épiphyte comprend l'ensemble des organismes vivants à la surface d'une plante. Parmi ceux-ci, on distingue les organismes vagiles (organismes mobiles liés au substrat par les conditions écologiques qu'il procure) et les organismes fixés (attachés au substrat). (Pête,2005).

Un grand nombre d'organismes différents appartiennent à la communauté épiphyte des feuilles de posidonies. Les feuilles de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, la principale phanérogame marine méditerranéenne, offrent un bon support pour de tels organismes en raison, notamment, de la qualité du substrat (régulier et en régénération constante) et de sa position dans la colonne d'eau (Pérès et Picard,

1964). En effet, la feuille qui commence à croître est très rapidement colonisée par différents types de **bactéries**, puis, un peu plus tard, par des **diatomées**. Cet ensemble bactérie/diatomée, que l'on appelle

parfois **feutrage épiphytique** (Fig. 12), peut coloniser une portion relativement grande de la feuille 20 à 60 % ; (Dauby et Poulicek, 1995).

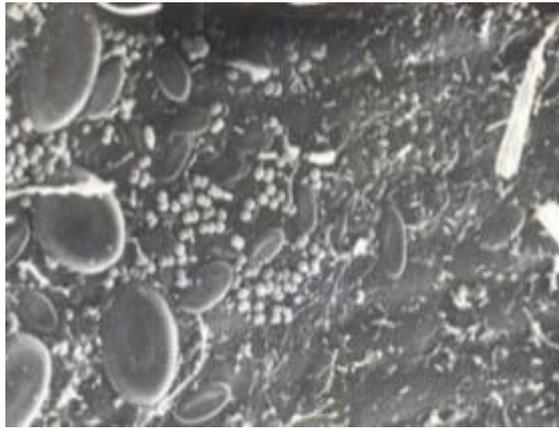


Figure 12 : Biofilm présent sur des feuilles de posidonies où on peut reconnaître divers types de bactéries et de diatomées (Dauby et Poulicek, 1995).

2.1. Les bactéries

Les bactéries sont les premiers organismes à s'installer sur les objets nouvellement mis en contact avec le milieu marin et donc aussi sur les feuilles de posidonies qui commencent à croître (Gu et al., 1996 ; Törnblom & Søndergaard, 1999).

2.2. Les diatomées

Les diatomées sont de petits eucaryotes unicellulaires faisant partie de la lignée brune. Au sein de celle-ci, ils sont classés parmi les Straménopliles (comme les Phéophycées ou algues brunes) dans le groupe des Bacillariophycées (Lecointre & Le Guyader, 2001). Elles sont caractérisées principalement par leur paroi en deux parties (thèques), qui s'emboîtent comme une boîte de Petri, appelée frustule.

2.3. Les macro-algues épiphytes

Ces algues se situent surtout au niveau de la zone apicale des feuilles et cette position apicale est aisément compréhensible car c'est à cet endroit que la lumière atteint le plus facilement les feuilles et que les effets de la sédimentation se font le moins sentir. De plus, cette zone se déplace plus dans le courant, ce qui est un avantage non négligeable pour l'absorption des nutriments nécessaires à leur croissance (Mazzella et al., 1995 ; Trautman et Borowitzka, 1999)

2.4. La faune épiphyte

La faune épiphyte des feuilles de *P. oceanica* est constituée d'un grand nombre d'organismes différents. On peut notamment y rencontrer **des ciliés, des foraminifères, des nématodes, des polychètes, des tuniciers** (principalement coloniaux), **des bryozoaires** et **des hydrozoaires** (Kerneis, 1960 ; Novak, 1984 ; Chimenz et al., 1989 ; Aladro-Lubel & Martínez-Murillo, 1999).

3. Les types d'herbier :

L'herbier à *Posidonia oceanica* peut se présenter sous un certain nombre de types 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).

3.1. L'herbier de plaine constitue le type d'herbier le plus courant en Méditerranée, tout particulièrement en Méditerranée Occidentale. 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) (Fig. 13) ; Boudouresque *et al.*, 1980d, 1985a). Toutes ces structures sont d'origine naturelle (Blanc et Jeudy de Grissac, 1984).

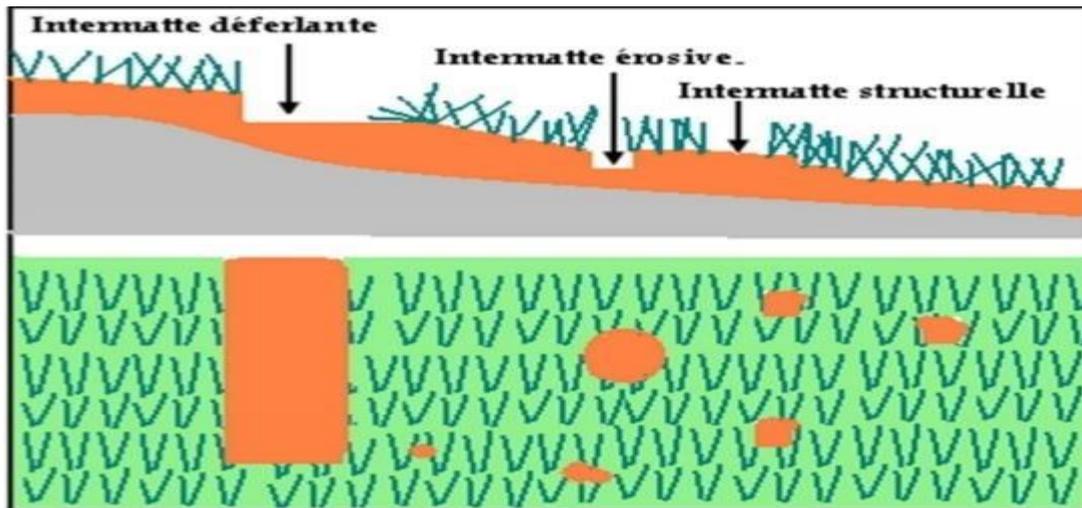


Figure 13 : L'herbier de plaine. En haut, coupe perpendiculaire à la côte. En bas, vue de dessus des mêmes structures (Boudouresque 1982, Modifié).

3.2. L'herbier de colline 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 (Fig. 14). 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.

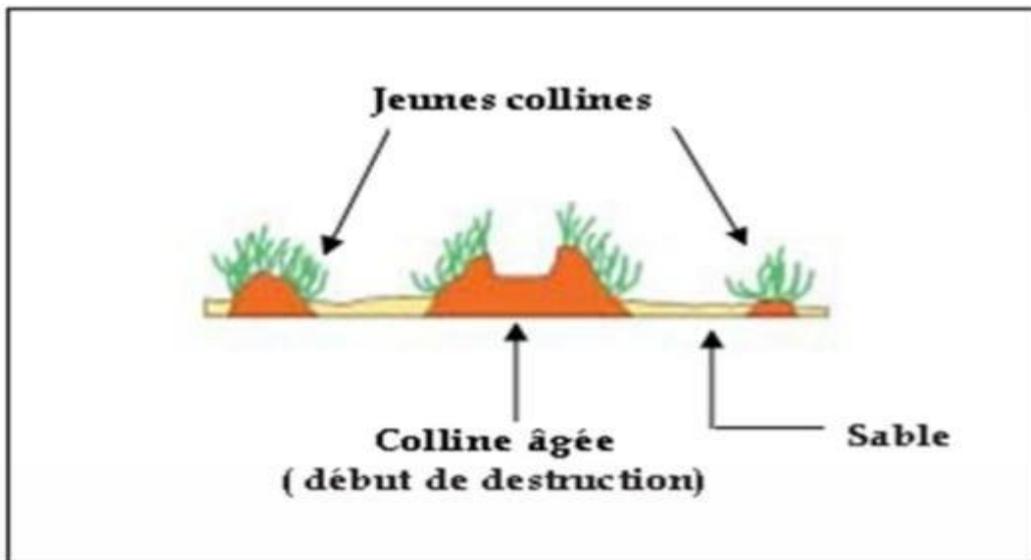


Figure14 : Coupe transversale dans un herbier de colline (Boudouresque1982, Modifié).

3.3. L'herbier tigré correspond 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* (Chlorobionte, Plantae). Les bandes d'herbier se déplacent parallèlement à elles-mêmes, contre le courant dominant, à une vitesse moyenne de 10cm/an. (Fig.15).

(Boudouresque et al., 1985b ; Boudouresque et al., 1990a ; Boudouresque et Ben Maiz, données non publiées).

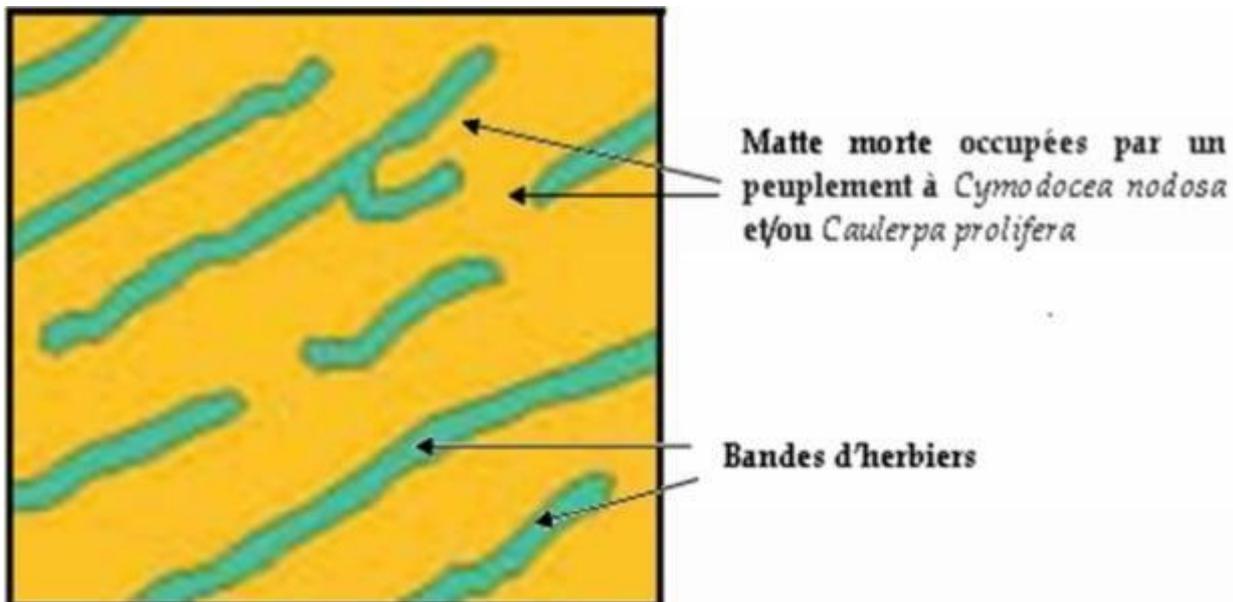


Figure15 : Un herbier tigré, vu de dessus (Boudouresque et al.,1985b)

3.4. 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 (Fig. 16) (Boudouresque et al., 1990a).

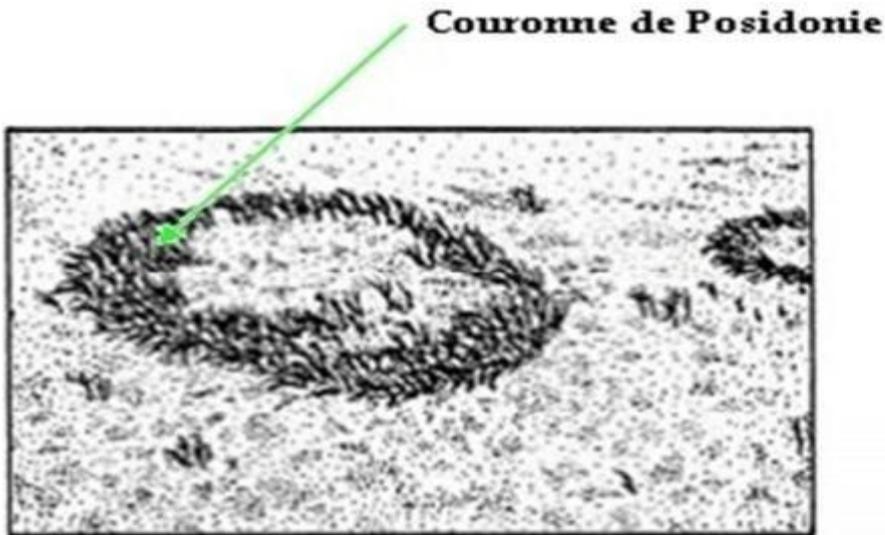


Figure16 : Micro-atoll de *Posidonia oceanica* (Boudouresque et al.1990a).

3.5. L'herbier en pain de sucre 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 (Fig. 17).

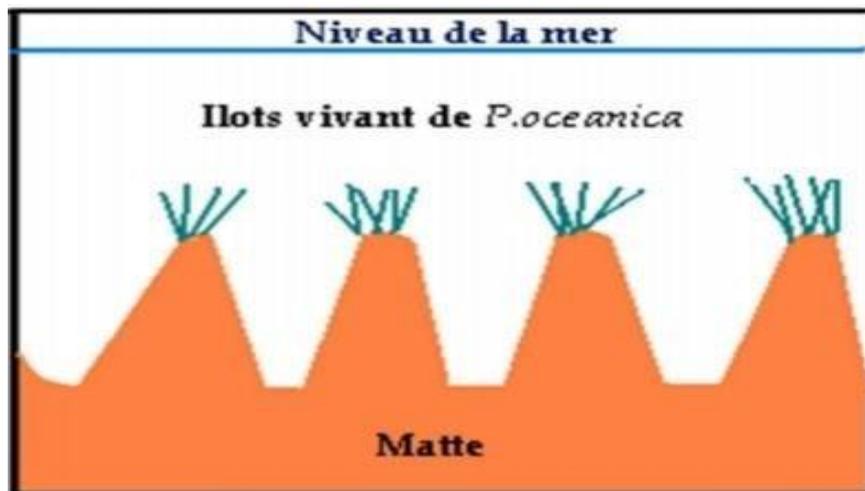


Figure 17 : Ilots vivants de *P. oceanica* au sommet de "pains de sucre" (Boudouresque1982, modifié).

3.6. L'herbier en escalier se développe sur des substrats durs en pente relativement forte, parcourus par des courants de fond descendants (Boudouresque, données inédites). Le fonctionnement est similaire à celui de l'herbier tigré". (Fig.18)

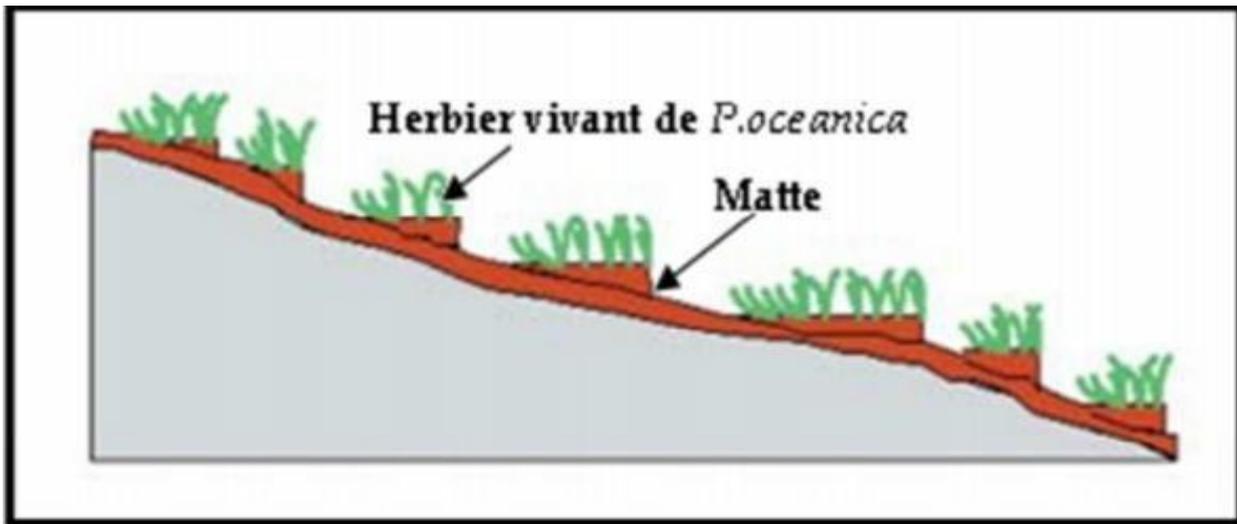


Figure18 : Coupe transversale dans un herbier en escalier (Boudouresque,1982, modifié)

3.7. Enfin, 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 (éventuellement) de la "matte morte", parallèles entre elles également (Fig. 19).

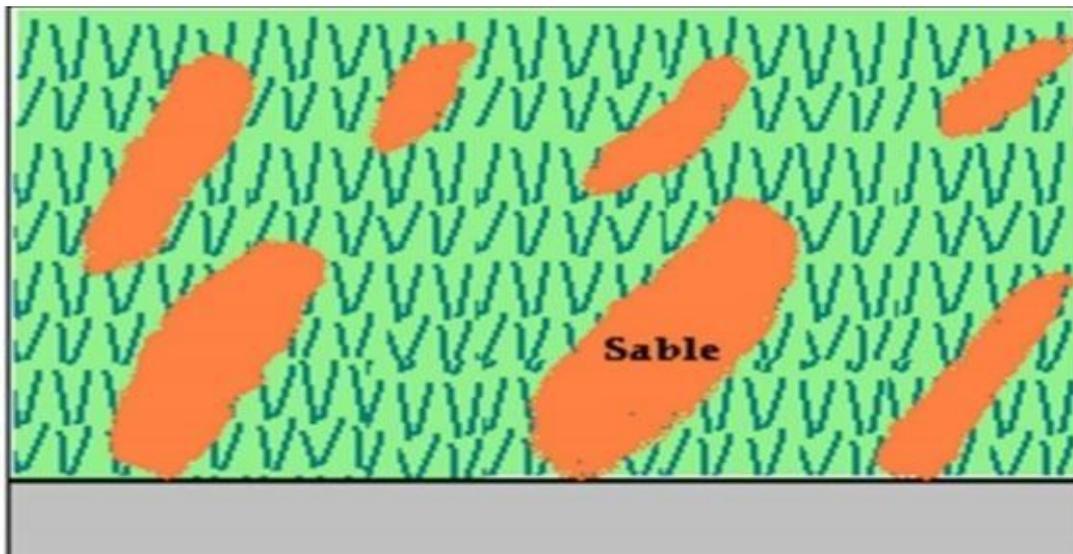


Figure19 : Coupe et vue en perspective d'un herbier ondoyant à *Posidonia oceanica* (Bonhomme *et al.*,1999, modifié).

4.Sensibilité aux facteurs externes :

4.1. **La profondeur** : 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, (0-40m).

4.2. La lumière : Comme l'ensemble des magnoliophytes, *Posidonia oceanica* est très sensible à la disponibilité en **lumière** et ne peut survivre en dessous de 10 à 16% de l'irradiance de surface (Alcoverro et al., 2001 ; Ruiz et Romero, 2001).

4.3. La salinité : *Posidonia oceanica* est une espèce **sténohaline**, ne pouvant survivre en dessous de 33‰ (Ben Alaya, 1972) ; ce qui explique son absence au niveau des étangs saumâtres. Elle semble mieux résister aux salinités élevées, bien que Ben Alaya (1972) ait indiqué que 41‰ constituait sa limite supérieure de tolérance.

4.4. La température : *Posidonia oceanica* est présente pour des **températures** situées entre 10.5 et 30.0°C ; sa croissance est optimale entre 17.0 et 20.0 °C (Den Hartog, 1970 ; Ben Alaya, 1972 ; Augier et al., 1980).

4.5. L'hydrodynamisme : *Posidonia oceanica* craint un **hydrodynamisme** trop intense. Les tempêtes arrachent des faisceaux de feuilles, dont certains constitueront des boutures. Elles peuvent éroder la «matte», soit directement, soit en la vidant de son sédiment, ce qui la fragilise (Boudouresque, 2006).

5.Productivité et fonctionnement des herbiers :

5.1. Production primaire :

L'herbier à *P. oceanica* est un écosystème très productif (Mateo and Romero 1997, Gallmetzer et al., 2005, Duarte and Chiscano 1999), dont les taux de productions peuvent être comparés à ceux d'une forêt tropicale (Pergent, Rico-Raimondino and Pergent-Martini 1997). La posidonie est de plus l'une des Magnoliophytes marines les plus productives au monde. La production primaire foliaire totale a été évaluée, sur base des données de 22 sites en Méditerranée, entre 310 et 1540 mg poids sec (ps) faisceau (Pergentmartini, Ricoraimondino et Pergent 1994, Pergent et al. 1994). Ajoutons que la productivité des herbiers de Méditerranée est maximale en avril-mai, et que la chute des feuilles est la plus intense en septembre-octobre (Gallmetzer et al., 2005). La biomasse de la canopée quant à elle a été évaluée à 233,9 ± 17,5 g ps m⁻² (Duarte and Chiscano 1999). La «matte» stocke une grande quantité de biomasse, pendant des siècles.

Une caractéristique fondamentale de l'écosystème à *Posidonia oceanica* est constituée par la juxtaposition de 2 types de production primaire :

Biomasse végétale

Elle est très élevée : jusqu'à 900gMS/m² pour les feuilles, jusqu'à 470gMS/m² pour les épiphytes des feuilles, jusqu'à 50gMS/m² pour les épiphytes des rhizomes et jusqu'à 5500gMS/m² pour les rhizomes, les écailles et les racines ; elle diminue avec la profondeur (Thé lin et Bedhomme, 1983 ; Pirc, 1983 ; Libes, 1984 ; Boudouresque et Jeudy de Grissac, 1986 ; Ballesteros, 1987 ; Francour, 1990 ; Mazzella et al., 1992). (Fig.20).



Figure 20 : Feuilles de *Posidonia oceanica* couvertes d'épiphytes (Cap Blanc) (Khodja,2013).

Biomasse animale :

Elle est considérablement plus faible que la biomasse végétale, les épiphytes peuvent représenter environ 50% de la **productivité primaire** totale (Borowitzka et al. 2006).

Tableau 02 : 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 ²)
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

6. Importance et rôle de l'herbier de Posidonie :

6.1-Rôle dans les équilibres écologiques et physiques du système littoral :

L'écosystème de l'herbier de posidonie est extrêmement essentiel pour la vie en Méditerranée (Boudouresque et Meinesz 1982).

De la part les surfaces qu'il occupe et son rôle écologique essentiel, l'herbier de Posidonie est considéré comme l'un des écosystèmes les plus importants, voire **l'écosystème-pivot** de l'ensemble des espaces littoraux méditerranéens (Molinier et Picard, 1952 ; Boudouresque et Meinesz, 1982). Au même titre que la forêt en milieu terrestre, l'herbier de Posidonie est le terme ultime d'une succession de peuplements et sa présence est la condition sine qua non de l'équilibre écologique et de la richesse des fonds littoraux méditerranéens :

- L'herbier de Posidonie représente **un pôle de biodiversité** important : 20 à 25 % des espèces animales et végétales connues en Méditerranée y sont observées, soit plusieurs milliers d'espèces (Boudouresque et al., 1994). Ces espèces sont présentes de façon permanente ou temporaire et utilisent l'herbier comme zone de **nutrition**, de **reproduction** des adultes, de recrutement et de développement pour les juvéniles et comme abri (nocturne ou journalier).

- L'herbier intervient sur **la qualité des eaux littorales**, grâce à une importante **production d'oxygène** (jusqu'à 14 l/j/m², Bay, 1978) et sur leur transparence par le piégeage des particules en suspension (Blanc et Jeudy de Grissac, 1984). De ce fait l'herbier à *Posidonia oceanica* est considéré comme **le poumon de la Méditerranée**. (Fig.21).

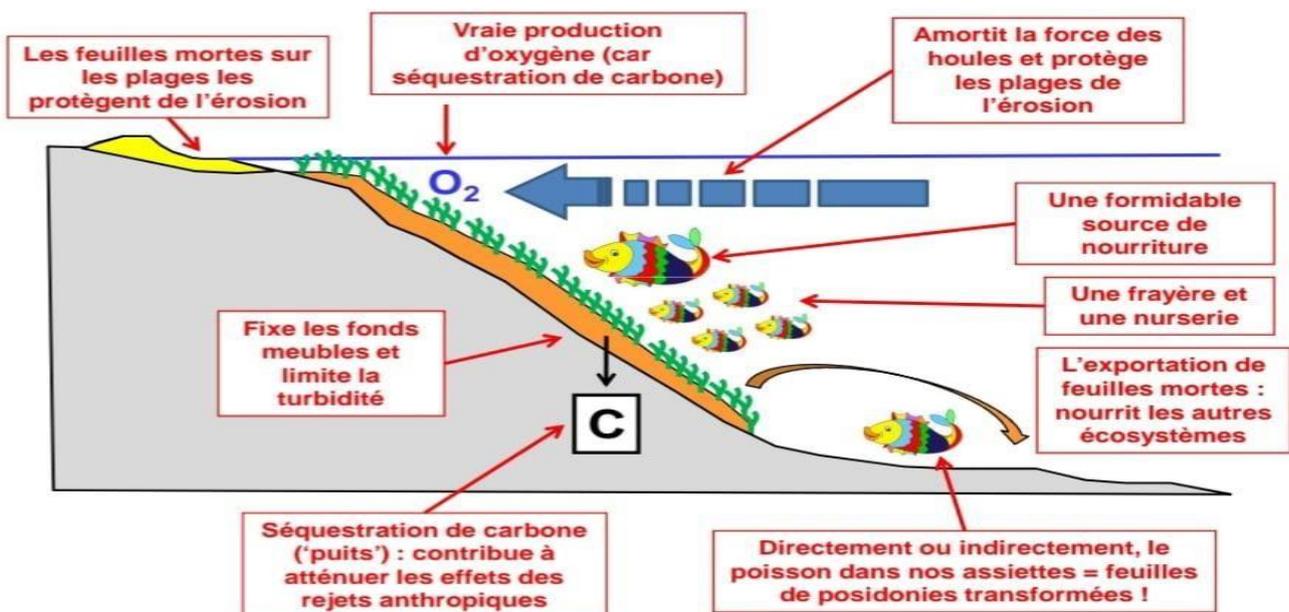


Figure 21 : Rôles écologiques de l'herbier de *P. oceanica* dans le fonctionnement des écosystèmes littoraux en Méditerranée. (GIS Posidonie, 2009 ; modifié d'après la figure originale de (Boudouresque et al., 2012).

*L'herbier joue un rôle équivalent à celui des Oyats et des pins qui fixent les dunes sableuses du littoral (piège à sédiment et rôle de fixation). Il faut également noter que la décantation des sédiments et leur immobilisation au sein de la "matte", principalement des particules fines, concourent à l'augmentation de la transparence des eaux littorales (Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Jeudy de Grissac et Boudouresque, 1985).

*L'herbier joue également un rôle fondamental dans **la protection hydrodynamique** de la frange côtière et des plages, par atténuation de 50% de la puissance des vagues, de la houle et des courants. (Fig.22).

*Les fonds sableux sont ainsi **stabilisés** par la fixation des sédiments dans le lacis des rhizomes constituant la matte (Boudouresque et Jeudy de Grissac, 1983 ; Jeudy de Grissac, 1984 ; Jeudy de Grissac, et Boudouresque, 1985).

Sans cette protection contre **l'érosion**, le profil d'équilibre des rivages sableux serait fortement modifié. D'ailleurs, de nombreuses communes littorales sont confrontées au problème d'érosion des plages, suite à la régression des herbiers situés au large, qui ne peuvent plus directement assumer ce rôle d'atténuation de l'hydrodynamisme. Des budgets conséquents sont ainsi annuellement consacrés par les communes à un apport régulier de sable pour compenser le lessivage de leurs plages.

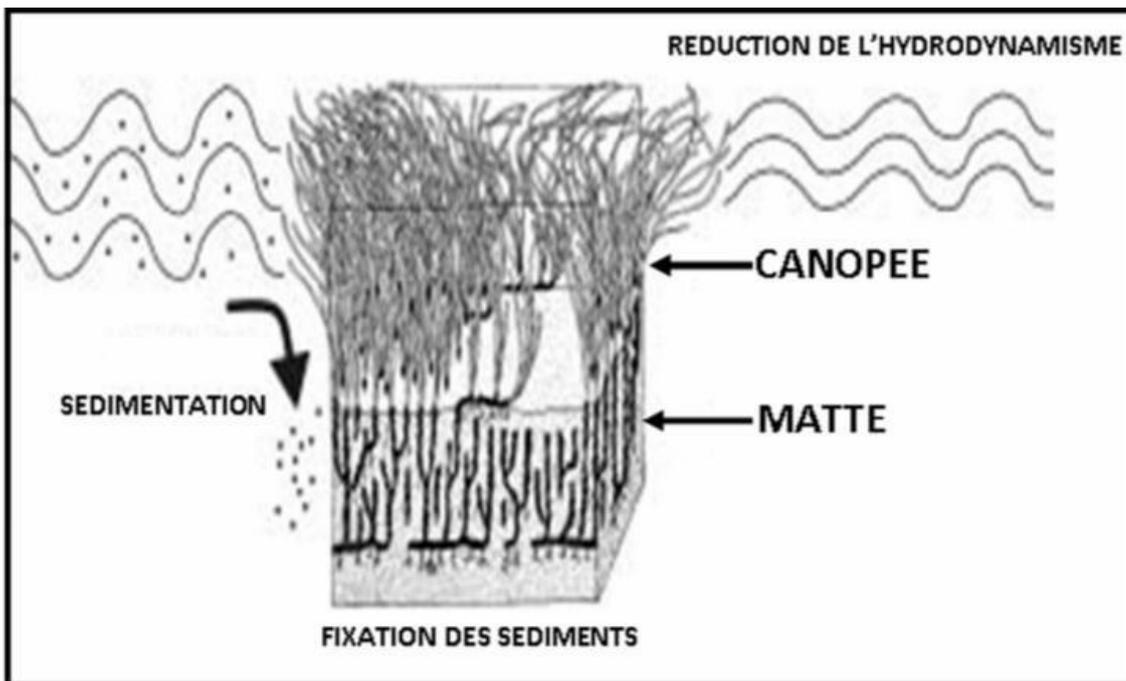


Figure22 : Les feuilles tombent toute l'année mais le rythme de chute s'accélère en automne, après la floraison. Ce phénomène, conjugué à des conditions agitées (tempêtes automnales), entraîne le transport de quantités importantes de feuilles mortes sur les plages (Boudouresque et Meinesz,1982).

L'accumulation de vagues successives de feuilles mortes et leur compaction sur la plage constitue alors des amas appelés banquettes.

Les banquettes sont constituées principalement de feuilles mortes de Posidonie mais aussi, en proportions plus négligeables, de rhizomes (à différents stades de dégradation), de sédiments, (Boudouresque *et al.*, 2006). Les feuilles mortes permettent de nourrir et d'abriter une faune et une flore qui se sont adaptées aux

conditions difficiles de ce milieu : mitraillage du sable, embruns et insolation (Conservatoire du littoral et Rivages de France, 2010).

Les banquettes de Posidonie, accumulées au niveau du trait de côte, permettent de limiter l'érosion des plages. Soumis à l'érosion des vagues, les débris de feuilles mortes sont remis en suspension dans l'eau et jouent un rôle d'amortisseur de la houle (de par leur viscosité), préservant ainsi le rivage de l'assaut des vagues (Boudouresque et Meinesz, 1982).

Ainsi, à plus long terme le rechargement des plages peut entraîner la régression de l'herbier de Posidonie à proximité (Infantes et al., 2009), ce qui diminue l'apport de feuilles mortes et donc le rôle protecteur des banquettes, augmente la sensibilité à l'érosion de la plage... Le tout créant un cercle vicieux contraignant les communes dans des pratiques qui ne peuvent être durables (Fig.23).

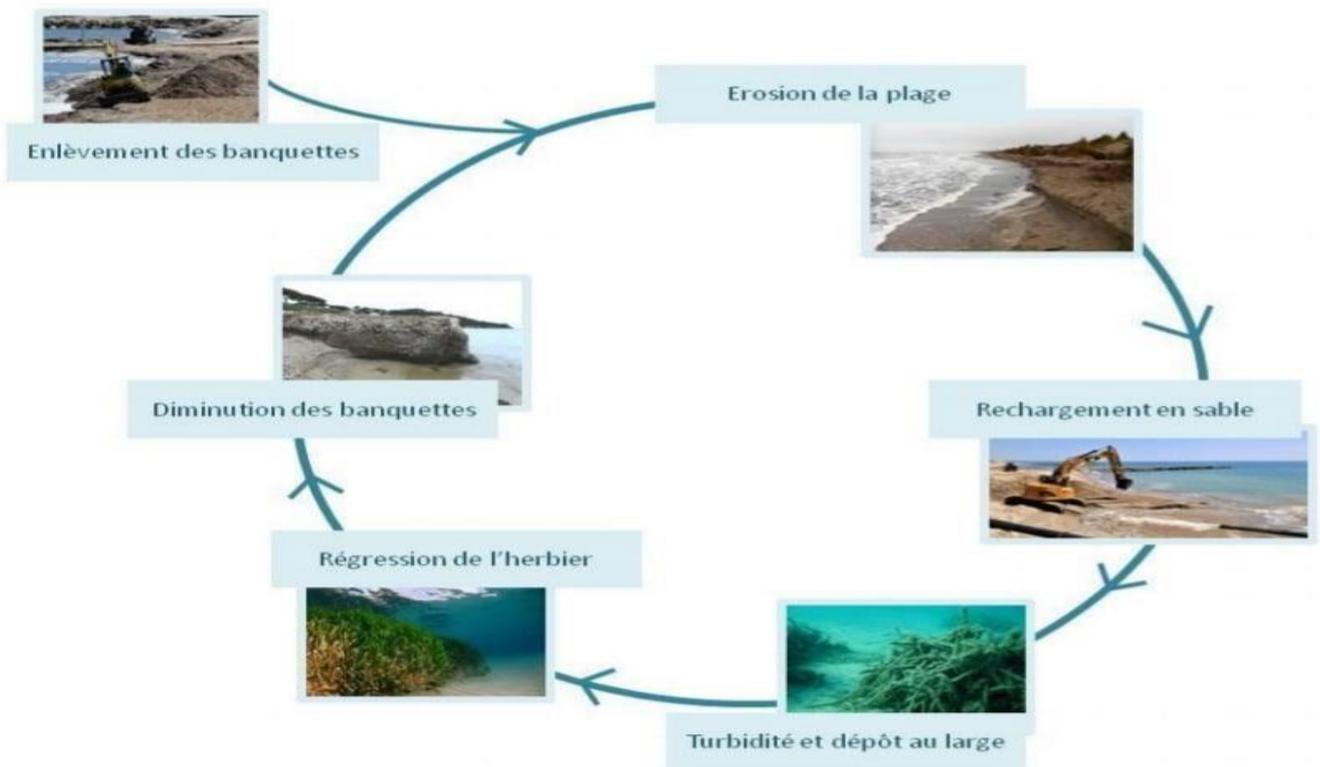


Figure 23 : Schéma synthétique du "cercle vicieux" lié à l'enlèvement des banquettes de Posidonie et à l'érosion des plages. (Martin,2018)

6.2. Rôle bio-indicateur :

Blandin (1986) définit un indicateur biologique (ou bio-indicateur) comme « ... un organisme ou un ensemble d'organismes qui - par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques - permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées ».

Ainsi, de nombreux paramètres sont à même d'être enregistrés par l'herbier :

- 1- Turbidité moyenne des eaux (matérialisée par la position de sa limite inférieure et par la densité des faisceaux).
- 2- Courants et hydrodynamisme (matérialisés par les structures érosives qui affectent la « matre »).

3- Polluants stables (concentration et mémorisation des teneurs au cours du temps), (v) Dessalure au débouché de fleuves côtiers ou de nappes phréatiques (matérialisée par la disparition de l’herbier),

*Comme de nombreuses magnoliophytes *Posidonia oceanica* présente à la fois :

1-Une bonne résistance à la contamination métallique (l’espèce persiste au voisinage de sources importantes).

2-Sa capacité à être maintenue en aquarium pour des expériences de contamination artificielle de courte durée (Ferrat et al., 2002) et surtout sa capacité à mémoriser, au sein de ses tissus, les teneurs anciennes, alliée aux possibilités de datation offerte par la lépidochronologie (Carlotti et al., 1992).

7.Régression de l’herbier à *Posidonia oceanica* :

P. oceanica est sur la liste rouge des espèces marines menacées de la Méditerranée en « préoccupation mineure » et ses herbiers sont définis comme des habitats naturels prioritaires. Pour l’ensemble de la Ligurie (Italie), l’herbier a perdu entre 10 et 30 % de sa surface par rapport au début du 20^{ème} siècle (Bianchi et Peirano, 1995 ; Peirano et Bianchi, 1995). Les causes de la régression des herbiers sont principalement d’origine anthropique. (Fig.24). En effet on remarque que les déclin d’herbiers sont principalement situés à proximité des zones urbaines (Tomas et al., 2005 ; Boudouresque et al., 2012) et sont surtout causés par les activités humaines.

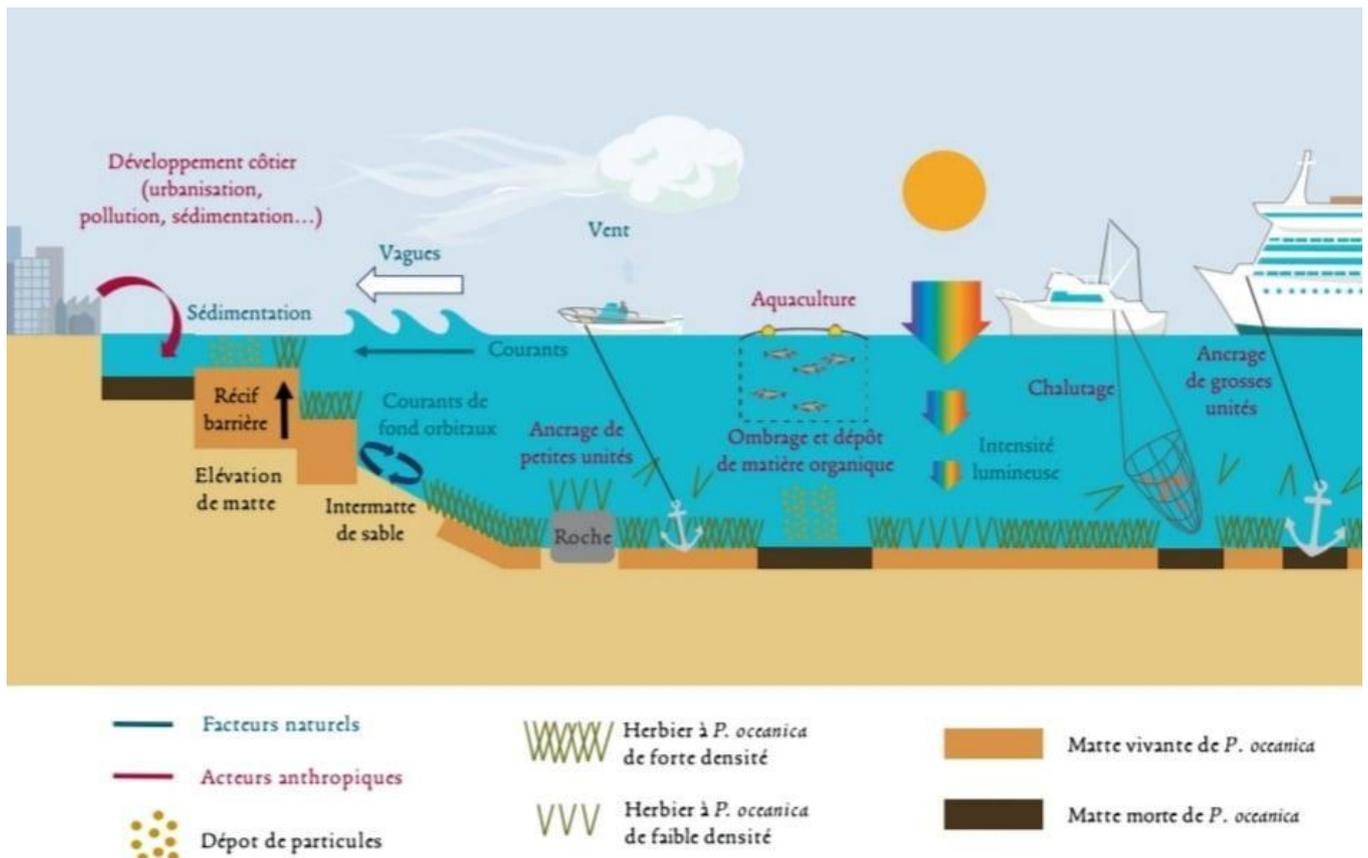


Figure 24 : Schéma montrant les facteurs naturels et anthropiques qui influencent un paysage marin *Posidonia oceanica*. L'échelle de gauche indique la bathymétrie. (Abadie et al.,2018).

7.1. Les pollutions industrielles et urbaines

Parmi les contaminants chimiques émis par les rejets terrestres et nocifs pour la Posidonie, citons les éléments en traces métalliques comme le Mercure ; les sels nutritifs ; les détergents ; Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques ; les pesticides et le Tributylétain, ancien composant des peintures antisalissure des coques, qui réduisent la vitalité des herbiers à *Posidonia oceanica* (Pérès et Picard, 1975 et Augier et al., 1987).

7.2. Les aménagements

Le recouvrement par les aménagements littoraux et la modification des flux sédimentaires (exploitation des sables ou aménagement littoral) sont d'importantes menaces sur l'herbier (Ruiz et Romero, 2003). Les aménagements littoraux (construction de ports, endigages, plages artificielles) agissent directement sur l'herbier par la destruction de sa surface, mais aussi indirectement par la modification des courants (Ruiz et Romero, 2003).

7.3. Plaisance et ancrage

Les herbiers à *Posidonia oceanica* sont particulièrement sensibles aux activités humaines qui déterminent une altération directe, liée à une action mécanique. Parmi les impacts mécaniques, l'action des ancres constitue la cause d'altération des herbiers la plus fréquemment mise en avant. L'engouement pour la navigation de plaisance, entraîne une augmentation importante du nombre de bateaux dans certaines zones de mouillage (particulièrement en période estivale) ; leurs effets peuvent être importants et, dans certaines conditions, conduire à la régression de l'herbier en place (Porcher, 1984). (Fig.25).



Figure 25 : Impact d'une ancre de bateau de plaisance dans un herbier à *Posidonia oceanica*, avec arrachage des faisceaux de feuilles et labourage des rhizomes. (Boudouresque et al.,2012).

7.4. L'utilisation d'engins explosifs

Un peu partout, le long des côtes de Méditerranée Nord-Occidentale, on rencontre des taches circulaires d'herbier de Posidonies mort qui correspondent à des explosions sous-marines (bombes tombées lors de la guerre 1939-1945, explosion de mines pendant ou après la guerre, ou pêche à la dynamite). En effet, ces pratiques sont interdites par toutes les législations nationales en raison de leurs conséquences sur les stocks et l'environnement (Boudouresque, 1996)

7.5. L'aquaculture

L'augmentation des activités aquacoles le long des côtes méditerranéennes est aujourd'hui une priorité économique. Cependant, les récentes études faites par (Pergent et al., 1999 ; Delgado et al., 1999 ; Ruiz et al., 2001 et Cancemi et al., 2003) montrent que ces activités ont un effet non négligeable sur les herbiers sous-jacents., tels que la réduction des radiations lumineuses, l'augmentation de la turbidité de la colonne d'eau, l'augmentation des teneurs en matière organique qui s'observe préférentiellement au niveau de la couche la plus profonde du sédiment (Couche de 10 à 15 cm). (Delgado et al., 1997 ; Pergent et al., 1999 ; Ruiz et al., 2001 ; Karakassis et al., 2002).

7.6. Le Dumping

Le dumping est le rejet au large de matériaux meubles ou solides, en particulier de produits de dragage. Son impact négatif sur l'herbier à *Posidonia oceanica* est directe (ensevelissement, envasement) ou indirecte (remise en suspension des particules fines et accroissement de la turbidité) (Peirano et Blanchi,1995).

7.7. L'introduction d'espèces invasives

L'introduction d'espèces invasives susceptibles d'entrer directement en compétition avec les phanérogames marines est un phénomène relativement récent. *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., 1995c).

La présence de *Caulerpa racemosa* au niveau des herbiers à *Posidonia oceanica*, coïncide avec une modification de la qualité biogéochimique du sédiment, ce qui va créer un environnement défavorable à la croissance de la phanérogame marine. (Didham et al.,2005) (Fig.26).



Figure 26 : Herbier à *Posidonia oceanica* colonisé par la chlorobionte invasive *Caulerpa taxifolia* (flèches) (Belbachir,2012)

8. Protection des herbiers

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. 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 (Turner et Schwarz, 2006).

Une fois perdues, les phanérogames marines ne se rétablissent pas naturellement facilement. Les efforts concernant la restauration des herbiers se sont intensifiés partout dans le monde (Fonseca, 1992 ; Hemminga et Duarte, 2000).

9. Restauration et transplantation des phanérogames marines

La transplantation constitue une option indispensable pour la restauration des écosystèmes des espèces de phanérogames marines à croissance lente.

9.1 Méthodes de transplantation

Les différentes méthodes de transplantation peuvent être classées en 3 catégories :

a. Les méthodes sans ancrage

Ces méthodes consistent à mettre en place les transplants sur le site receveur sans aucun système d'ancrage, le maintien des transplants ne reposant que sur le dépôt de sédiment sur les transplants. Différentes méthodes ont été mises au point :

- 1) Utilisation de plantes prélevées avec le sédiment intact (méthode de la « motte »)
- 2) Prélèvement de carottes de sédiment intact et les pousses qui les accompagnent et repiquage direct des carottes sur le site receveur.
- 3) Repiquage des transplants dans des trous
- 4) Dans des boîtes placées dans le sédiment.

b. Les méthodes avec ancrage

Ces méthodes de transplantation consistent à attacher des pousses dépourvues de tout sédiment sur différents supports. (Augier *et al.*, 1996).

c. Utilisation de graines et de plantules

L'usage de matériel sexué pour restaurer les herbiers de phanérogames marines possède théoriquement certains avantages. Par exemple, le recrutement des plants suivant la transplantation pourrait préserver voire augmenter la diversité génétique naturelle dans les populations restaurées ce qui n'est pas le cas avec l'utilisation de matériel asexué (Williams & Orth, 1998).

Comparaison entre deux travaux antérieurs (Paramètres biométriques).

Comme application et vérification des caractères biométriques, nous avons choisi de comparer entre 2 travaux antérieurs effectués sur la Posidonie, sur le littoral Algérien. Le tableau 3 résume les différentes données.

Tableau 3 : Une comparaison entre quelques paramètres biométriques de la Posidonie sur deux sites algériens (Oran et Tipaza). (Chahrour,2013 et Boumaaza,2015).

Localités	Longueur de feuilles adultes (mm)	Longueur de feuilles intermédiaire (mm)	Largeur de feuilles adultes (mm)	Largeur de feuilles intermédiaires (mm)
Oran (Ain Franin) 2013	288.89	261.26	10.98	9.75
Tipaza (Baie de Bou Issmail) 2015	475	236	10.59	9.47

On remarque que des feuilles de posidonie de Tipaza sont plus longues à celles d'Oran, mais les autres paramètres sont presque semblables.

Conclusion :

L'objectif de cette étude est de montrer l'importance biologique et écologique des herbiers à *Posidonia oceanica* dans la méditerranée, son rôle dans son écosystème et de contribuer à la sensibilisation et à la protection de ce trésor naturel.

Posidonia oceanica est une magnoliophyte marine endémique de la méditerranée, c'est une plante à fleurs qui possède des feuilles rubanées, des racines et des rhizomes, elle est la plus la plus répandue sur le côté occidentale mais elle commence à disparaître sur le côté oriental à cause de fortes salinités.

Son cycle de vie est annuel, elle se reproduit comme les végétaux terrestres par voie sexuée ou asexuée (bouturage) en donnant des fruits au printemps appelées « olives de mer ».

La posidonie forme de vastes prairies d'herbiers qui s'étendent jusqu'à 40m de profondeur constituant l'écosystème le plus important par sa production élevée d'oxygène (14l/m²/j), c'est le résultat de la photosynthèse, pour cela elle a été appelée « le poumon de la méditerranée ». Son rôle est comparable à celui d'une forêt, près de 20% des espèces de la méditerranée interviennent dans son écosystème.

Elle exige des facteurs stricts pour son développement : une profondeur maximale de 40m, une salinité de 33-41 ‰, une température ambiante entre 10.5 et 30 °C et elle vit dans les milieux pauvres en nutriments.

L'herbier à *posidonia oceanica* est un producteur primaire de biomasse végétale de posidonie elle-même et des algues épiphytes, et aussi un producteur de biomasse animale.

C'est une source de nourriture pour certaines espèces herbivores comme les saupes qui broutent ces feuilles, et une partie de cette production est stockée dans la matrice sous forme de puits de carbone atmosphérique et une autre est exportée comme feuilles mortes vers d'autres milieux et les détritivores dégradent une bonne quantité de production primaire végétale. Elle joue un rôle important dans le fonctionnement trophique de son écosystème.

C'est un habitat pour nombreuses espèces, c'est un lieu d'enfouissement contre les prédateurs, lieu de reproduction pour les adultes et nurserie afin de protéger et développer les juvéniles.

On trouve un groupe d'organismes vivants sur les feuilles de posidonie appelés « épiphytes » comme les bactéries, les diatomées, les foraminifères, les bryozoaires et les algues épiphytes.

La posidonie joue aussi un rôle très important dans l'équilibre physique par l'atténuation des vagues et de la houle, la stabilisation et fixation des fonds. Une partie de feuilles mortes de la Posidonie seront exportées vers d'autres écosystèmes pour nourrir d'autres espèces et une partie s'accumule et se compacte par l'action des vagues et se jettent sur les plages en formant des banquettes qui protègent les plages contre l'érosion.

La posidonie est un bio-indicateur de la pollution métallique.

Posidonia oceanica est devenue une espèce menacée car elle a subi de fortes agressions qui causent la mort et la disparition d'autres espèces soit biologiquement par la présence des espèces invasives concurrents comme les algues (*Caulerpa taxifolia* qui est une algue tueuse et *Caulerpa racemosa* qui perturbe l'environnement de développement de la Posidonie), soit par les actions anthropiques observées **Conclusion et Perspectives** surtout sur les zones urbaines comme la pollution par les rejets des substances toxiques pour la Posidonie, les aménagements, le chalutage, par les nouvelles constructions sur les zones d'habitats de l'herbier, l'ancrage des bateaux, les engins explosifs utilisés pendant les guerres.

L'aquaculture par la construction des fermes aquacoles qui empêchent le passage de la lumière qui est nécessaire pour effectuer la photosynthèse, le dumping par le rejet des déchets solides.

La Posidonie est très sensible à ces formes d'agressions, leurs impacts sont nocifs pour l'écosystème marin.

La Posidonie est une espèce très importante de la méditerranée, il faut assurer sa protection sur les zones marines protégées et il faut éliminer les traces anthropiques, la méthode de transplantation de cette espèce est très efficace pour assurer sa survie dans le futur.

Elle est protégée par les deux conventions de Berne et de Barcelone et par les textes réglementaires des pays méditerranéens. L'Algérie en adoptant les deux réglementations et les deux conventions, a mis en œuvre une circulaire ministérielle la protégeant ainsi tout le long du littoral.

Perspectives :

Comme perspectives d'avenir, on préconise de faire un travail expérimental concernant *Posidonia oceanica* (Échantillonnage étalé dans le temps, mesures biométriques diverses) sur différents points du littoral Algérien.

L'implication de différents clubs amateurs de plongée sous-marine serait la bienvenue, pour mener à terme cette perspective de travail.

Références Bibliographiques

- Abadie, A., Pace, M., Gobert, S., Borg, J.A., 2018.** Seascape ecology in *Posidonia oceanica* seagrass meadows: Linking structure and ecological processes for management. *Ecol. Indic.* 87, 1–13.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.029>.
- Acunto S., Piazzì 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.
- Aladro-Lubel, M.A. et Martínez-Murillo, M.E., 1999.** Epibiotic Protozoa (Ciliophora) on a community of *Thalassia testudinum* Banks ex Köning in a coral reef in Veracruz, Mexico. *Aquatic Botany*, 65 : 239-254.
- Alcoverro, T., Cebrián, E., Ballesteros, E., 2001.** The photosynthetic capacity of the seagrass *Posidonia oceanica* : influence of nitrogen and light. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 261, 107-120.
- Aloisi J.C., Monaco A., Thommeret J., Thommeret Y., 1978.** The Holocene transgression in the Golf du Lion, southern France : paleogeographic and paleobotanic evolution. *Géographie Physique et Quaternaire*, 32 (2) : 145-162.
- Anonyme.,1981.** « Larousse agricole » édition Larousse. Publié sous la direction de Jean Michel Clément.
- Augier, H., Chabert, D., Vicente, N., 1980.** Le port de Porquerolles (Iles d'Hyères, Méditerranée, France). II. Contamination par les métaux lourds. *Travaux scientifiques du Parc national de Port-Cros* 6, 253-285.
- Augier H, Gilles G et G Ramonda.,1980.** Recherches sur la pollution mercurielle en rade d'Hyères et dans l'archipel des Stoechades (Méditerranée, France) VI. Teneur en mercure de la flore et de la faune marines benthiques de la crique de la Licastre. *Trav sci Parc nation Port-Cros, Fr.* 6 : 133-145.
- Augier H ; Giglio Y et Ramonda G.,1987.** Peintures anti-fouling et herbier à *Posidonia oceanica*. *GIS Posidonie & Fac. Sci. Luminy Publ.* : 1-94.
- Augier H, Eugene C, Harmand-Desforges JM, Sougy A.,1996.** *P. oceanica* reimplantation technology of the marine gardeners is now operational on a large scale. *Ocean & Coastal Management* 30(2-3) : 297-307.
- Balestri, E. and Cinelli, F., 2003.** Sexual reproductive success in *Posidonia oceanica*. *Aquatic Botany*, 75 : 21-32.
- Ballesta, L., Pergent, G., Pasqualini, V. et Pergent-Martini, C., 2000.** Distribution and dynamics of *Posidonia oceanica* beds along the Albères coastline. *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie*, 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.
- Bay D., 1978.** Etude in situ de la production primaire d'un herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile) de la baie de Calvi, Corse. *Prog. Rap. Stn. Océanog. Stareso. Univ. Liège, Belge.*, p 251.
- Bay D., 1984.** A field study of the growth dynamics and productivity of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in Calvi Bay. *Aquatic Botany*, 20 : 43-64.

Références Bibliographiques

- Belbachir N., 2012.** Contribution à l'étude écologique de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile (1813) de la frange côtière de Mostaganem : Etat de santé et relation entre plante et échinoderme. Mémoire de magister en Ressources Halieutiques. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem. 1134
- Ben Alaya, H., 1972.** Répartition et conditions d'installation de *Posidonia oceanica* Delile et *Cymodocea nodosa* Ascherson dans le golfe de Tunis. Bulletin de la Station Océanographique de Salammbô 2(3), 331-416.
- Bensettiti et al., 2004.** Habitats côtiers. La Documentation française, Paris 2004 ISBN : 2-11-005192-2. Herbiers à posidonie :61-63p.
- Bianchi C.N., Peirano A., 1995.** Atlante delle Fanerogame marine della Liguria. *Posidonia oceanica* e *Cymodocea nodosa*. Centro Ricerche Ambiente Marino, ENEA publ., La Spezzia, Ital. : 1-146.
- Blanc J.J., 1958.** Recherche de sédimentologie littorale et sous-marine en Provence occidentale. Thèse. Fac. Sci. Univ. Paris. Mason édit., Paris : 1-140.
- 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.
- Blandin, P., 1986.** Bioindicateurs et diagnostic des systems écologiques. Bulletin d'Ecologie 17, 211307.
- 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.& Van keulen M., 2006.** *Epiphytes of Seagrasses*, in Larkum, Ort and Duarte, *Biology of Pasidonia in Seagrasses: Biology, Ecology and Conservaction.*, 2006, Springer, Dordrecht, Netherlands, Chap 19, 441-461.
- Bouchher A.,2014.** Contribution de la biomasse des épiphytes de *Posidonia oceanica* (L.) Delile 1813 à l'apport de matière organique au substrat de l'herbier. Côte de Mostaganem.Mémoire de magister.université de Mostaganem.
- Boudouresque C.F., 1996.** Impact de l'homme et conservation du milieu marin en Méditerranée. 2ème édition. GIS Posidonie publ., 1-243.
- Boudouresque C.F., 2003.** The erosion of Mediterranean biodiversity. In : RodriÌguezPrieto 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.,2006.** Les herbiers à *Posidonia oceanica*. Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. RAMOGE. Pub. : 110-113.
- 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.

Références Bibliographiques

- Boudouresque CF et Meinesz A., 1982.** Découverte de l'herbier de Posidonies. Cahier Parc nation PortCros 4 : 1-79
- Boudouresque C.F. et Jeudi De Grissac A., 1983.** L'herbier à *Posidonia oceanica* en méditerranée les interactions entre la plante et le sédiment. J.Rech.Océano., Fr., 8 (2,3): 99-122.
- Boudouresque C.F., Jeudi 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., 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 Etud. System. Biogéogr. Médit., Cagliari. CIESM. Monaco : 139-142.
- Boudouresque C.F., Jeudi De Grissac A. et Meinesz A., 1984.** Relation entre la sédimentation et l'allongement des rhizomes orthotropes de *P. oceanica* dans la baie d'Elbu (Corse). International Workshop *P. oceanica* beds. Édit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 185-191.
- Boudouresque C.F., Jeudi De Grissac A., Meinesz A., 1985a.** Un nouveau type d'herbier à *Posidonia oceanica* : l'herbier de colline. Rapp. P.V. Réunion. 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) : 273-288
- 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 : 21-29.
- Boudouresque C.F., Gravez V., Meinesz A., Molenaar H., Pergent G., Vitiello P., 1994.** L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée : protection légale et gestion, Actes Colloque "Pour qui la Méditerranée au 21^e siècle ? Villes des rivages et environnement littoral en Méditerranée", Montpellier, Fr., pp. 209-220.
- 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^e siècle. Villes des rivages et environnement littoral en Méditerranée. Actes du colloque scientifique Okeanos, Maison de l'Environnement de Montpellier publ., Fr. : 209 – 220.37: 463-475.
- Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., et Tunesi L., 2006.** Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. RAMOGE publ., 1-202.
- Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., et Tunesi L., 2012.** Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica* Meadows. (RAMOGE and RAC/SPA).
- Boudouresque C.F., Ballesteros E., Ben maiz N., Boisset F., Bouladier E., Cinelli F., Cirik S., Cormaci M., Jeudi 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 *Posidonia Oceanica* OK 3 21/04/06

Références Bibliographiques

- 12 :30 Page 178179 Méditerranée. Programme des Nations Unies pour l'Environnement publ. : 1-250
- Boumaza S., 1995.** Phénologie, biomasse, lépidochronologie et production primaire de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile de l'anse de Kouâli, Tipaza (Algérie). Thèse de Magister, ISMAL, Alger : 125 p.
- Boumaza S., 2015.** Caractérisation d'un herbier à *Posidonia oceanica* soumis à des rejets d'effluents. Thèse de doctorat, université Houari Boumedién (Alger) :112p.
- Boumaza S., Semroud R.,2000.** SURVEILLANCE DE L'HERBIER A POSIDONIA OCEANICA D'EL DJAMILA (ALGERIE). Institut national des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, BP54, Sidi-Fredj, Algérie.
- 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 M.C. and Mazzella L.,1991.** Reproduction phonology of the mediterranean seagrasses *Posidonia oceanica* (L) Delile, *Cymodocea nodosa* (Ucria) Aschers and *Zostera noltti* Hornem. *Aquatic Botany*, 40 : 343-362.
- Cancemi G., De Falco G., Pergent G., 2003.** Effects of organic matter input from a fish farming facility on a *Posidonia oceanica* meadow. *Est. Coast. Shelf. Sci.*, 56 : 961-969.
- Caye G., 1980.** Sur la morphogénèse et le cycle végétatif de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse Doct., Univ. Aix-Marseille 2, Fr. : 1-121.
- Caye G., 1982.** Etude sur la croissance de la Posidonie *Posidonia oceanica* (L.) Delile formation des feuilles et croissance des tiges au cour d'une année. *Téthys*, Fr., 10 (3) : 229-235.
- Caye G., 1989.** Sur la morphogénèse, le cycle végétatif et la reproduction de 2 phanérogames marines de méditerranée *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, et *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson». Thèse d'habilitation à diriger des recherches, Univ. Nice, Fr 1-229.
- 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.
- Chahrour F.,2013.** Etude de la vitalité des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile de la côte occidentale algérienne (Cap Carbon et Ain Franin). Thèse de doctorat, université d'Oran :254p.
- Chessa, L.A., Fresi, E. and Lorenzi, C., 1995** : The state of health of a *Posidonia oceanica* meadow: study method. In : *La Posidonia oceanica, a contribution to the preservation of a major Mediterranean marine ecosystem*. In *Revista Marittima* : 78-83.
- Chimenz, C., Taramelli, E., Cironi, R., Contessini, A., Gravina, F., Maggiore, F.R., Maj, R.L.C., Motta, M. G. and Somaschini, A., 1989.** Studies on animal populations of leaves and rhizomes of *Posidonia oceanica* (L.) Delile on the rocky bottom of Torvaldaliga. *International Workshop on Posidonia oceanica Beds*, Boudouresque, C.F., Meinesz, A., Fresi, E.& Gravez, V. (eds.), GIS Posidonie publ., 2 : 145-155.
- Cinelli F., Pardi G. and Papi I., 1995.** Plant biology. In : *La Posidonia oceanica, a contribution to the preservation of a major Mediterranean marine ecosystem*. In *Revista Marittima*: 21-24.

Références Bibliographiques

- 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.
- Crouzet A., 1981.** Mise en évidence de variations cycliques dans les écailles de *Posidonia oceanica* (Potamogetonaceae). Travaux Scientifiques du Parc National de Port-Cros, 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). Rapports et Procès-Verbaux des Réunions de la Commission Internationale sur l'Exploration Scientifique de la mer Méditerranée, 28(3) : 113-114
- Dauby P., Poulicek M.,1995.** Methods for removing epiphytes from seagrasses: SEM observations on treated leaves. Aquatic Botany, 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.
- Delgado O, Grau A, Pou S, Riera F, Massuti C, Zabala M, Ballesteros E., 1997.** Seagrass regression caused by fish cultures in Fornells Bay (Menorca, Western Mediterranean). Oceanologica Acta, 20 (3) : 557-563.
- Den Hartog C.,1970.** The seagrasses of the world. Amsterdam, Verh. Kon. Ned. Akad. Wet. Afd. Natuurk. 1-275.
- Den Hartog C.,1971.** The dynamic aspect in the ecology of sea-grass communities. *Thalassia jugoslavica*. 7: 101-112
- Didham R.K., Tylianakis J.M., Hutchinson M.A., Ewers R.M., Gemmill N. J., 2005.** Are invasive species the drivers of ecological change ? Trends in Ecology and Evolution, 20 : 470-474.
- Duarte, C.M., 2002.** The future of seagrass meadows. Environmental Conservation, 29 (2) : 192-206.
- Duarte CM, Chiscano CL.,1999.** Seagrass biomass and production : à reassessment. Aquatic Botany 65 :159-174
- edits. World Atlas of Seagrass: Present status and future conservation. University of California Press publ.
- 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
- Elkalay K., Frangoulis C., Skliris N., Goffart A., Gobert S., Lepoint G., Hecq J.H., 2003.** A model of the seasonal dynamics of biomass and production of the seagrass *Posidonia oceanica* in the Bay of Calvi (Northwestern Mediterranean). Ecological Modelling, 167 : 1-18.
- Ferrat, L., Bingert, A., Roméo, M., Gnassia-Barelli, M., Pergent-Martini, C., 2002.** Mercury uptake and enzymatic response of *Posidonia oceanica* after an experimental exposure to organic and inorganic forms. Environmental Toxicology and Chemistry 21(11), 2365-2371.
- Fonseca MS, Kenworthy WJ, Thayer GW.,1982.** A low-cost planting technique for eelgrass (*Zostera marina* L.). U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Ft. Belvoir,VA. Coastal Engineering Technical Aid No. 82-6. 15 pp.

Références Bibliographiques

- 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.
- Gallmetzer I, Pflugfelder B, Zekely J, Ott JA.,2005.** Macrofauna diversity in *Posidonia oceanica* detritus: distribution and diversity of mobile macrofauna in shallow sublittoral accumulations of *Posidonia oceanica* detritus. *Marine Biology* 147 :517-523
- 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., 1977c.** Recensement des floraisons de *Posidonia oceanica* (Linné) Delile en Méditerranée.*Rapp. P.V. Réun. Commiss.internation. Explor. Sci. Médit.* 24(4) : 126-130.
- Giraud G., 1979.** Sur une méthode de mesure et de comptage des structures foliaires de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Bulletin du Museum d'Histoires naturelles de Marseille*, 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., 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, Kyramarios M, Lepoint G, Pergent-Martini C, Bouquegneau JM.,2003.** Variations à différentes échelles spatiales de l'herbier à *P. oceanica* (L.) Delile; effets sur les paramètres physicochimiques du sédiment. *Oceanologica Acta* 26 : 199-207.
- Gobert S., Cambridge M.L., Velimirov B., Pergent G., Lepoint G., Bouquegneau J.M., Dauby P., Pergent-Martini C., Walker D.I., 2005.** Biology of *Posidonia*. In : Larkum, A.W.D. et al., (eds.), *Seagrass Biology*. Springer, Netherlands: 1-21.
- Goffart A, Hecq JH, Legendre L.,2002.** Changes in the development of the winter-spring phytoplankton bloom in the Bay of Calvi (NW Mediterranean) over the last two decades: a response to changing climate? *Marine Ecology Progress Series* 236 : 45- 60.
- Grimes S., Boutiba Z., Bakalem A., Bouderbala M., Boudjellal B., Boumaza S., Boutiba M., Guedioura A., Hafferssas A., Hemida F., Kaïdi N., Kerzabi F., Khelifi H., Merzoug A., Nouar A., Sellali B., Sellali-Merabtine H., Semroud R., Seridi H., Taleb M.Z., Touahria T., 2004.** Biodiversité marine et littorale algérienne. *Projet Sonatrach/LRSE*. Eds. Sonatrach, Algérie, 1-362
- Gu, J.D., Maki, J.S. and Mitchell, R., 1996.** Microbial biofilms and their role in the induction and inhibition of invertebrate settlement. In : D'itri, F. (Eds.), *Zebra mussels and other aquatic nuisance species*. Ann Arbor Press: 648 pp
- Hamdi H., 2007.** Contribution à la connaissance de la biodiversité associée à l'herbier à *Posidonia oceanica* dans le site sensible des Grottes (Bizerte). Thèse de doctorat. Science halieutiques. Institut national agronomique de Tunisie. 1-94.
- 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) : 115124.

Références Bibliographiques

Hemminga MA, Duarte CM.,2000). Seagrass ecology. Cambridge University Press. Invers O, Kraemer GP, Pérez 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 : 97-298.

Infantes E., Terrados J., Orfila A., Cañellas B., Álvarez-Ellacuria A.,2009. « Wave energy and the upper depth limit distribution of *Posidonia oceanica* ». *Bot. Mar.* Vol. 52, n°5, p. 419-427.

Jacquemart, J., 2003. Influence d'un petit port et d'un récif artificiel sur les macroalgues épiphytes de *Posidonia oceanica* (L.) Delile en baie de La Revellata (Calvi, Corse). Mémoire de Licence, Université de Liège : 77 pp.

Jeffrey SW, Humphrey G F., 1975. New spectrophotometric equation for determining chlorophyll a, b, c1 and c2, *Biochemical Physiology Pflanz* 167 : 194-204.

Jeudy de Grissac A., 1984. Effets des herbiers à *Posidonia oceanica* sur la dynamique marine et la sédimentologie littorale. First internation. Workshop *Posidonia oceanica*, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A. et Olivier J., édits., GIS Posidonie publ., Marseille : 437-443.

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., 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.

Jupin, H. et Lamant, A., 1999. La photosynthèse. Ed. Dunod, Paris, p : 20-28.

Karakassis I., Tsapakis M., Smith C.J., Rumohr H., 2002. Fish farming impacts in the Mediterranean studied through sediment profiling imagery. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 227 : 125- 133.

Kerneis, A., 1960. Contribution à l'étude faunistique et écologique des herbiers de posidonies de la région de Banyuls. *Vie Milieu*, 11 : 211 pp.

Khodja A. ,2013. Caractérisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile (1813) de la côte occidentale Algérienne (CAP Blanc). Mémoire de Magister. Université d'Oran. 192p.

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

Lacaze, J.C.,1993. La dégradation de l'environnement côtier : Conséquences écologiques. Edit. Masson, Paris, 130p.

Laurence Le Diréach et Charles-F. Boudouresque.,2003. Gis posidonie : 30 ans au service de la protection et de la gestion du milieu marin. Aix Marseille Université, Institut Pythéas, Campus de Luminy :30p.

Lavery, P.S., Hyndes, G. and Brearley, A., 2003. How does seagrass diversity influence faunal diversity and is the influence consistent across different assemblages of organisms? *Gulf of Mexico Science*, 22 (1): 113.

Le Gall J.Y., 1969. Etude de l'endofaune des pelouses de Zostériacées superficielles de la baie de Castiglione (Algérie). *Téthys*, 1 (2) : 395-420.

Références Bibliographiques

Lecointre, G. and Le Guyader, H., 2001. Classification phylogénétique du vivant, 2ème édition. Belin (Eds.), Paris, France : 543 pp.

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.

Borowitzka M.A, Lavery P.S, vanKeulen M., 2006. Epiphytes of seagrasses. In : Springer (ed) *Seagrasses : Biology, Ecology and Conservation*. Springer, pp 441-461

Mammeria A.B., 2006. Eutrophisation et état de l'herbier de Posidonie *Posidonia oceanica* dans le golfe d'Annaba. Mémoire de magister. Université bordj badji mokhtar. Annaba. 80p

Mammeria A.B., Djebbar A.B., 2006. Eutrophisation et état de l'herbier de Posidonie *Posidonia oceanica* dans le golf d'Annaba. 2 ème colloque euroméditerranéen de biologie environnementale. Muséum d'histoire naturelle de Marseille. Mésogée, 62 : 43.

Martin A., 2018. Analyse socio-économique de la gestion des plages : cas des banquettes de Posidonie sur les communes du littoral méditerranéen français. Mémoire de fin d'études. Fr. 10-12p.

Mateo MA, Romero J., 1997. Detritus dynamics in the seagrass *Posidonia oceanica*: Elements for an ecosystem carbon and nutrient budget. *Marine Ecology-Progress Series* 151 :43-53

Mateo-Minguez M.A., Cebrian, J., Dunton K. et Mutchler T., 2006. *Carbon Flux in Seagrass Ecosystems*, in Larkum, Orth, and Duarte, *Biology of Posidonia in Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation.*, 2006, Springer, Dordrecht, Netherlands, Chap 7, 159-192.

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. Réunion. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.* 28(3) : 117-119.

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., 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 marine benthos*. Systematic Association special volume 46, Clarendon Press publ.: 165-187

Mazzella L., Buia M.C., Gambi M.C., Lorenti M., Russo G.F., Scipione M.B. and Zupo V., 1995. A review on the trophic organization in the *P. oceanica* ecosystem. In : *La Posidonia oceanica, a contribution to the preservation of a major Mediterranean marine ecosystem*. In *Revista Marittima*: 40-47.

McRoy CP, Barsdate RJ, Nebort M., 1972. Phosphorus cycling in an eelgrass ecosystem. *Limnology and Oceanography* 17 : 58–67.

Meinesz A. et Lefevre JR., 1984. Régénération d'un herbier de *p. oceanica* quarante années après sa destruction par une bombe dans la rade de Ville franche Alpes –Maritimes, Fr. *International workshop p. oceanica beds*. GIS Posidonie publ., 2: 69-71

Meinesz A., Lefevre J.R., Astier J.M., 1991. Impact of coastal development on the infralittoral zone along the southern Mediterranean shore of continental France. *Mar. Poll. Bull.*, 23 : 343 - 347.

Références Bibliographiques

- Molinier R., Picard J., 1952.** Recherches sur les herbiers de Phanérogames marines du littoral méditerranéen français. Ann. Inst. océanogr., Paris, 27 (3) : 157-234.
- Molinier R., Picard J., 1953.** Etudes biologiques sur les Phanérogames marines à l'ouest d'Alger. Bull. Stat. Aquicult. Pêche Castiglione, Alg., 4 : 7-34.
- Molinier R., Picard J., 1954.** Eléments de bionomie marine sur les côtes de Tunisie. Bull. Stat. Océanogr. Salammbô 48 : 3-47.
- Novak, R., 1984.** A study in ultra-ecology : Micoorganisms on the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. P.S.Z.N.I: Marine Ecology, 5 (2) : 143-190.
- Ott J.A., 1980.** Growth and production in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Mar. Ecol., PZSN 1(1) : 47-64.
- Paccalet Y., Cousteau J.Y., 1983.** Fortunes de la mer. Flammarion édit., Fr., 1-256.
- Panayotidis P., Giraud G., 1981.** Sur un cycle de renouvellement des feuilles de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile dans le golfe de Marseille. Vie Milieu 31(2) : 129-136.
- Pasqualini V., Pergent-Martini C., Pergent G., 1998a.** Use of remote sensing for the characterization of the Mediterranean coastal environment-the case of *Posidonia oceanica*. Journal of coastal conservation, 4 : 59-66.
- Pedersen MF, Borum J., 1992.** Nitrogen dynamics of eelgrass *Zostera marina* L. during a late summer period of high growth and low nutrient availability. Marine Ecology Progress Series 80 : 65-73.
- Peirano A., Bianchi N.C., 1995.** Decline of the seagrass *Posidonia oceanica* in response to environmental disturbance : a simulation like approach off Liguria (NW Mediterranean Sea). In : Proc. 30th European marine biological Symposium, Southampton : 87-95.
- Pérès J.M., Picard J., 1964.** Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. Rec. Trav. Stat. mar. Endoume, 31(47) : 3-137
- Pérès, J.M et 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.
- 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 G, Romero J, Pergent-Martini C, Mateo MA, Boudouresque CF., 1994.** Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Ecology-Progress Series* 106 : 139-146.
- Pergent G., 1985.** Floraison des herbiers à *Posidonia oceanica* dans la Région d'Izmir (Turquie). *Posidonia Newsletter* 1(1) : 15-21.
- Pergent G., 1990a.** Lepidochronological analysis of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile : a standardized approach. *Aquatic Botany*, 37 : 39-54.
- Pergent G., 1990b.** Evaluation of *Posidonia oceanica* primary production using lepidochronological analysis: preliminary results. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions de la Commission Internationale sur l'Exploration Scientifique en Méditerranée*, Perpignan, 32(1) B17 : 6.
- Pergent G., 1991.** Les indicateurs écologiques de la qualité du milieu marin en Méditerranée. *Oceanis* 17(4) : 341-350.

Références Bibliographiques

- 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. eds. 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*. *Botanica Marina*, 33 : 299-310.
- 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. *Aquatic Botany*, 42 : 49-66
- Pergent G., Boudouresque C.F., Cruzet A., 1983.** Variations cycliques dans les écailles des rhizomes orthotropes de *Posidonia oceanica*. *Travaux Scientifiques du Parc National de Port-Cros*, 9 : 107-148.
- Pergent G., Pergent-Martini C., Rico-Raimondino V., 1992.** Evaluation of past primary production of *Posidonia oceanica* using lepidochronological data. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions de la Commission Internationale sur l'Exploration Scientifique en Méditerranée*, Trieste, 33-47
- Pergent, G ; Rico-Raimondino, V et Pergent-Martini, C., 1997.** Fate of primary production in *Posidonia oceanica* meadows of the Mediterranean. *Aquatic Botany*, 59 : 307-321
- 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. eds. *International workshop on Posidonia beds*. GIS Posidonie publ., Fr., 2 : 6976
- Pergent G., Boudouresque C.F., Cruzet A., Meinesz A., 1989b.** Cyclic changes along *Posidonia oceanica* rhizomes (lepidochronology): present state and perspectives. *Mar. Ecol. PSZN* 10(3): 221-230.
- Pergent G., Mendez S., Pergent-Martini C., Pasqualini V., 1999.** Preliminary data on the impact of fish farming facilities on *Posidonia oceanica* meadows in the Mediterranean. *Oceanol. Acta.*, 22(1) : 95-107.
- Pergent-Martini C., 1998.** *Posidonia oceanica*: a biological indicator of past and present mercury contamination in the Mediterranean Sea. *Mar. Environm. Res.* 45(2) : 101-111.
- Pergent-Martini C., 2000.** Protection des habitats d'herbiers de Phanérogames marines de Méditerranée. Les études d'impacts en milieu marin. CAR/ASP Tunis & EqEL publ. : 1-49 + Ann.
- Pergent-Martini C., Pergent G., 1994.** Lepidochronological analysis in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: state of the art and future developments. *Oceanol. Acta* 17(6) : 673-681.
- Pergent-Martini C., Rico-Raimondino V., Pergent G., 1994.** Primary production of *Posidonia oceanica* in the Mediterranean basin. *Mar. Biol.* 120 : 9-15.
- Pête D., 2005.** Colonisation épiphytique de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Comparaison entre des feuilles artificielles et des feuilles naturelles. Mémoire de Licence en Sciences Biologiques. Univ de Liège. Fr :1-52.
- Phillips R.C., Meinesz E.G., 1988.** Seagrasses. *Smithsonian Contributions to the Marine Sciences* No. 34. Smithsonian Institution Press, Washington, DC. 1-104.
- PIAZZI L., ACUNTO S., CINELLI F., 1999.** *In situ* survival and development of *Posidonia oceanica* (L.) Delile seedlings. *Aquat. Bot.* 63 : 103- 112.

Références Bibliographiques

- Pirc H., 1983.** Belowground biomass of *Posidonia oceanica* (L.) Delile and its importance to the growth dynamics. In: International Symposium aquatic macrophytes, Nijmegen: 177-181
- 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.
- Procaccini, G., Ruqqiero, M.V. and Orsini, L., 2002.** Genetic structure and distribution of microsatellite population genetic diversity in *Posidonia oceanica* in the Mediterranean basin. Bulletin of Marine Science, 71 (3): 1291-1297.
- Procaccini G., Buia M.C., Gambi M.C., Perez M., Pergent G., Pergent-Martini C., Romero J., 2003.** Seagrass status and extent along the Mediterranean coasts of Italy, France and Spain. In : Green E.P., Short F.T., Spalding M.D. edits. World Atlas of Seagrass: Present status and future conservation. University of California Press publ
- Procaccini, G., Buia, M.C., Gambi, M.C., Perez, M., Pergent, G., Pergent-Martini, C. and Romero, J., 2003.** The seagrasses of the Western Mediterranean. In : Green, E.P. and Short F.T. (Eds.), World Atlas of Seagrasses. University of California Press Publishers : 48-58.
- Relini G., 1992.** Depauperamento e protezione della fauna marina italiana. *Boll. Mus. Ist. biol. Univ. Genova* 56-57 : 9-52.
- Rico-Raimondino, V., 1995.** Contribution à l'étude des stocks et flux d'éléments dans les herbiers a *Posidonia oceanica*. Thèse Doctorat Ecologie. *Univ. Aix-Marseille II, Fr.* : 10 p non num. + 1-248.
- Rittmann A., 1930.** Geologie der Insel Ischia. Reimer edit., Berlin. 1-265.
- Romero, J., 1989.** Seasonal pattern of *Posidonia oceanica* production : growth, age and renewal of leaves. In : Boudouresque, C.F., Meneisz, A., Fresi, E. and Gravez, V. (Eds.), International Workshop on *Posidonia* Beds. GIS Posidonie publ., France : 63- 67.
- Romero J., 1989b.** Seasonal pattern of *Posidonia oceanica* production : growth, age and renewal of leaves. In : Boudouresque C.F., Meneisz A., Fresi E. and Gravez V. (Eds.), International Workshop on *Posidonia* Beds. GIS Posidonie publ., France : 63- 67.
- 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.* 13, 73-83.
- Ruiton S., Tunesi L., 2006.** Présentation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. *Ramoge Pub Monaco* : 220p.
- Ruiz, J.M., Romero, J., 2001.** Effects of in situ experimental shading on the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Ecology Progress Series* 215, 107-120.
- Ruiz J.M., Romero J., 2003.** Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Poll. Bull.*, 46 : 1523-1533.
- 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.

Références Bibliographiques

- Schneider.,2020.** : CARACTÉRISATION DES POSIDONIES. LIVRABLES T1.4.7 & T1.5.8 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE RELATIVE AUX POSIDONIES. E. TESSIER (INSA de Lyon).
- Semroud R., (1993). Contribution à la connaissance de l'écosystème à *Posidonia oceanica* (L.) Delile dans la région d'Alger (Algérie): étude de quelques compartiments. Thèse de Doct. D'Etat, U.S.T.H.B., Alger : 1-219.
- Semroud R., Verlaque M., Crouzet A., Boudouresque C.F., 1992.** On a broad-leaved form of the seagrass *Posidonia oceanica* (Posidoniaceae) from Algiers (Algeria). *Aquatic Botany*, 43 : 181-188.
- Stoppelli N., Peirano A., 1996.** Continuous flowering of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in the Bay of Monterosso al Mare (SP) (Northwestern Mediterranean Sea). *Bollettino dei Musei e degli Istituti dell'Università di Genova*, 60 : 31-40.
- Thélin 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.
- Thélin I., Boudouresque C.F., 1983.** Longévité des feuilles de *Posidonia oceanica* dans un herbier de la baie de Port-Cros (Var, France). *Rapp. P.V. Réunion. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.* 28(3): 115-116.
- Tomas, F., Turon, X., Romero, J., 2005.** Seasonal and small-scale spatial variability of herbivory pressure on the temperate seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Ecol.* 301, 95– 107.
- Törnblom, E. and Søndergaard, M., 1999.** Seasonal dynamics of bacterial biomass and production on eelgrass *Zostera marina* leaves. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 179 : 231-240.
- Touchette BW, Burkholder JM.,2000a.** Review of nitrogen and phosphorus metabolism in seagrasses. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 250 : 133-167.
- Trautman, D.A. and Borowitzka, M.A, 1999.** Distribution of the epiphytic organisms on *Posidonia australis* and *P. sinuosa*, two seagrasses with differing leaf morphology. *Marine Ecology Progress Series*, 179 : 215-229.
- Turner S, Schwarz AM., 2006.** Management and conservation of seagrass in New Zealand: an introduction. *Science For Conservation* 264.
- Vaissier R., Fredj G., 1963.** Contribution à l'étude de la faune benthique du plateau continental de l'Algérie. *Bull. Inst. Oceanogr. Monaco*, 60 (1272), 83p.
- Vangeleluw D.,2006.** 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 de doctorat. Université de Liège. 196p
- 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. *edit.*, GIS Posidonie *publ.*, Fr., 1 : 381-387.
- 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.

Références Bibliographiques

Villanueva Guimerans, P. and Cervera Currado, J.L., 1999. Distribution of Planorbulinacea (benthic foraminifera) assemblages in surface sediments on the northern margin of the Gulf of Cadiz. Bol. Inst. Esp. Oceanogr., 15 (1-4) : 181-190.

Wellman C.H., Osterloff P.L., Mohuddin U., 2003. Fragments of the earliest land plants. Nature 425 : 282-285.

Williams S, Orth R.J.,1998. Genetic diversity and structure of natural and transplanted eelgrass populations in the Chesapeake and Chincoteague Bays. Estuaries 21 : 118-128.

Zupi, V et Fresi, E.,1984. A study of the food web of the *Posidonia oceanica* ecosystem: analysis of the gut contents of Echinoderms. International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., OLIVIER J. edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1: 373-379.

Annexes

Annexe 1

Relevés biométriques d'un plant de *P. oceanica* prélevé le 17/05/2021 dans la région D'Agla (Wilaya de Tlemcen) :

	Longueur	Largeur
Feuilles adultes	50-52cm	1cm
Feuilles intermédiaires	14-36cm	1cm
Feuilles juvéniles	<5cm	1cm
Racines	3cm 2cm	4mm 1mm
Rhizome	6cm	-



Figure : photo d'un plant de posidonie prélevé dans la petite plage d'Agla.(Originale,2021)

Annexes

Annexe 2 :

Les textes réglementaires qui s'appliquent aux herbiers à *Posidonia oceanica*

Conventions internationales :

En termes réglementaires, l'approche écosystémique est une approche relativement récente (e.g. 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. 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 5 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 le plus possible toute détérioration 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 PNUE⁴⁴ 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, Espagne, France, Grèce, Italie, Libye, Malte, Maroc, Monaco, Slovénie, Tunisie, Turquie et les pays d'est de la méditerranée) et la Communauté Economique Européenne ont manifesté leur intérêt pour une protection des habitats marins.

. Textes réglementaires dans les pays méditerranéens :

Annexes

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 circulaire ministérielle portant sur la mise en œuvre de cette loi, dans le cadre du plan d’aménagement côtier (n° 380/SPM du 19 octobre 2002), précise que concernant les herbiers sous-marins et les formes ou formations côtières sous-marines, aucun travail d’aménagement ne doit être entrepris dans ces espaces naturels à l’exception toutefois des installations légères destinées à leur gestion ou à leur mise en valeur (Rachid Semroud, comm. verb.).

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*” (Pergent, 1991). 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”.

Le Décret du 7 juillet 1999 du Ministère des Affaires étrangères (J.O. du 18 juillet 1999, pp. 10741 à 10758), portant publication des amendements aux annexes de la Convention relative à la Conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l’Europe (Convention de Berne) mentionne également *Posidonia oceanica*.

En dehors de l’espèce *P. oceanica* elle-même, les herbiers peuvent bénéficier d’une protection aux termes de la Loi du 3 janvier 1986, qui énonce les principes relatifs à l’aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral. Cette Loi “littoral” peut permettre la préservation d’un herbier ou d’une partie d’herbier, qui présente un intérêt écologique ou s’avère indispensable au maintien de l’équilibre biologique (Platini, 2000). Cela s’est traduit par le Décret du 20 septembre 1989 (Code de l’Urbanisme, dispositions

Annexes

particulières au littoral ; Boudouresque et al., 1995) qui stipule que “sont préservés, dès lors qu’ils constituent un site ou un paysage remarquable ou caractéristique du patrimoine naturel et culturel du littoral, sont nécessaires au maintien des équilibres biologiques ou présentent un intérêt écologique :

(...) les milieux abritant des concentrations naturelles d’espèces animales ou végétales tels que les herbiers (...)”.

Enfin, certains herbiers particuliers, comme les formations “récifales” à *P. oceanica* (e.g. récifs barrières de Port-Cros et du Brusuc en Provence, plate-forme récifale de Saint-Florent en Corse), au regard de leur caractère de paysage remarquable (Boudouresque et al., 1991) font l’objet d’une protection accrue. Ainsi le récif-barrière de Port-Cros, qui est inclus dans les eaux du Parc national de Port-Cros et bénéficie d’une surveillance adaptée (Augier et Boudouresque, 1975 ; Augier et Niéri, 1988) ou la plate-forme de Saint-Florent (Boudouresque et al., 1983), qui est protégée par un arrêté de biotope, depuis 1999 (Anonyme, 2001).

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).

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., 1995). En mesures complémentaires, la “Direcció General de Pesca Marítima de la Generalitat” de Catalunya a financé, en 1992, une cartographie détaillée des herbiers des côtes catalanes et initié un programme “Xarxa de vigilància de la qualitat biològica dels herbassars de Fanerógamas marinas”, qui vise à recueillir des données sur le fonctionnement des herbiers de Phanérogames marines de manière à obtenir des informations utiles à leur protection et leur gestion (Javier Romero, comm. verb.).

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 (Ebru Coskun, comm.verb.)