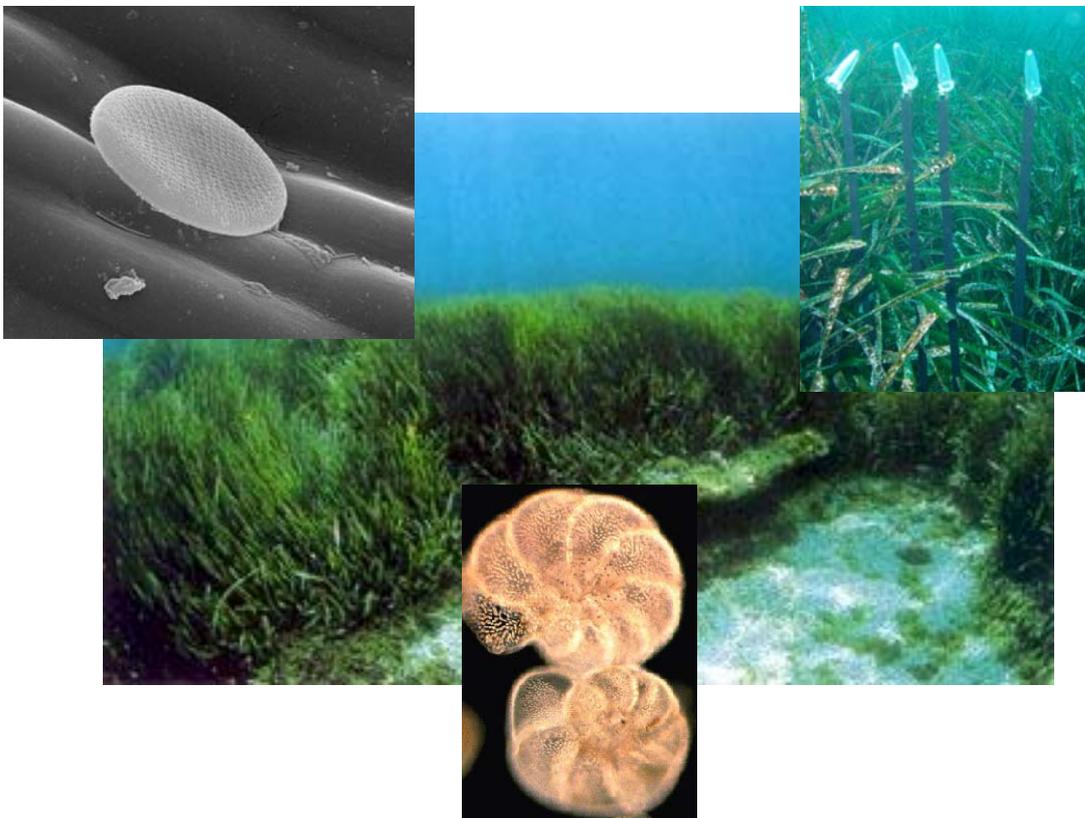
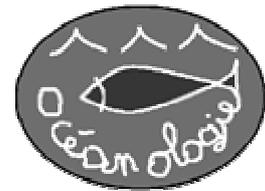


**Colonisation épiphyte de *Posidonia oceanica* (L.)
Delile. Comparaison entre des feuilles artificielles et
des feuilles naturelles.**



Mémoire réalisé par Dorothée Pête en vue de l'obtention du diplôme de
Licenciée en Sciences Biologiques, orientation Biologie Animale

Année académique 2004-2005



**Colonisation épiphyte de *Posidonia oceanica* (L.)
Delile. Comparaison entre des feuilles artificielles et
des feuilles naturelles.**

Mémoire réalisé par Dorothée Pête en vue de l'obtention du diplôme de
Licenciée en Sciences Biologiques, orientation Biologie Animale

Année académique 2004-2005

Remerciements

Arrivée au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude à ma promotrice, Sylvie Gobert, pour m'avoir proposé ce sujet mais aussi et surtout, tout comme Gilles Lepoint, pour sa compétence, sa patience, ses conseils avisés et son encadrement sympathique et souriant.

Je tiens également à remercier Jean-Marie Bouquegneau pour m'avoir accueillie dans son laboratoire, où travail et rigueur sont également associés à une bonne humeur générale et des pots plus qu'agréables.

Au sein du laboratoire d'océanologie, je remercie plus particulièrement Renzo Biondo pour son assistance technique incomparable, ainsi que Fabienne, Krishna et Denis pour leur gentillesse et leur sympathie ainsi que Aurélie, Benoît, Josef, Marc, Marco, Marie et Oli pour les discussions productives que nous avons eues mais également pour les moments de franche rigolade et d'amitié que nous avons partagé.

Un tout grand merci également à Pierre Lejeune et l'ensemble des gens de STARESO pour m'avoir accueillie dans les magnifiques infrastructures.

A Mathieu Poulicek, Patrick Dauby et Nicole Decloux, je tiens à exprimer une sincère reconnaissance pour leur aide précieuse pour la réalisation et l'interprétation des photos au SEM.

Je tiens également à remercier Pierre Vandewalle pour m'avoir permis d'utiliser ses loupes binoculaires, ainsi que Jean-Pierre Thomé, pour m'avoir proposé et donné le logiciel PRIMER 5, qui m'a fait gagner un temps précieux dans le traitement des résultats, et je lui souhaite un prompt rétablissement.

Finalement, je remercie mes parents, mes amis, mon amoureux, Loïc, ainsi que ses parents pour leur soutien au cours de ce travail mais également tout au long de ces années d'études.

Ce travail a bénéficié d'une aide financière de la Fondation de Recherches Sous-marines et Océanographiques (ULg) ainsi que du FNRS (contrat FRFC : 2.4569.03).

Résumé

Face aux importantes perturbations, principalement d'origines anthropiques, qui affectent l'écosystème côtier méditerranéen, il est nécessaire de mettre en place des outils de diagnostic rapides de ces perturbations. *Posidonia oceanica* (L.) Delile, qui est un des piliers de cet écosystème, a souvent été utilisée pour évaluer l'état de santé du milieu côtier méditerranéen. Cependant, comme son turnover est relativement lent et que cette plante peut accumuler des réserves qui lui permettent, durant des périodes relativement longues, de garder une phénologie stationnaire, malgré des changements environnementaux, il est parfois trop tard lorsqu'elle montre les effets d'une perturbation. Dans ce contexte, il devient nécessaire de trouver des outils de diagnostic précoces de ces perturbations. Dans ce cadre, les modifications des populations épiphytes, qui ont un turnover plus rapide que la plante, apparaissent comme des marqueurs plus précoces de la pollution.

Dans ce cadre, nous avons tenté de déterminer si les communautés épiphytes se développant sur des feuilles artificielles imitant les feuilles de posidonies étaient semblables à celles s'installant sur les feuilles naturelles, et ce afin de voir si les feuilles artificielles pouvaient être utilisées comme modèle de feuilles de posidonies dans le cadre d'études d'impact.

Les résultats obtenus ont montré que la colonisation des deux types de feuilles n'était pas similaire. En effet, la densité des épiphytes était beaucoup plus importante à la base des feuilles artificielles qu'à la base des feuilles de posidonies mais la diversité et l'équitabilité calculées pour les grands taxa était plus élevée sur les feuilles naturelles. Cependant, l'étude de la colonisation par les épiphytes réalisée sur toute la longueur de la feuille artificielle a montré une zonation proche de celle normalement rencontrée sur les feuilles matures de posidonies.

Ainsi, au début de la colonisation et pour la base des feuilles, les feuilles artificielles ne sont pas de bons modèles des feuilles de posidonies et ne peuvent pas être utilisées dans le cadre d'études d'impact. Cependant, au vu des résultats obtenus pour toute la longueur des feuilles artificielles et des données de la littérature, on ne peut pas exclure que, pour des stades plus avancés de la colonisation, la feuille artificielle soit un bon modèle de la feuille naturelle.

Table des matières

1. AVANT-PROPOS	- 1 -
2. INTRODUCTION	- 3 -
2.1 LES HERBIERS A <i>P. OCEANICA</i>	- 3 -
2.1.1 <i>La Posidonia oceanica</i>	- 3 -
2.1.2 <i>Rôles de l'herbier de posidonies</i>	- 5 -
2.2 LES EPIPHYTES	- 6 -
2.2.1 <i>Les bactéries</i>	- 8 -
2.2.2 <i>Les diatomées</i>	- 9 -
2.2.3 <i>Les macro-algues épiphytes</i>	- 11 -
2.2.4 <i>La faune épiphyte</i>	- 13 -
2.3 UTILISATION DE L'HERBIER ET DE LA POSIDONIE COMME INDICATEURS DES PERTURBATIONS DE L'ENVIRONNEMENT	- 17 -
2.4 LES FEUILLES ARTIFICIELLES	- 20 -
3. OBJECTIFS	- 21 -
4. MATERIEL ET METHODES	- 22 -
4.1 LOCALISATION ET CARACTERISTIQUES DU SITE DE L'ETUDE	- 22 -
4.2 ECHANTILLONNAGE	- 23 -
4.2.1 <i>Préparation des feuilles artificielles</i>	- 23 -
4.2.2 <i>Préparation des feuilles de P. oceanica</i>	- 23 -
4.2.3 <i>Technique de prélèvement</i>	- 24 -
4.2.4 <i>Méthode de préparation des échantillons pour l'observation</i>	- 24 -
4.3 OBSERVATION DES ORGANISMES EPIPHYTES A LA LOUPE BINOCULAIRE	- 24 -
4.4 ANALYSE DES DONNEES OBTENUES PAR DETERMINATION	- 25 -
5. RESULTATS	- 28 -
5.1 COMPARAISON DE LA COLONISATION PAR LES EPIPHYTES ENTRE LES PARTIES BASALES DES FEUILLES DE <i>P. OCEANICA</i> ET DES FEUILLES ARTIFICIELLES	- 28 -
5.1.1 <i>Colonisation des deux types de feuilles par les grands taxa</i>	- 29 -
5.1.2 <i>Répartition des organismes au sein des taxa les plus importants</i>	- 32 -
5.1.3 <i>Considérant la variabilité au sein des grands taxa, nous nous sommes attardés sur les deux groupes les plus rencontrés sur les feuilles naturelles et artificielles, c'est-à-dire les algues et les foraminifères.</i>	- 32 -
5.1.3 <i>Analyse de la similarité entre les feuilles de posidonies et les feuilles artificielles, en tenant compte de tous les organismes observés</i>	- 36 -
5.2 VARIATION DE LA COLONISATION LE LONG DES DIVERS FRAGMENTS DE FEUILLES ARTIFICIELLES AU COURS DU TEMPS	- 37 -
6. DISCUSSION	- 42 -
6.1 COMPARAISON DE LA COLONISATION PAR LES EPIPHYTES ENTRE LES PARTIES BASALES DES FEUILLES DE <i>P. OCEANICA</i> ET DES FEUILLES ARTIFICIELLES	- 42 -
6.1.1 <i>Comparaison de la dynamique de colonisation au niveau des deux types de feuilles</i>	- 42 -
6.1.2 <i>Diversité et équitabilité observées entre les deux types de feuilles</i>	- 46 -
6.2 MISE EN EVIDENCE D'UNE DIFFERENCE EVENTUELLE ENTRE LES DIVERS FRAGMENTS DE FEUILLES ARTIFICIELLES OBSERVES AU COURS DU TEMPS	- 49 -
7. CONCLUSIONS	- 51 -

1. Avant-propos

La santé du milieu marin n'est actuellement pas très bonne et la Méditerranée n'échappe pas à la règle. En effet, diverses perturbations, généralement d'origines anthropiques, se combinent et contribuent à fragiliser l'écosystème marin, principalement au niveau des côtes. En plus des effets néfastes qu'aurait un changement climatique sur l'ensemble des écosystèmes marins (Short & Neckles, 1999 ; Duarte, 2002), la pression humaine directe participe également à cette fragilisation (Duarte, 2002 ; Shanz *et al.*, 2003).

En ce qui concerne la Méditerranée (Bianchi & Morri, 2000), la présence toujours accrue des touristes entraîne divers types de pollutions : par les déchets qu'ils produisent directement d'une part, mais aussi par les activités de loisirs telles la plaisance (dégâts causés par les ancres par exemple; Milazzo *et al.*, 2004) et autres activités nautiques, d'autre part. De plus, pour faire face à cette présence envahissante mais non moins lucrative, les municipalités n'ont pas hésité à construire diverses infrastructures directement "sur la mer" et donc, à détruire toute la végétation se trouvant sous ces nouvelles constructions. Des plages artificielles et de nouveaux ports ont également été créés, ce qui a entraîné une modification de la dynamique du sédiment dans les zones concernées et nuit à l'écosystème en place (Boudouresque & Meneisz, 1982 ; Guidetti & Fabiano, 2000 ; Guidetti, 2001). Il faut encore ajouter à cela les problèmes causés par la pollution que les grands fleuves déversent directement dans le milieu marin, les phénomènes d'eutrophisation (dus à des causes aussi diverses que les égouts débouchant en mer, l'excès de nourriture fourni aux poissons dans les exploitations aquacoles ou encore la présence d'un port) qui entraînent une diminution de la quantité de lumière qui atteint le fond et donc les végétaux que l'on trouve dans cette zone (Peres & Picard, 1975 ; Hemminga, 1998, Delgado *et al.*, 1999 ; Pergent *et al.*, 1999 ; Ruiz *et al.*, 2001 ; Ruiz & Romero, 2003 ; Balestri *et al.*, 2004), les dégâts causés par des pêcheurs peu respectueux des réglementations (González-Correa *et al.*, 2005) ainsi que le développement de plus en plus important de l'aquaculture et l'arrivée d'espèces étrangères hautement compétitives comme le cas bien connu de *Caulerpa taxifolia* (Ceccherelli & Cinelli, 1999 ; Dumay, 2002) ou encore *Caulerpa racemosa* (Argyrou *et al.*, 1999 ; Dumay, 2002 ; Occhipinti-Ambrogi & Savini, 2003).

Tous ces phénomènes entraînent des perturbations importantes des réseaux trophiques et une modification des systèmes biologiques dans les régions atteintes. Parmi les formations les plus touchées, on trouve les herbiers de posidonies, grandes prairies sous-marines constituées par la phanérogame *Posidonia oceanica* (L.) Delile et typiques du littoral Méditerranéen, dont on observe à l'heure actuelle un certain recul (Boudouresque & Meneisz, 1982 ; Livingston, 1984 ; Duarte, 2002 ; Wyllie-Echeverria *et al.*, 2002).

Ces herbiers de posidonies, par le rôle clé qu'ils jouent au sein de l'écosystème côtier Méditerranéen, sont de plus en plus surveillés et sont, depuis 1992, considérés comme un habitat prioritaire par la Directive de l'Union Européenne sur la conservation des habitats naturels et de la faune et de la flore sauvages (H&SD, 92/43/EEC ; Moreno *et al.*, 2001 ; Gobert *et al.*, 2005). Etant donné leur importance, ils sont un outil de choix pour évaluer la qualité des eaux côtières méditerranéennes et détecter les perturbations au sein de celles-ci (Pasqualini *et al.*, 2003 ; Pergent-Martini *et al.*, 2005).

Cependant, lorsque l'herbier réagit à une ou plusieurs perturbations, il est souvent trop tard pour solutionner efficacement le problème, d'où l'intérêt de rechercher d'autres indicateurs plus précoces des pollutions, comme par exemple les épiphytes ou la faune et la flore directement associées à l'herbier (Cinelli *et al.*, 1995 ; Balancier, 2004 ; Degard, 2004 ; Gosselin, 2004 ; Piazzini *et al.*, 2004).

2. Introduction

2.1 Les herbiers à *P. oceanica*

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 b ; Gobert *et al.*, 2005). Ils sont plus abondants dans sa partie occidentale, même s'ils disparaissent près de Gibraltar et à l'embouchure des grands fleuves, que dans sa partie orientale (absence de la Mer de Marmara, du Bosphore et de la Mer noire ; Boudouresque et Meneisz, 1982). 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. Cette succession peut avoir lieu aussi bien sur du sable que sur un substrat vaseux ou, plus rarement, sur substrat dur (Boudouresque & Meneisz, 1982 ; Cinelli *et al.*, 1995).

2.1.1 La *Posidonia oceanica*

La *P. oceanica* est une phanérogame marine, de la famille des Potamogetonaceae, endémique de la Méditerranée (Den Hartog, 1970). Elle se présente sous la forme de faisceaux (Fig. 1.) de 4 à 8 feuilles larges d'environ 1 cm ($1 \pm 0,2$ cm ; Bay, 1984) et longues de 20 à 80 cm, en moyenne, mais pouvant atteindre plus d'un mètre. Ces différents faisceaux sont portés par des tiges rampantes, alors munies de racines, ou dressées, généralement enfouies dans le sédiment et appelées rhizomes (Boudouresque & Meneisz, 1982 ; Cinelli *et al.*, 1995 ; Gobert *et al.*, 2003). Ceux-ci peuvent être de deux types : plagiotropes (à croissance horizontale et donc responsables de l'ancrage et de l'étendue de l'herbier) et orthotropes (à croissance verticale et donc responsables de l'étendue en hauteur de l'herbier ; Boudouresque & Meneisz, 1982 ; Cinelli *et al.*, 1995). Ce lavis de rhizomes et de racines, allié aux feuilles, fonctionne comme un véritable piège à sédiment, entraînant une élévation de l'herbier au cours du temps, et donc du fond de la mer. Suite à cela, on obtient une structure typique appelée "matte". Cette matte, qui peut parfois être assez âgée, est la seule trace d'herbier qui subsiste lorsque celui-ci a disparu d'une zone où il était présent autrefois ("matte morte" ; Molinier & Picard, 1952, *In*

Boudouresque & Meneisz,
1982).

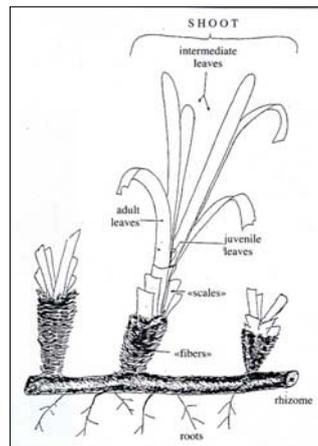


Fig. 1 : Représentation schématique d'un faisceau, d'un rhizome et de racines de *P. oceanica* (d'après Cinelli *et al.*, 1995).

Les herbiers de posidonies peuvent s'étendre de la surface jusqu'à 30-40 m de profondeur, en fonction de la transparence de l'eau (Den Hartog, 1970). Les plantes supportent assez bien les écarts thermiques, même si une diminution du nombre de feuilles et/ou de la croissance des rhizomes ont été observées après un épisode chaud en 1999 (Mayot *et al.*, 2005), mais est très sensible aux variations de salinité. En effet, celle-ci a besoin d'une salinité comprise entre 29 et 38 ‰ pour se développer correctement (Fernández-Torquemada & Sánchez-Lizaso, 2005), même si elle peut survivre jusqu'à des salinités de 25 et 42 ‰. Cette propriété peut expliquer sa disparition au niveau de l'embouchure des grands fleuves (apport d'eau douce et d'une quantité importante de sédiment qui trouble l'eau) et son absence des étangs saumâtres (Boudouresque & Meneisz, 1982 ; Duarte, 2002).

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).

La posidonie peut se reproduire de deux façons : de manière végétative, par "bouturage" naturel (méthode de reproduction la plus fréquente) ou de manière sexuée avec production de fleurs hermaphrodites vers la fin de l'été et le début de l'automne (septembre - octobre). Ces fleurs donneront, si elles ne subissent pas trop l'effet des herbivores, des fruits appelés "olives de mer" contenant, normalement, une graine, plus tard dans l'année. 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 & 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).

En ce qui concerne l'apparition des feuilles de posidonie, celle-ci s'effectue de l'intérieur vers l'extérieur du faisceau. Les feuilles les plus jeunes sont donc les plus centrales et les plus vieilles, les plus externes.

Cette phanérogame est une plante caduque. 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 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, 1989 ; Pergent & Pergent-Martini, 1991 ; Elkalay *et al.*, 2003).

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).

2.1.2 Rôles de l'herbier de posidonies

L'herbier de posidonies est très important pour l'écosystème côtier méditerranéen car il joue de nombreux rôles primordiaux. Il est en effet responsable du piégeage des particules en suspension par la canopée et le lacinis de rhizomes, de la stabilisation des fonds par formation de la matte, de l'atténuation de l'hydrodynamisme des eaux (houle, vagues ; Peirano *et al.*, 1995), d'une importante production d'O₂ (l'herbier est le "poumon" de la Méditerranée) ainsi que de la production et de l'exportation d'une importante biomasse végétale (les plantes vivantes mais également les feuilles mortes qui constituent la litière) qui peut servir de base à

diverses chaînes trophiques (Boudouresque & Meneisz, 1982 ; Pergent *et al.*, 1997 ; Procaccini *et al.*, 2003 ; Duarte, 2002 ; Gobert *et al.*, 2005 ; Hyndes & Lavery, 2005).

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). On comprend donc aisément la perte écologique ET économique qu'impliquerait la disparition de ce pôle de biodiversité.

2.2 Les épiphytes

Le terme épiphyte comprend l'ensemble des organismes vivant à la surface d'une plante (ici, la feuille de *P. oceanica*). 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).

Ces épiphytes participent activement à la production primaire totale de l'écosystème "herbier" (27, 5 % ; Dauby *et al.*, soumis) et représentent une partie très importante de la biomasse totale des feuilles de *P. oceanica* (20 à 40 % ; Gobert *et al.*, 1995 ; Mazzella *et al.*, 1995 ; Lepoint *et al.*, 1999). Cette biomasse varie selon la période de l'année, l'âge de la feuille et le segment de feuille considéré (on observe plus d'épiphytes sur les parties les plus âgées), la face de la feuille (nombre plus important sur la face interne) et la profondeur (Novak, 1984 ; Cinelli *et al.*, 1995 ; Mazzella *et al.*, 1995 ; Alcovero *et al.*, 1997 ; Lepoint *et al.*, 1999 ; Alcovero *et al.*, 2004). Cette importance de la couverture épiphytique peut poser problème à la plante puisque la lumière, indispensable au bon fonctionnement de la photosynthèse, atteint alors plus difficilement la surface foliaire (Howard, 1982). Cependant, il semble que, dans des conditions normales (sans phénomène d'eutrophisation qui augmente de manière importante la croissance des épiphytes, par exemple), les gains en carbone de la phanérogame ne sont pas trop diminués (entre 4,7 et 8,8 % suivant la saison et la profondeur ; Alcovero *et al.*, 2004).

En plus d'une variation de biomasse, la profondeur et la saison sont également

responsables de variations spécifiques au sein de la communauté épiphyte et une zonation, qui se marque par des variations de l'abondance relative des différentes espèces, est également observée le long de la feuille, principalement en ce qui concerne les algues (Livingston, 1984 ; Novak, 1984 ; Mazzella *et al.*, 1995 ; Trautman & Borowitzka, 1999).

Les épiphytes jouent également un rôle essentiel dans les transferts d'énergie de l'herbier vers les niveaux trophiques supérieurs. En effet, il semblerait que peu d'animaux se nourrissent directement des tissus de la posidonie et qu'ils leurs préfèrent les divers organismes épiphytes, principalement les algues (Bell *et al.*, 1984 ; van Montfrans *et al.*, 1984 ; Mazzella & Russo, 1989 ; Cinelli *et al.*, 1995 ; Mazzella *et al.*, 1995 ; Lepoint *et al.*, 2000 ; Vizzini *et al.*, 2002). Cette grande consommation par les herbivores est responsable d'une certaine variabilité entre les biomasses épiphytiques de différentes régions d'herbiers (Alcoverro *et al.*, 1997) et peut aussi jouer un rôle de régulation lorsque la communauté épiphyte se développe de manière exubérante (dans le cas d'une eutrophisation par exemple ; Heck *et al.*, 2003).

Un grand nombre d'organismes différents appartiennent à la communauté épiphyte des feuilles de posidonies. 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. 2), peut coloniser une portion relativement grande de la feuille (20 à 60 % ; Dauby & Poulicek, 1995), et va fournir le substrat de base pour l'installation des autres organismes de la faune et de la flore épiphytes tels les algues, les foraminifères, les bryozoaires, les hydrozoaires, des tuniciers ou encore différents types d'annélides polychètes (Crisp & Ryland, 1960 ; Kerneis, 1960 ; Novak, 1984 ; Chimenz *et al.*, 1989 ; Keough & Raimondi, 1995 ; Wieczorek & Todd, 1997 ; Keough, 1998).

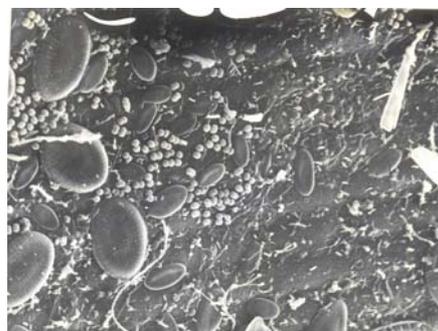


Fig. 2 : Biofilm présent sur des feuilles de posidonies où on peut reconnaître divers types de bactéries et de diatomées (Dauby & Poulicek, 1995).

Parmi les espèces dites vagiles, on trouve le plus souvent des mollusques, des polychètes, des tanaïdes, des isopodes, des amphipodes, des décapodes, des acariens ou encore des copépodes. En fait, la complexité de l'habitat formé par les feuilles de posidonies et ses épiphytes fixés fournit des avantages considérables pour cette faune vagile, comme une grande disponibilité des ressources alimentaires (microépiphytes, matière organique particulaire) et un grand choix de zones de refuge (Bell *et al.*, 1984 ; Chimenz *et al.*, 1989 ; Mazzella & Russo, 1989 ; Connolly & Butler, 1996 ; Scipione *et al.*, 1996).

2.2.1 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). Ces bactéries forment un film, pouvant être constitué de plusieurs couches, de première importance pour l'installation des organismes sessiles en milieu marin. En effet, elles entraînent, avec d'autres organismes arrivant un peu plus tard comme les diatomées, la création d'un biofilm qui modifie les propriétés physiques, chimiques et biologiques du substrat (Keough, 1998). Selon le type d'organisme, ces biofilms pourront n'avoir aucun effet, agir comme stimulants ou comme inhibiteurs de l'installation des larves (Wieczorek & Todd, 1997 ; Keough, 1998 ; Dahms *et al.*, 2004). Keough & Raimondi (1995, 1996) ont, par exemple, démontré que certains polychètes et bryozoaires encroûtants sont sensibles aux différences de constitution de ces biofilms (c.-à-d. les espèces bactériennes ou de diatomées dominantes) causées par l'âge de ceux-ci ou par l'état d'avancement de la colonisation du substrat.

En fait, il semblerait que la densité bactérienne au sein des films joue un rôle important dans l'installation des larves. En effet, cette densité conditionne l'humidité de la surface du substrat ainsi que la présence d'espaces entre les bactéries du film, espaces comblés par des exopolysaccharides formant un espèce de mucus dérivé de ces mêmes bactéries (Dempsey, 1981), ce qui pourraient faciliter l'attachement des larves. Cette densité pourrait également conduire à des variations de concentration en éventuels inhibiteurs chimiques sécrétés par les bactéries, bien que cette hypothèse ne fasse pas l'unanimité (Gu *et al.*, 1996 ; Wieczorek & Todd, 1997 ; Dahms *et al.*, 2004).

Les différents types bactériens qui se développent sur un substrat immergé forment en fait chacun leur propre film. Ces films confluent ensuite les uns vers les autres et forment un

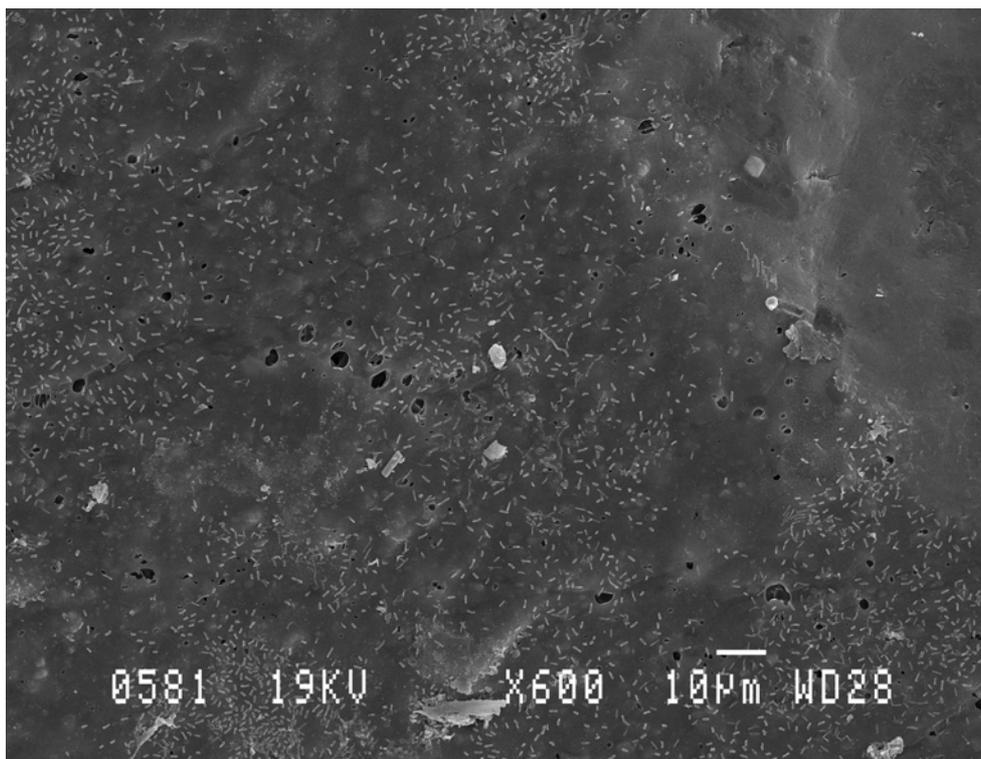
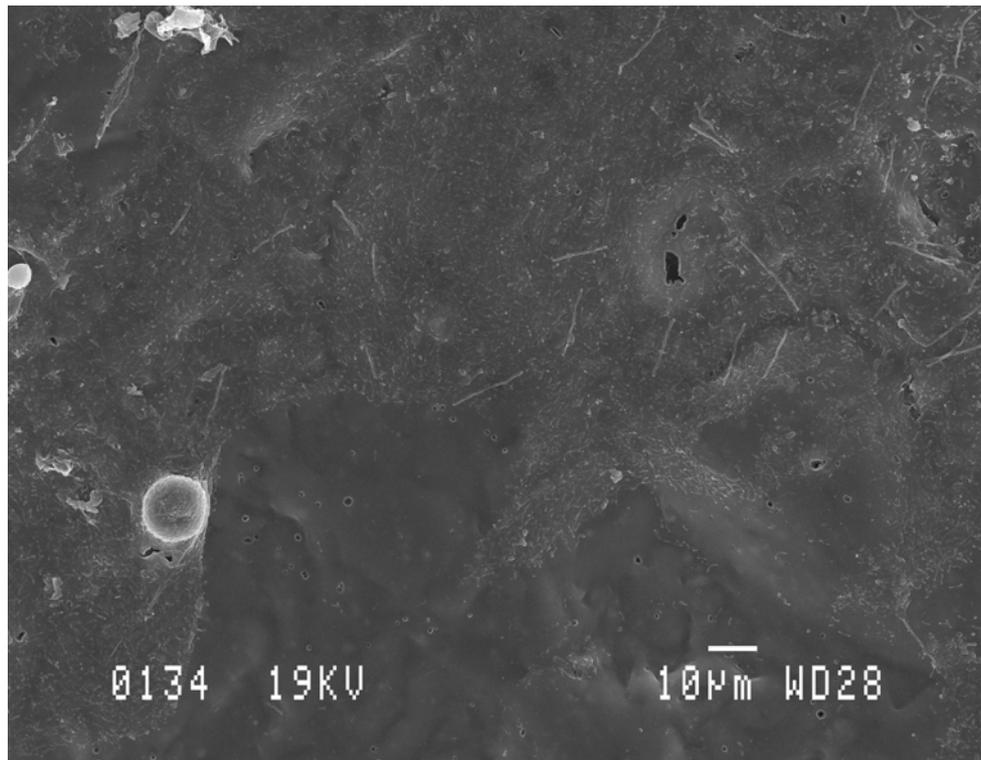


Fig. 3 : en haut : film bactérien mature en expansion sur une feuille artificielle; en bas : film bactérien constitué de bacilles, en pleine expansion, sur une feuille artificielle (Grossissement: 600x). Réalisation : D. Pête.

film mature plus épais et constitué d'un mélange de plusieurs types bactériens (Dempsey, 1981 ; Fig. 3).

Sur les feuilles de posidonies, la majorité des bactéries épiphytes sont localisées au niveau des feuilles les plus vieilles et à la base des feuilles (parties les plus jeunes de la plante), où elles représentent la partie la plus importante des organismes fixés (Novak, 1984 ; Mazzella & Russo, 1989 ; Mazzella *et al.*, 1995). On observe également une différence entre les communautés bactériennes présentes sur les parties les plus jeunes et celles présentes sur les parties les plus vieilles. Celles-ci sont en effet constituées principalement de bacilles et de coques, respectivement. En fait, les bacilles, ensuite suivi par les coques, sont les colonisateurs primaires de la plante et leur densité augmente rapidement, jusqu'à atteindre une valeur de saturation. Lorsque les macro-épiphytes apparaissent, ils sont également colonisés par les bactéries (Novak, 1984).

Les bactéries participent aussi activement aux chaînes trophiques liées à l'herbier et constituent une source de nourriture importante pour certains organismes vivant sur les feuilles de *P. oceanica*, comme *Gibbula ardens* (Mazzella & Russo, 1989). De plus, elles entrent en compétition spatiale avec les diatomées et les macro-algues, à la suite de quoi, les maxima de densité ne peuvent être observés que pour les morceaux âgés de 7 à 10 semaines. Cependant, les bactéries continuent à se développer sur les macro-épiphytes qui se sont installés sur les feuilles de posidonies (Novak, 1984).

2.2.2 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. Cette frustule est constituée de silice cristallisée ($\text{Si}(\text{OH})_4$) présentant une ornementation très fine (Fig. 4). Ce sont des organismes photosynthétiques inféodés au milieu aquatique (rarement sur sol humide) et qui constituent une part importante du phytoplancton marin et d'eau douce (Prescott *et al.*, 2003).

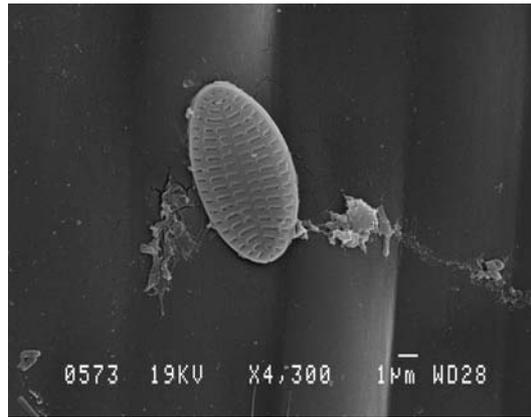


Fig. 4 : Diatomée du genre *Cocconeis* sur une feuille de *Posidonia oceanica* (Grossissement : 4300x). Réalisation : D. Pête.

Comme les bactéries, les diatomées font également partie des premiers organismes à coloniser les objets ou organismes immergés en mer et participent à la formation du biofilm intervenant dans l'installation de certaines larves d'invertébrés (Novak, 1984 ; Hader *et al.*, 2002 ; Dahms *et al.*, 2004).

Ce biofilm joue aussi un rôle important pour les posidonies vis-à-vis des UV-B. En effet, en filtrant ceux-ci, les organismes formant le biofilm permettent à la plante de se développer dans des zones superficielles, sans subir le moindre dégât (Brandt & Koch, 2003).

Parmi les diatomées, les représentantes des ordres des Naviculales et des Mastogloiales constituent la majorité des espèces présentes sur les feuilles de *P. oceanica*, alors que l'ordre des Achnanthales comprend les espèces qui y sont les plus abondantes. Au sein de cet ordre, on trouve notamment les espèces du genre *Cocconeis* (famille des Cocconeidaceae) qui dominent les communautés de diatomées de la strate foliaire et peuvent aller jusqu'à former des couches monospécifiques (Novak, 1984 ; Mazzella & Russo, 1989 ; De Stefano *et al.*, 2000).

Comme pour les bactéries, on observe une zonation dans l'abondance des diatomées au niveau des feuilles de posidonies. En effet, elles sont plus abondantes sur les feuilles matures et au niveau des extrémités, alors que leur concentration est faible au niveau des segments les plus jeunes, contrairement aux bactéries. De plus, leur densité augmente en fonction du temps d'exposition de la feuille à l'eau du mer. Des relations de compétition existent aussi (spatiales, pour la lumière) avec les bactéries d'une part, et avec les autres organismes

épiphytes d'autre part. En effet, la densité des diatomées augmente assez rapidement et elles entrent en compétition avec les bactéries, jusqu'à limiter leur progression après 7 à 10 semaines et devenir dominantes au niveau des zones plus âgées de la feuille (Novak, 1984 ; Mazzella & Russo, 1989 ; Dauby & Poulicek, 1995). Les diatomées semblent également s'accumuler préférentiellement à proximité des bords des algues encroûtantes, probablement parce qu'elle y trouvent des conditions hydrodynamiques leur convenant particulièrement bien (création de micro-courants au niveau de la surface des macro-épiphytes et protection contre les perturbations mécaniques ; Novak, 1984 ; Mazzella & Russo, 1989)

Evidemment, les diatomées constituent également une source de nourriture pour divers organismes vivant dans l'herbier de posidonies (Howard, 1982 ; Novak, 1984 ; van Montfrans *et al.*, 1984 ; Mazzella & Russo, 1989 ; Ribes & del Pilar Gracia, 2000)

2.2.3 Les macro-algues épiphytes

La communauté épiphyte de zones les moins profondes des herbiers de posidonies est dominée par les algues, contribuant à 40% de la biomasse totale de la plante et à 27% de la production primaire de l'écosystème herbier, dans certaines régions (Mazzella *et al.*, 1995 ; Lepoint *et al.*, 1999 ; Dauby *et al.*, soumis).

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 & Borowitzka, 1999).

Par leur position, les macro-algues jouent, elles aussi, un rôle de protection de la plante vis-à-vis des UV-B, ce qui permet à la plante de se développer dans des zones superficielles, sans problème (van Montfrans, 1984 ; Nelson & Waaland, 1997).

En fait, la localisation de ces algues sur la feuille présente une certaine zonation. En effet, la partie basale de la feuille est faiblement colonisée alors que la partie centrale est majoritairement colonisée par des algues brunes encroûtantes et des algues rouges seules, et qu'on retrouve ces mêmes algues en associations avec d'autres au niveau de la zone apicale

(Mazzella *et al.*, 1995). La quantité de macro-algues épiphytes présente sur les feuilles varie également en fonction de la profondeur (maximum à 10m, Lepoint *et al.*, 1999, Dauby *et al.*, soumis), de la saison et dépend de la concentration en nutriments du milieu (croissance exacerbée en cas d'eutrophisation ; Heck *et al.*, 2003) ainsi que de la quantité de lumière qui atteint les feuilles (Lepoint *et al.*, 1999, Dauby *et al.*, soumis). D'ailleurs, dans les zones où la quantité de lumière est faible, les macro-algues sont dominées par la faune épiphyte (Lepoint *et al.*, 1999).

Il faut également signaler que ces algues, au moins au niveau des régions les moins vieilles, sont plus abondantes au niveau des bords de la feuille (Trautman & Borowitzka, 1999).

Les principales macro-algues que l'on rencontre sur les feuilles de posidonies sont des corallinacées (algues rouges) encroûtantes telles les Mélobésiées, ainsi que l'algue brune encroûtante *Ascocyclus orbicularis*. Le pourcentage de couverture de ces algues augmente avec la distance par rapport à la ligule et elles constituent un espèce de tapis sur lequel d'autres algues épiphytes (algues dressées) pourront se développer (Mazzella & Russo, 1989 ; Mazzella *et al.*, 1995 ; Jacquemart, 2003).

Dans la succession qui préside à l'installation des épiphytes sur les feuilles de posidonies, ces algues encroûtantes apparaissent relativement rapidement (après environ une semaine ; Novak, 1984) et font donc partie des premiers colonisateurs (Trautman & Borowitzka, 1999). Les feuilles de posidonies constituent également un habitat privilégié pour certaines algues très photophiles, que l'on trouve principalement dans des zones situées entre 0 et 10 m, telles les algues brunes dressées *Castagnea cylindrica*, *Castagnea irregularis* et *Giraudia sphaclarioides*. Des chlorophycées et des cyanophycées peuvent également être observées mais leur abondance est moindre (Boudouresque & Meneisz, 1982 ; Mazzella & Russo, 1989 ; Lepoint *et al.*, 1999 ; Piazzini *et al.*, 2000 ; Procaccini *et al.*, 2003 ; Jacquemart, 2003).

Comme signalé précédemment, les algues entrent en compétition avec les diatomées et les bactéries (Novak, 1984) et sont soumises à une forte pression de broutage par les herbivores associés à l'herbier. Ceux-ci se nourrissent principalement des algues, ce qui permet le contrôle de cette importante biomasse algale, dont la productivité est en moyenne 2,5 fois supérieure à celle de *P. oceanica* (Bell *et al.*, 1984 ; van Montfrans, 1984 ; Mazzella & Russo, 1989 ; Mazzella *et al.*, 1995 ; Alcoverro *et al.*, 1997 ; Dauby *et al.*, soumis).

En plus de son rôle dans les chaînes trophiques, la flore épiphyte présente un autre intérêt pour les organismes associés à l'herbier de posidonies car elles augmentent l'espace habitable par la faune et piègent les particules qui pourront servir à la nutrition de certains de ces organismes (Bell *et al.*, 1984).

2.2.4 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). Ces deux derniers groupes sont d'ailleurs les groupes dominants de l'épifaune des feuilles de posidonie, auxquels sont parfois ajoutés les foraminifères (Chimenz *et al.*, 1989). Cette épifaune apparaît un peu après l'installation des algues encroûtantes et certains organismes plus précoces peuvent même apparaître après environ une semaine (Novak, 1984).

Comme pour les organismes épiphytes cités précédemment, on observe une variation saisonnière marquée en ce qui concerne les différentes espèces de la communauté animale épiphyte ainsi que des variations bathymétriques dans la composition de cette communauté (Chimenz *et al.*, 1989 ; Balancier, 2004).

Bien que dominée par la flore épiphyte dans les régions de faibles profondeurs (seulement un tiers de la biomasse épiphytique entre 0 à 10 m), la faune épiphyte peut représenter plus de 50% de la biomasse totale des épiphytes dans les régions les plus profondes, où peu d'algues se développent (Lepoint *et al.*, 1999).

Parmi les polychètes présents à la surface des feuilles de posidonies, on trouve principalement des polychètes tubicoles comme les organismes appartenant aux genres *Spirorbis* et *Pomatoceros*. On trouve également des annélides polychètes errants mais formant des tubes muqueux sur les feuilles (*Spermosyllis terrulosa*, *Leptonereis glauca* ; Kerneis, 1960).

Chez les hydrozoaires, quant à eux, on trouve certaines espèces typiquement inféodées aux feuilles de posidonies comme *Plumularia obliqua* (anciennement *Monothecha posidoniae*), *Sertularia perpusilla*, *Aglaophenia harpago*, *Campanularia asymetrica*, *Cordylophora pusilla*

ainsi que *Laomedea angulata* (Kerneis, 1960 ; Boero, 1981). Leurs périodes d'abondances maximale et minimale ont lieu en mars et en août, respectivement. On voit donc que la période de l'année joue un rôle important pour ces animaux (Boero, 1981 ; Roca *et al.*, 1991). De plus, le film microbien joue, également, un rôle important pour l'installation des larves (Orlov, 1996).

Etant donné l'importance relative des foraminifères et des bryozoaires nous nous sommes attardés sur ces deux groupes.

2.2.4.1 Les foraminifères

Les foraminifères sont des organismes unicellulaires possédant un ou plusieurs noyaux et sont souvent inclus dans un test calcifié. Cependant, certains d'entre eux possèdent un test qui est dit agglutiné car constitué des débris divers, organiques ou minéraux. Les parties du corps de l'animal les plus visibles sont les pseudopodes, filaments protoplasmiques qui peuvent s'étendre sur des distances beaucoup plus longues que l'animal et qui sont impliqués dans la locomotion et la prise de nourriture (Murray, 1979 ; Lécointre & Le Guyader, 2001).

Bien que plus connu pour leur utilisation dans la datation des couches géologiques, les foraminifères vivent pourtant dans le milieu marin. On peut les trouver sur différents types de substrats (à la surface ou dans le sédiment, sur les rochers, sur des coquillages ou encore sur des plantes) et dans des milieux aussi différents que les sources hydrothermales et les eaux littorales (même si leur distribution est limitée dans la zone intertidale). De nombreuses espèces sont également planctoniques et vivent dans la colonne d'eau (Murray, 1979 ; Jonasson & Schroder-Adams, 1996 ; Villanueva Guimerans & Cervera Currado, 1999).

Sur les feuilles de *P. oceanica*, les foraminifères se développent assez rapidement (moins de trois mois pour que la communauté soit parfaitement établie) et font partie des premiers colonisateurs (Trautman & Borowitzka, 1999). On y trouve des représentants de trois sous-ordres de foraminifères, les Miliolina, les Rotaliina et les Textulariina. Au sein de ceux-ci, les familles les plus abondantes sont les familles des Miliolidae, au sein desquels on trouve les genres *Quinqueloculina* (genre qui comprend un grand nombre d'espèces) et *Miliolinella*, Cibicidae, qui comprennent le genre *Cibicides*, les Discorbidae, avec le genre *Rosalina*, les Planorbulidae et le genre *Planorbulina* ainsi que la famille des Elphidiidae comprenant le genre *Elphidium* (Blanc-Vernet, 1984 ; Ribes & Gracia, 1991). En fait, la biocénose de

foraminifères des herbiers est caractérisées par une dominance des espèces à test épais, calcaire et perforé, mieux résistantes aux mouvements de l'eau. Il faut également souligner que les formes à test agglutiné représentent un faible pourcentage des individus rencontrés (Ribes & Gracia, 1991 ; Ribes *et al.*, 2000).

En ce qui concerne les morphotypes les plus fréquents, on trouve les types trochospiralés (*Cibicides*, *Rosalina*, *Elphidium* ; Fig. 5), suivit des types fusiformes comme les *Quinqueloculina* (Fig. 5) par exemple (Ribes *et al.*, 2000).



Fig. 5 : à gauche : morphotype trochospiralé (*Cibicides refulgens* ; Villanueva Guimerans & Cervera Currado, 1999) ; à droite : morphotype fusiforme (genre *Quinqueloculina* ; photo : D. Pête).

On trouve également d'autres familles sur les feuilles de posidonies. Celles-ci sont moins abondantes et comprennent des espèces plus typiques du sédiment comme les Rotaliidae (genre *Ammonia*) par exemple (Ribes & Gracia, 1991).

Dans l'herbier, jusque 15 m, la profondeur joue un rôle sur l'abondance des espèces (plus la profondeur est importante, plus le nombre d'espèce est grand ; Blanc-Vernet, 1984). L'importance des mouvements de l'eau influence également l'abondance de ces organismes et des variations saisonnières ainsi que bathymétriques ont également été observées (Ribes & Gracia, 1991 ; Ribes *et al.*, 2000).

2.2.4.2 Bryozoaires

Les bryozoaires sont des organismes coloniaux faisant partie des Lophophorates et leur caractéristique principale est la présence d'un lophophore. Ils vivent fixés et on peut les trouver sur à peu près n'importe quel substrat, des algues aux rochers en passant par les coquilles de mollusques. Ce sont des organismes épiphytes à part entière, qui se nourrissent en filtrant (Meglitsch & Schram, 1991 ; Lecoindre & Le Guyader, 2001).

Chaque individu qui appartient à une colonie de bryzoaire est appelé zoïde et lorsqu'une colonie s'installe sur un substrat, le premier zoïde qui apparaît est appelé ancestrula. Il s'agit en fait du fondateur de la colonie et il présente une morphologie distincte des autres membres de celle-ci. Ce n'est qu'à partir de cet organisme que la colonie pourra d'étendre. Cependant, des espèces différentes de bryzoaires peuvent avoir des ancestrulae semblables, ce qui rend les déterminations difficiles aux stades primaires de la colonisation. Généralement, on peut quand même faire la différence entre les ancestrulae des classes, ordres et sous-ordres différents (Zabala & Maluquer, 1988 ; Meglitsch & Schram, 1991).

On distingue, au niveau des classes, les Phylactolaemata (bryzoaires d'eaux douces non calcifiés), les Stenolaemata (squelette calcaire tubulaire et individus plus ou moins fusionnés dans la colonie) et les Gymnolaemata (formes et structures diverses, colonies pouvant être polymorphiques avec la présence d'organismes spécialisés qui communiquent entre eux par l'intermédiaire de pores interzoéciaux).

Parmi les Stenolaemata, on ne retiendra que les Cyclostoma dont les représentant principaux sur les feuilles de posidonies sont *Lichenopora radiata*, *Disporella hispida* et *Tubulipora flabellaris* (Kerneys, 1960 ; Zabala & Maluquer, 1988 ; Meglitsch & Schram, 1991).

En ce qui concerne les Gymnolaemata, on distingue deux ordres : les Cténostomata (exosquelette non calcifié, plutôt membranaire ou chitineux, dont l'orifice ne porte pas d'opercule) et les Cheilostomata (exosquelette formant une sorte de "boîte" autour de chaque individu ; Zabala & Maluquer, 1988 ; Meglitsch & Schram, 1991).

Au sein de ces Cheilostomata, on distingue encore trois sous-ordres : les Anasca (face frontale formée d'une paroi membraneuse non calcifiée), les Ascophora (face frontale calcifiée mais présentant un orifice appelé ascus, utilisé dans le mécanisme d'évagination et de rétraction du lophophore) et enfin les Cribrimorpha (forme caractéristique de l'exosquelette, provenant de la fusion complète ou non de plaques calcaires appelées costules ; Zabala & Maluquer, 1988).

Sur les feuilles de posidonies, la majorité des bryzoaires sont des Cheilostomata Ascophora (comme *Chorizopora brognartii*), bien qu'une des espèces les plus abondantes soit le Cheilostomata Anasca *Electra posidoniae*, espèce, comme son nom l'indique, inféodée aux feuilles de posidonies (Kerneys, 1960 ; Matricardi *et al.*, 1991 ; Procaccini *et al.*, 2003). Les autres Cheilostomata fréquemment observés sont *Microporella johanna*, *Fenestrulina*

malusii, *Scupocellaria scrupea* et *Aetea* sp. (Kerneis, 1960 ; Balduzzi, 1991).

2.3 Utilisation de l'herbier et de la posidonie comme indicateurs des perturbations de l'environnement

Selon de nombreux auteurs (Pergent *et al.*, 1999 ; Guidetti & Fabiano, 2000 ; Moreno *et al.*, 2001 ; Duarte, 2002 ; Ferrat *et al.*, 2003 ; Pasqualini *et al.*, 2003 ; Pergent-Martini *et al.*, 2005), l'herbier de posidonies peut être utilisé efficacement comme indicateur de perturbations du milieu côtier méditerranéen. En effet, étant donné son importance au sein de cet écosystème, l'étude des réactions de l'herbier vis-à-vis des perturbations auxquelles il est soumis permettrait d'obtenir des outils très utiles pour évaluer le degré et les types de pollutions qui affectent le littoral méditerranéen. Une meilleure gestion des problèmes liés à ces pollutions pourrait alors être mise en place plus facilement.

L'herbier peut être utilisé de différentes manières pour évaluer l'effet d'une perturbation sur le milieu marin et une des méthodes les plus utilisées consiste à estimer la vitalité de l'herbier selon les conditions environnementales (Pergent-Martini *et al.*, 2005). Pour cela, on peut évaluer sa densité (nombre de faisceaux de posidonies par unité de surface) et la comparer avec l'échelle qualitative mise au point par Giraud (1977), mais aussi déterminer la composition et la biométrie des feuilles (nombre de feuilles, longueur, largeur, surface foliaire, biomasse), tout en séparant parfois les feuilles adultes (constituée du pétiole et du limbe), des feuilles intermédiaires (pas de pétiole bien développé et longueur supérieure à 5 cm) et des feuilles juvéniles (pas de pétiole bien développé et longueur inférieure à 5 cm), comme préconisé par Giraud (1979). La présence de tissus nécrosés (bruns) ou mangés par les herbivores (calcul du coefficient A = pourcentage de feuilles sans apex) peuvent également être utilisés. Ce type d'étude donne des résultats fiables, n'est pas difficile à mettre en place et présente, en plus, l'avantage énorme d'être relativement bon marché. De nombreux auteurs ont d'ailleurs utilisé cette méthode, que ce soit pour évaluer l'impact d'exploitations aquacoles (Delgado *et al.*, 1999; Pergent *et al.*, 1999 ; Ruiz *et al.*, 2001), l'état de santé de certains herbiers (Piazzi *et al.*, 2000 ; Moreno *et al.*, 2001 ; Gobert *et al.*, 2003), l'effet de rejets urbains ou industriels (Balestri *et al.*, 2004) ou encore pour estimer l'état de reconstitution d'un herbier après l'arrêt d'une perturbation (González-Correa *et al.*, 2005).

Pour évaluer la santé d'un herbier, on peut également utiliser des techniques de datations

(Pergent-Martini *et al.*, 2005), dont deux sont principalement utilisées : la lépidochronologie, qui est basée sur une variation cyclique annuelle de l'épaisseur des écailles de posidonies, et la distance internodale, c.-à-d. entre les points d'insertion de deux écailles successives. Ces méthodes permettent d'évaluer le nombre de feuilles produites annuellement, la vitesse de croissance des rhizomes, la production primaire et permettent d'apprécier le nombre de floraisons antérieures ("paléofloraisons") d'une pousse de *P. oceanica*, ce qui permet ainsi d'avoir une idée de l'intensité de la reproduction sexuée.

En ce qui concerne leur utilisation dans le contrôle de l'herbier, ces méthodes ont été plébiscitées par Delgado *et al.* (1999), entre autres techniques, pour évaluer l'impact d'une aquaculture, par Balestri *et al.* (2004) pour des rejets urbains et industriels, par Guidetti & Fabiano (2000) et Guidetti (2001) pour étudier l'effet d'apports terrigènes sur l'herbier et par Pergent & Pergent-Martini (1991) et Pergent *et al.* (1997), simplement pour évaluer la production primaire d'un herbier et le cycle de renouvellement des feuilles. Encore une fois, ces techniques coûtent relativement peu cher et sont faciles à mettre en place.

La production primaire de l'herbier, paramètre important également pour l'évaluation du degré de perturbation de l'écosystème, peut être estimée par d'autres techniques, comme la méthode de Zieman (voir matériel et méthodes) et la mesure de l'intensité de la photosynthèse (par la quantité d'oxygène produite ou par la méthode au carbone 14; Delgado *et al.*, 1999 ; Ruiz *et al.*, 2001 ; Dauby *et al.*, soumis).

La mesure des limites inférieures et supérieures des herbiers constitue, elle aussi, un bon outil pour suivre les modifications d'un herbier, bien qu'étant en général difficile à mettre en place. Diverses méthodes existent et permettent une cartographie des biocénoses, ce qui s'avère très utile pour évaluer le recul ou la croissance d'un herbier dans divers cas de figure comme l'impact de l'eau douce, l'exploitation des ressources naturelles (aquaculture, chalutage,...), les activités côtières (plaisance, ports) et les différents types de rejets aboutissant dans le milieu marin (Pasqualini *et al.*, 1999). Parmi les techniques que l'on peut utiliser, on trouve : la disposition de marques fixes à la limite inférieure et/ou à la limite supérieure d'un herbier à un moment donné et la comparaison de ces marques avec la limite observée quelque temps après, la méthode des transects, la photographie aérienne, le sonar latéral et la "bouée intelligente" à GPS (Pasqualini *et al.*, 1998 a,b ; Pasqualini *et al.*, 1999 ; Ballesta *et al.*, 2000 ; Piazzini *et al.*, 2000 ; Sgorbini *et al.*, 2002 ; Pergent-Martini *et al.*, 2005).

Une autre manière d'utiliser la limite de l'herbier dans le cadre d'une surveillance consiste à examiner le type de limite de celui-ci. Pour cela, une échelle qualitative a été établie par Meneisz & Laurent (1978).

La matre constitue également un bon indicateur de la qualité du milieu et l'étude de sa structure, de la composition physico-chimique de son sédiment (Pergent *et al.*, 1999 ; Gobert *et al.*, 2003), de la diversité de l'endofaune qui l'habite ou encore de la situation des rhizomes (s'ils sont enfouis ou déchaussés) donne de nombreuses indications sur l'état de l'herbier (Ballesta *et al.*, 2000 ; Pergent-Martini *et al.*, 2005).

Les organismes vivant fixés à différents substrats durs sont également fréquemment utilisés comme indicateurs de perturbations et ont fait leurs preuves (Saiz-Salinas & Urkiaga-Alberdi, 1999 ; Urkiaga-Alberdi *et al.*, 1999). C'est pourquoi, l'étude de la couverture épiphytque et de la faune associée à l'herbier, sont des méthodes très usitées. Celles-ci sont faciles à mettre en place mais demandent malheureusement plus de temps que les méthodes citées précédemment. Elles ont, entre autres, été utilisées par Piazzzi *et al.* (2000) pour évaluer les conditions écologiques des herbiers de l'île d'Elbe, par Ruiz *et al.* (2001) et Delgado *et al.* (1999) pour estimer l'effet d'exploitations aquacoles, par Piazzzi *et al.* (2004) pour évaluer l'impact de perturbations anthropiques. Ces méthodes, basées soit sur une comparaison des biomasses entre zones d'herbier différentes, soit sur la comparaison des espèces présentes à différents endroits (richesse spécifique, abondance relative, absence/présence de certaines espèces,...), est très efficace pour mettre en évidence la qualité de l'eau et le degré d'eutrophisation du milieu. De plus, le fait que les organismes utilisés ici ont un cycle de vie plus court que la posidonie fait d'eux des indicateurs de pollution de choix. En effet, les impacts de la pollution sont susceptibles de se faire sentir plus tôt chez eux que chez la plante.

Livingston (1984) a d'ailleurs pu mettre en évidence une réorganisation des communautés biologiques des herbiers du Golfe du Mexique touchés par l'anthropisation. Celles-ci sont, alors, caractérisées par une grande dominance de certaines espèces, une faible richesse spécifique et une faible abondance numérique par rapport aux communautés témoins, ce qu'ont également pu observer Chimenz *et al.* (1989). Cependant, l'utilisation des épiphytes comme indicateurs de perturbations est compliquée par la présence d'une variation saisonnière (Livingston, 1984 ; Pergent-Martini *et al.*, 2005).

D'autres méthodes existent encore, même si elles sont moins utilisées. Il s'agit, par

exemple, de la composition chimique et biochimique de *P. oceanica* (azote, carbone, phosphore, hydrogène, composés phénoliques, protéines et enzymes de stress ; Cuny *et al.*, 1995 ; Ferrat *et al.*, 2003 ; Dumay *et al.*, 2004 ; Lepoint *et al.*, 2004 ; Pergent-Martini *et al.*, 2005 ; Dauby *et al.*, soumis) et de l'analyse de contaminations par divers métaux traces (Pergent *et al.*, 1999 ; Pergent-Martini *et al.*, 2005). Moreno *et al.* (2001) ont, quant à eux, établi un indice de conservation permettant d'évaluer l'état de conservation d'un herbier. Cet indice est basé sur les pourcentages de couverture du fond par des posidonies vivantes et par des posidonies mortes.

2.4 Les feuilles artificielles

Les feuilles artificielles ont déjà été utilisées dans de nombreuses études et on leur reconnaît certaines qualités en ce qui concerne la modélisation de la constitution des communautés épiphytes (Barber *et al.*, 1979 ; Horner, 1987 ; Lethbridge *et al.*, 1988 ; Pinckney & Micheli, 1998 ; Bologna *et al.*, 1999 ; Trautman & Borowitzka, 1999 ; Ribes *et al.*, 2000 ; Lee *et al.*, 2001) et des réactions de celles-ci vis-à-vis des caractéristiques de leur environnement (Cattaneo & Kalff, 1978 ; Barber *et al.*, 1979 ; Pinckney & Micheli, 1998 ; Bologna & Heck., 1999).

En fait, leur utilisation présente plusieurs intérêts non négligeables. Premièrement, on peut les placer un peu partout, sans trop de contraintes, ce qui permet, par exemple, d'étudier les épiphytes partout où on le souhaite (Barber *et al.*, 1979 ; Lee *et al.*, 2001). Deuxièmement, elle ne nécessite pas de dégradations du milieu naturel (pas de prélèvement de plantes ou d'algues), ce qui est un avantage lorsque l'on étudie des environnements fragilisés ou protégés. Troisièmement, elles sont généralement constituées d'une substance inerte, ce qui permet d'évaluer les interactions biologiques éventuelles entre les communautés épiphytes et la plante hôte (production ou sécrétion de certaines substances, symbiose, inhibition ; Cattaneo & Kalff, 1978 ; Horner, 1987 ; Pinckney & Micheli, 1998 ; Bologna & Heck, 1999 ; Ribes *et al.*, 2000). Et, quatrièmement, elles permettent de contrôler certains paramètres comme la densité des faisceaux, la longueur des feuilles et donc la surface disponible pour la colonisation (Bologna *et al.*, 1999 ; Trautman & Borowitzka, 1999 ; Lee *et al.*, 2001).

3. Objectifs

Ce travail s'inscrit dans la recherche d'indicateurs précoces de perturbations du milieu côtier méditerranéen. Comme l'herbier de posidonies est un des piliers de cet écosystème, il représente un outil de choix pour l'étude de ces perturbations. Cependant, la posidonie étant une plante à croissance relativement lente (même par rapport aux autres phanérogames marines), il est souvent trop tard lorsque les effets d'une pollution se font sentir dans l'herbier. Dès lors, il semble nécessaire de trouver des méthodes de diagnostic plus précoces. Dans ce cadre, les épiphytes, qui ont un turnover plus rapide, sont des outils potentiels de détection précoce de la pollution.

Cependant, l'utilisation de faisceaux de posidonies directement prélevés dans le milieu de l'étude peut être difficile car on ne peut pas contrôler des paramètres comme l'âge de la feuille (où plutôt sa durée de contact avec le milieu extérieur), la longueur de feuilles, la densité des feuilles dans un faisceau ou la densité de faisceaux et surtout, les faisceaux de posidonies sont localisés à un endroit précis et on ne peut les déplacer. Pour répondre à cela, une solution est l'utilisation de feuilles artificielles mais, avant de les utiliser, il faut être certains qu'elles constituent un bon modèle de feuilles de posidonies et donc, tenter de déterminer si les communautés épiphytes qui s'y installent sont bien les mêmes que celles qui s'installent sur les feuilles de posidonies.

Le but de ce travail était donc de déterminer si des feuilles artificielles pouvaient être utilisées comme modèle de feuilles de posidonies et de voir si les feuilles artificielles pouvaient être utilisées dans des études de perturbations du milieu côtier méditerranéen.

4. Matériel et méthodes

4.1 Localisation et caractéristiques du site de l'étude

Cette étude a été réalisée au niveau du port de la station de recherche scientifique STARESO (STation de REcherches Sous-marines et Océanographiques), située dans la baie de la Revellata, golfe de Calvi (42° 35' N, 8° 43' E) en Corse (Fig. 6).

Cette baie est caractérisée par la présence d'un herbier continu de *Posidonia oceanica* ayant une densité de type 2 (400 et 700 faisceau.m²; Soullard *et al.*, 1994) à 10m, selon la classification établie par Giraud (1977). Le régime hydrodynamique est relativement calme, avec des courants de surface orientés Sud-Nord (Bay, 1984), mais lorsque les vents soufflent dans la direction N-NE ou S-SW, ce régime s'intensifie.

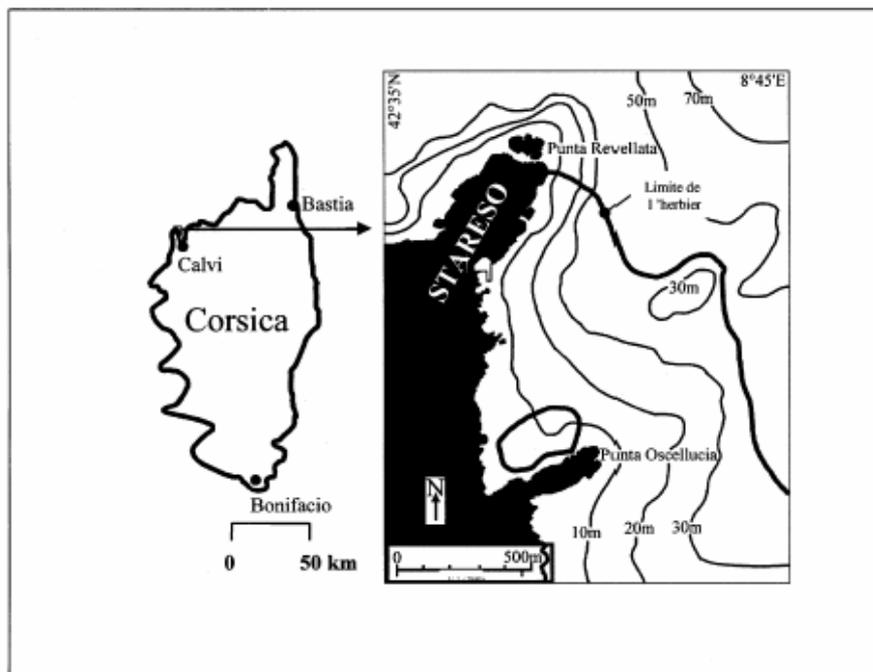


Fig. 6 : Localisation de la station de recherche STARESO (D'après Gobert *et al.*, 2003).

L'herbier présent dans le port de STARESO est soumis à de faibles perturbations d'origines anthropiques suite aux rejets des eaux usées de la station. Cependant, ces rejets ne sont abondants que lorsque la station est fort fréquentée, ce qui n'est pas le cas du mois de mars,

période à laquelle cette étude a été menée.

4.2 Echantillonnage

4.2.1 Préparation des feuilles artificielles

Des feuilles artificielles ont été immergées au sein de l'herbier du port de STARESO, à 10m de profondeur, pour une durée de 9 jours (du 6 au 15 mars 2005). Celles-ci sont constituées d'une bande de PVC d'une largeur d'un centimètre sur environ cinquante centimètres de long, munies d'un flotteur (tube Eppendorf®) et fixées par une pince à un tube lesté en PVC (Fig. 7).

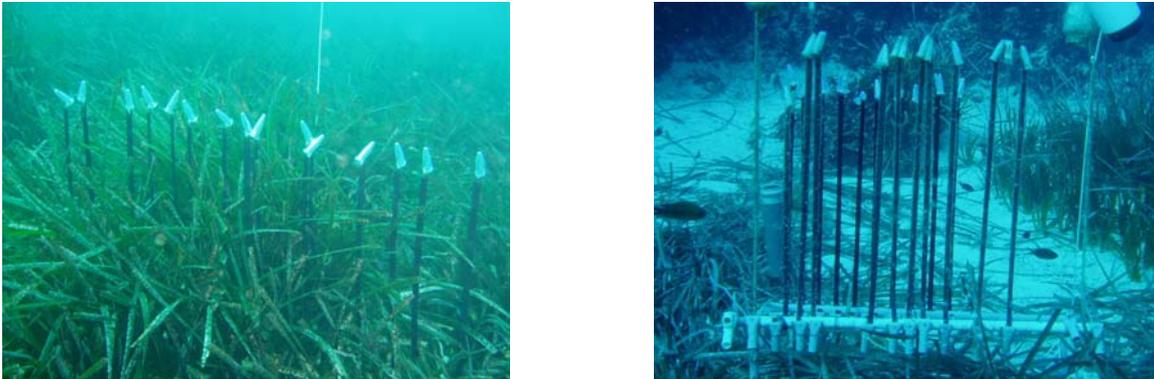


Fig. 7 : A gauche : Feuilles artificielles placées dans l'herbier du port de STARESO. A droite : vue générale d'un ensemble de feuilles artificielles immergées. (Photo : D. Vangeluwe)

4.2.2 Préparation des feuilles de *P. oceanica*

Pour que les données obtenues sur la colonisation des feuilles artificielles soient comparables à celles obtenues à partir des feuilles de la phanérogame, il importait que toutes deux aient été accessibles aux organismes épiphytes à partir du même moment. En effet, la colonisation du tissu foliaire par des microorganismes (bactéries, diatomées) commence dès le début de la croissance de la feuille.

Afin de repérer les tissus nouvellement formés durant les neuf jours d'expérience, les faisceaux de posidonies ont été marqués en suivant la méthode préconisée par Zieman (1974, *In Short and Duarte, 2001*), simultanément à l'installation des feuilles artificielles. La méthode de Zieman consiste en la perforation du faisceau de la phanérogame considérée en un point précis (ici, juste au-dessus de la ligule de la feuille la plus externe et donc la plus

vieille) qui se déplacera au fur et à mesure de la croissance de la plante. Ainsi, le morceau de la feuille la plus jeune se trouvant sous la marque est toujours le fragment qui a le "même âge" que la feuille artificielle.

En outre, cette méthode a aussi permis d'évaluer la croissance moyenne des différentes feuilles de posidonies pendant toute la durée de notre expérience, en prenant pour point de repère la feuille la plus vieille puisqu'elle ne croît plus ou peu.

4.2.3 Technique de prélèvement

Chaque jour (de T1 jusque T9), une pousse de *P. oceanica* marquée et une feuille artificielle ont été prélevées et placées *in situ* dans des sacs en plastique, afin de préserver les organismes épiphytes.

4.2.4 Méthode de préparation des échantillons pour l'observation

Dès leur remontée à la surface, les feuilles artificielles et les feuilles naturelles ont été préparées en vue de leur observation à la loupe binoculaire.

La feuille artificielle a été découpée en fragments de 5 cm² qui ont été observés sur place à la loupe binoculaire ou placés dans des récipients contenant du formol 5%, en vue d'une observation ultérieure des macroépiphytes, à l'instar du fragment de feuille naturelle situé sous la perforation. Les morceaux de feuilles naturelles n'ayant pas pu être observés sur place ont quant à eux été congelés.

4.3 Observation des organismes épiphytes à la loupe binoculaire

Les observations réalisées à la loupe binoculaire ont consisté en un comptage des organismes présents en fonction de la surface (nombre d'organismes.cm⁻²), pour les différents fragments décrits ci-dessus et pour chaque face. Pour les feuilles artificielles, il s'est avéré que les deux faces n'étaient pas identiques. Nous avons dès lors tenu compte de la différence entre les deux types de faces (face lisse et face bosselée).

La détermination a été effectuée au grossissement 50 fois et l'ensemble des organismes visibles à ce grossissement ont été comptés et déterminés jusqu'au niveau systématique maximal possible (en général le genre).

Pour réaliser ces déterminations, divers ouvrages et articles ont été utilisés :

Pour les foraminifères, la clé de Murray (1979), les articles de Ribes and Gracia (1991) et de Ribes *et al.*(2000) ainsi que les livres de Debenay *et al.* (1996) et de Riedl (2000) ont été utilisés. Pour les bryozoaires, la clé de Zabala and Maluquer (1988) nous a été très utile.

Les autres animaux rencontrés étaient uniquement déterminables au niveau de l'ordre ou de l'embranchement (taille réduite ou maturité insuffisante).

Pour les algues, une classification en groupes fonctionnels a été choisie car là aussi, la taille des organismes était souvent très réduite ou l'état de maturité insuffisant. De plus, la conservation dans le formol a altéré la coloration de ces algues, ce qui rend la détermination encore plus difficile. Les groupes fonctionnels qui ont été utilisés sont : algues encroûtantes calcifiées, algues encroûtantes non calcifiées, algues filamenteuses, algues non filamenteuses et algues en formation (pour les fragments de petites tailles non attribuables aux catégories précédentes).

Certains organismes impossibles à déterminer ont également été classés en catégories, lorsque cela était possible, afin de tenir compte de la totalité des organismes présents sur les feuilles. Ces catégories sont : organismes encroûtants calcifiés, organismes encroûtants non calcifiés, organismes non encroûtants calcifiés et organismes non encroûtants non calcifiés.

4.4 Analyse des données obtenues par détermination

Diverses méthodes nous ont permis d'estimer la différence entre feuilles artificielles et feuilles naturelles dont le nombre total d'organismes rencontrés, l'abondance relative des divers groupes d'organismes par rapport au nombre total d'organismes rencontrés, l'indice de diversité de Shannon-Wiener, l'équitabilité par le Pielou's evenness index et la similarité par la formule de Bray-Curtis.

L'indice de diversité de Shannon-Wiener est donné par la formule :

$$H' = - \sum_i n_i/n \times \ln n_i/n$$

Où n_i représente le nombre d'individus des i espèces (ou autre, pourvu que les groupes comparés soient de niveaux systématiques comparables) dans l'échantillon, et n le nombre

total d'individus dans l'échantillon (Karydis & Tsirtsis, 1996 ; Clarke & Warwick, 2001).

L'équitabilité, quant à elle, exprime la manière dont les individus sont répartis entre les différents groupes. Elle est mieux connue sous le terme d'évenness et est souvent utilisée en écologie pour la caractérisation de biocénoses. En fait, des échantillons montrent une grande équitabilité lorsque les différents groupes constituant ces échantillons comprennent des nombres d'individus identiques (il n'y a donc pas d'espèce dominante). Par contre, des échantillons montrent une faible équitabilité lorsque le nombre d'organismes appartenant aux différents groupes (espèce, genre,...) constituant ces échantillons sont très différents et, à fortiori, lorsqu'au moins un groupe est dominant (Karydis & Tsirtsis, 1996 ; Clarke & Warwick, 2001).

La formule de cette équitabilité est donnée par le Pielou's evenness index :

$$J' = H' / H'_{max} = H' / \log S$$

Où H' représente la diversité de l'échantillon et H'_{max} le maximum de diversité de l'échantillon. S représente le nombre total d'espèce (ou de groupes).

Ces deux indices ont été calculés par l'intermédiaire du logiciel PRIMER 5, à l'aide du composant DIVERSE.

Pour évaluer la similarité entre feuilles artificielles et feuilles de posidonies, mais aussi pour évaluer la similarité des différents fragments des feuilles artificielles, une matrice de similarité a été construite sur base du coefficient de similarité de Bray-Curtis :

$$S_{jk} = 100 \left\{ 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^p |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})} \right) \right\}$$

Où y_{ij} représente l'entrée dans le i -ème rang et la j -ème colonne de la matrice de données, c'est-à-dire l'abondance du i -ème groupe (espèce, genre,...) dans le j -ème échantillon et de la même manière, y_{ik} représente l'abondance du i -ème groupe dans le k -ème échantillon.

Seulement, nous avons choisi d'utiliser une version transformée par une racine carrée de cette formule afin de limiter l'importance des espèces dominantes par rapport aux espèces faiblement abondantes (Clarke & Warwick, 2001). Cette transformation et la matrice de similarité ont été réalisées elles aussi grâce au logiciel PRIMER 5, avec lequel une analyse en

cluster a été réalisée pour représenter la similarité par un dendrogramme (composant CLUSTER du logiciel).

5. Résultats

5.1 Comparaison de la colonisation par les épiphytes entre les parties basales des feuilles de *P. oceanica* et des feuilles artificielles

Pour comparer les parties basales des deux types de feuilles, nous avons procédé à des déterminations d'organismes. Une des premières constatations que l'on peut faire à ce sujet est que, quelle que soit la feuille ou la face de feuille considérée, on a une augmentation du nombre total d'organismes présents au cours du temps (Fig. 9). A la fin de l'expérience, nous avons d'ailleurs observé une densité d'épiphytes comprise entre 15 (pour les feuilles de posidonies) et 249 (pour la face lisse de la feuille artificielle) organismes par centimètre carré.

Le nombre d'organismes rencontrés est plus important sur les feuilles artificielles que sur les feuilles naturelles, pour un même jour, et la communauté épiphyte se développe plus rapidement sur les feuilles artificielles. En effet, si l'on observe les deux courbes correspondant à ces feuilles artificielles (Fig. 9), on voit que les densités atteignent des valeurs 7 (face lisse) à 16 (face bosselée) fois supérieures à celles obtenues pour les feuilles naturelles.

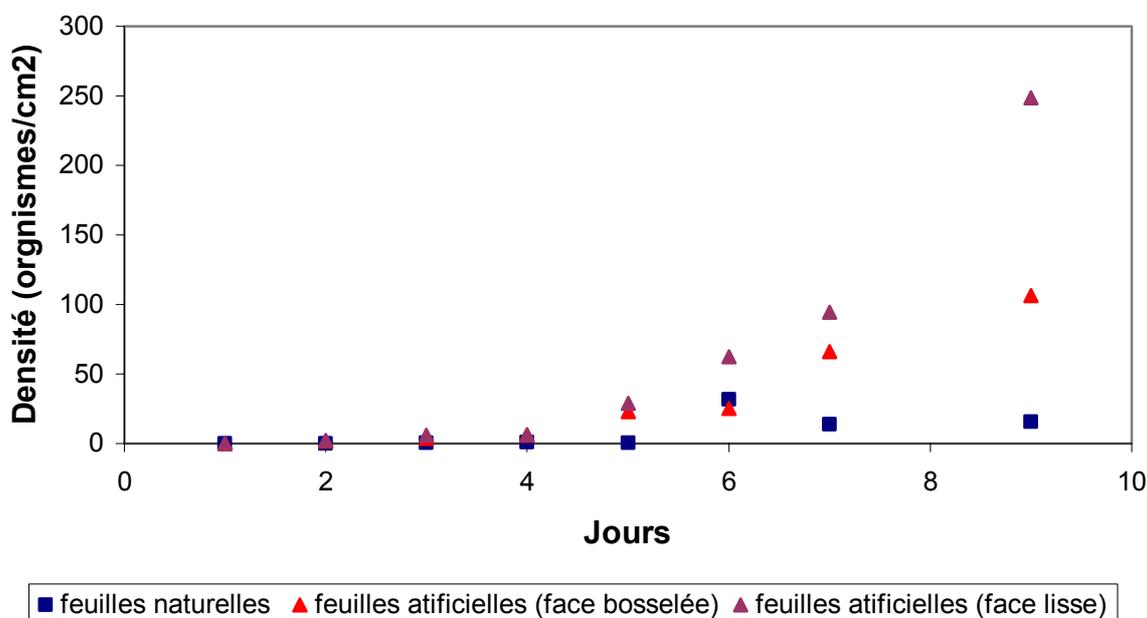


Fig. 9 : Evolution de la densité (en nombre d'organismes par cm^2) des épiphytes à la base des feuilles naturelles de *P. oceanica* et des feuilles artificielles en fonction du temps et en fonction de la face de la feuille.

5.1.1 Colonisation des deux types de feuilles par les grands taxa

En ce qui concerne la densité des grands taxa rencontrés (algues, foraminifères, bryozoaires, ciliés et nématodes), on constate que les deux groupes les plus importants au début de la colonisation et à la base des feuilles sont les algues et les foraminifères (Fig. 10 et 11). Ils représentent à eux seuls, à la fin de l'expérience, entre 82 (feuilles naturelles) et près de 100 % (feuilles artificielles) des organismes rencontrés. On voit donc qu'ils sont majoritairement responsables de l'augmentation du nombre d'épiphytes à la surface des deux types de feuilles.

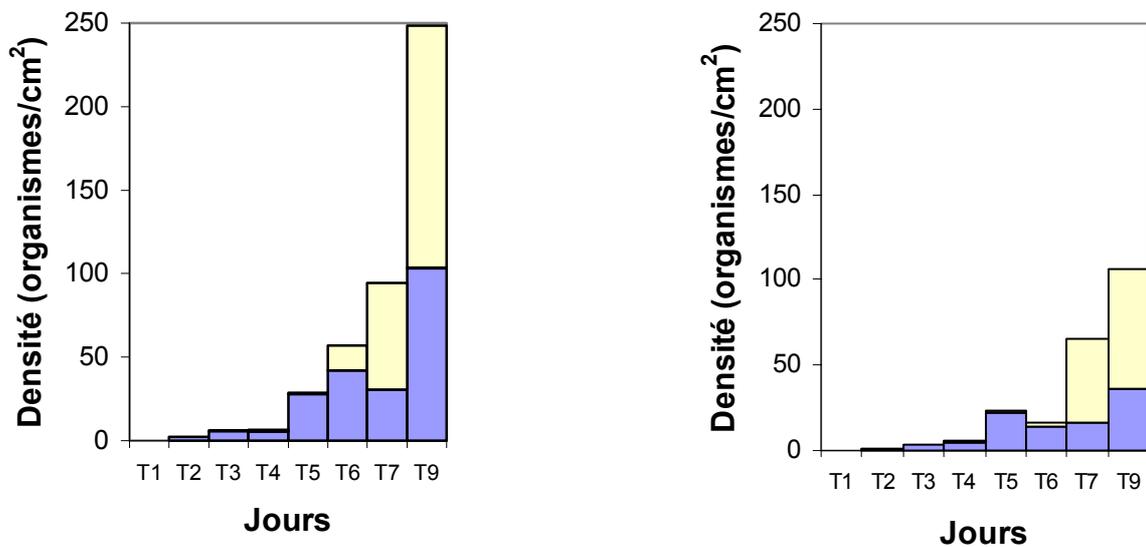


Fig. 10 : Evolution de la densité des organismes appartenant aux grands taxa (en nombre d'organismes par cm^2) en fonction du temps, sur les feuilles artificielles (gauche, face lisse ; droite, face bosselée). Le bleu représente les algues, le jaune les foraminifères, le vert pale les bryozoaires, le vert les ciliés, le mauve les nématodes et le rose, les organismes indéterminés.

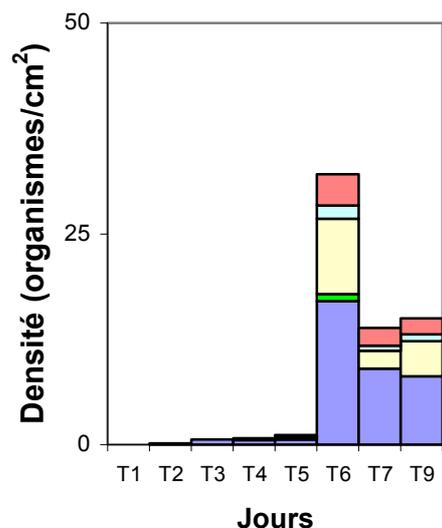


Fig. 11 : Evolution de la densité des organismes appartenant aux grands taxa (en nombre d'organismes par cm^2) en fonction du temps, sur les feuilles naturelles. Le bleu représente les algues, le jaune les foraminifères, le vert pale les bryozoaires, le vert les ciliés, le mauve les nématodes et le rose, les organismes indéterminés.

Si on examine la diversité des grands taxa, que ce soit en considérant de nombre d'organisme appartenant à chaque taxon (Fig. 10 et 11) ou en calculant un indice de diversité (Shannon-Wiener ; Fig. 12), on constate qu'elle est plus importante pour les feuilles naturelles que pour les feuilles artificielles à partir du cinquième jour.

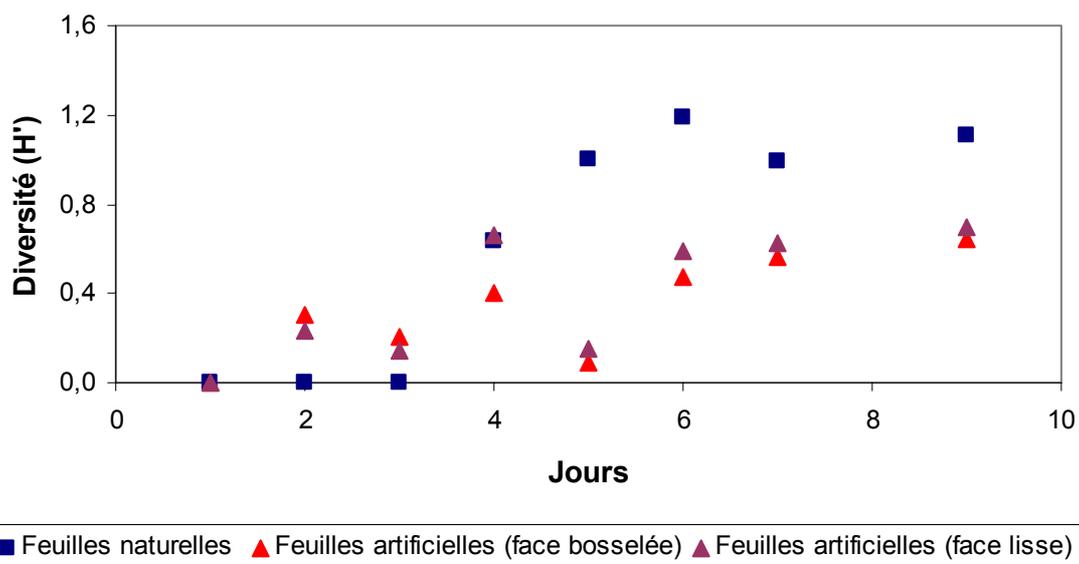


Fig. 12 : Variation de la diversité, calculée par l'indice de diversité de Shannon-Wiener, au fil des jours et en fonction de la face et du type de feuille.

Par contre, l'évolution de l'équitabilité (ou evenness, qui permet de déterminer s'il y a présence ou non d'une dominance au sein des groupes rencontrés) entre les grands taxa se présente en trois phases (Fig. 13) : au cours des deuxième et troisième jours, on ne peut que mesurer l'équitabilité qu'entre les deux faces des feuilles artificielles, puisque, sur les feuilles naturelles, il n'y a encore que les algues qui sont présentes, ce qui aboutit à des formules impossibles à calculer. On constate également que cette différence d'équitabilité est très faible entre les deux faces des feuilles artificielles jusqu'au septième jour. Du quatrième au sixième jour, une nette différence entre feuilles naturelles et artificielles apparaît, avec une équitabilité importante pour les feuilles naturelles, et donc une équivalence au niveau du nombre d'organismes appartenant aux différents groupes considérés, et une équitabilité faible, et donc une dominance d'au moins un taxons par rapport aux autres, pour les feuilles artificielles. Cependant, dès le sixième jour, on observe une tendance à la diminution de l'équitabilité pour les feuilles artificielles et à partir, du septième jour, la tendance à la diminution d'équitabilité s'accroît pour les feuilles naturelles, ce qui met en évidence un développement un peu plus important d'au moins un taxon par rapport aux autres. Cependant, on observe cette fois une nette augmentation de l'équitabilité pour les feuilles artificielles. Il n'y aurait donc plus (ou peu), à priori, de dominance d'un taxon par rapport aux autres pour ces feuilles et on constate également qu'à partir du septième jour les différences d'équitabilité entre les deux types de feuilles s'amenuisent.

En ce qui concerne la différence d'équitabilité entre les faces des feuilles artificielles, il n'y a qu'au niveau de la feuille artificielle du neuvième jour qu'elle est importante. Cela est probablement dû au fait que le nombre de foraminifère observé varie fortement suivant la face (Fig. 10).

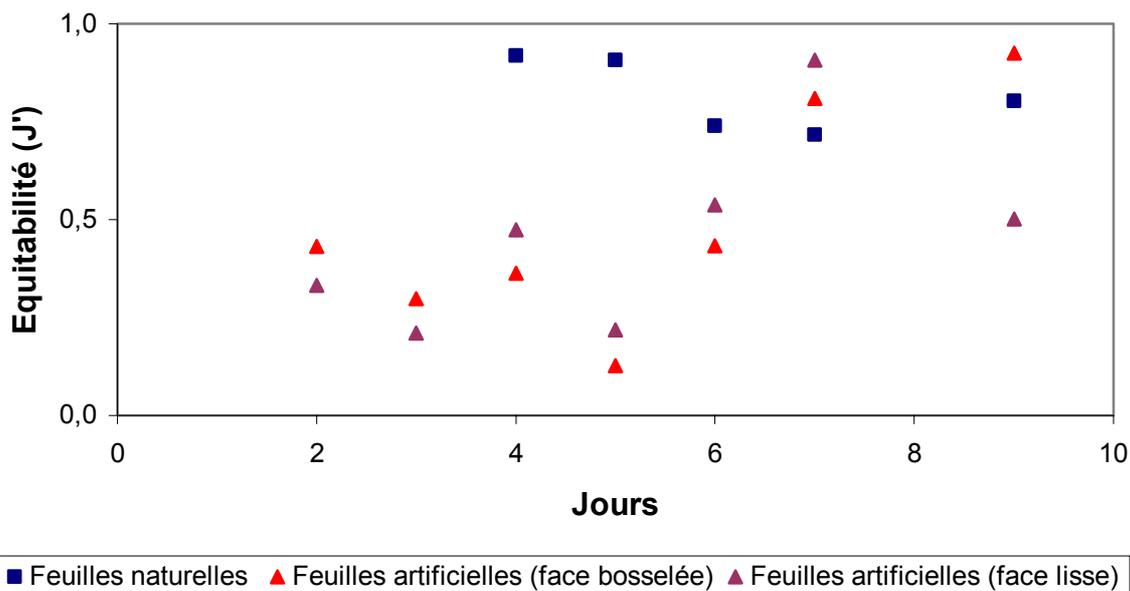


Fig. 13 : Variation de l'équitabilité, calculée sur base du Pielou's evenness index, au fil des jours et en fonction de la face et du type de feuille.

5.1.2 Répartition des organismes au sein des taxa les plus importants

Considérant la variabilité au sein des grands taxa, nous nous sommes attardés sur les deux groupes les plus rencontrés sur les feuilles naturelles et artificielles, c'est-à-dire les algues et les foraminifères.

En ce qui concerne les algues, on constate une différence importante entre les feuilles artificielles et les feuilles de posidonies (Fig.14 et 15). En effet, au niveau des feuilles artificielles (Fig. 14) on observe une dominance des algues encroûtantes calcifiées (entre 94 et 100 % des algues rencontrées) alors que pour les feuilles de posidonies, il n'y pas de réelle dominance mais une plus grande diversité (Fig. 15 et 16). En effet, on observe, à par pour les algues non filamenteuses qui sont moins abondantes, des pourcentages compris entre 10 et 40 % pour les groupes rencontrés sur les feuilles naturelles à partir du sixième jour. Si l'on analyse la figure 16, on peut même constater que la diversité algale est nulle à la base des feuilles artificielles, sauf pour le neuvième jour et qu'elle est beaucoup plus élevée pour les feuilles de posidonies.

On constate également (Fig. 14 et 15) que les algues apparaissent dès le deuxième jour sur les feuilles artificielles alors qu'elles ne sont vraiment présentes qu'à partir du sixième jour sur

les feuilles de posidonies (même si certaines commencent à apparaître au 3^{ème} jour) et que la densité est encore une fois beaucoup plus importante sur les feuilles artificielles que sur les feuilles de posidonies (103 et 11 algues par cm² de feuille, respectivement, à la fin de l'expérience, soit presque dix fois plus pour la feuille artificielle).

Ici aussi, on constate un plus grand nombre d'organismes sur la face lisse que sur la face bosselée des feuilles artificielles (36 et 103 organismes par cm² de feuille, respectivement, soit presque trois fois plus sur la face lisse).

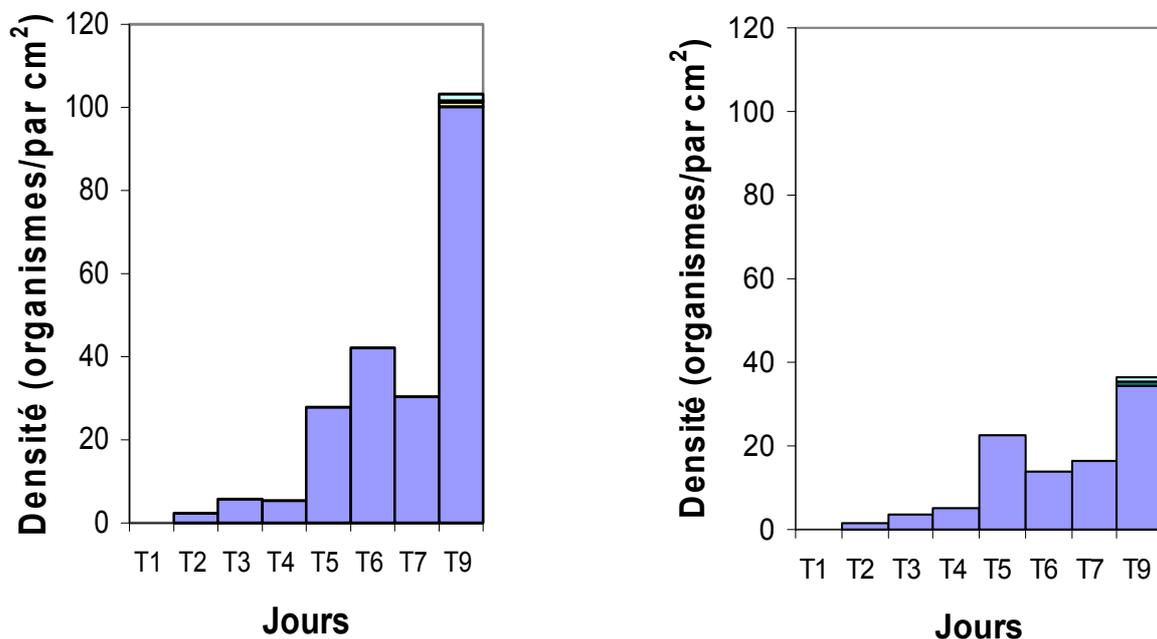


Fig. 14 : Variation de la densité des algues (en nombre d'organismes par cm²) appartenant aux différents groupes fonctionnel, au niveau de la base des feuilles artificielles en fonction des jours échantillonnés (gauche, face lisse ; droite face bosselée). En bleu : algues encroûtantes calcifiées, en vert foncé : algues filamenteuses, en jaune : algues encroûtantes non calcifiées, en vert clair : algues non filamenteuses et en mauve : algues en formation.

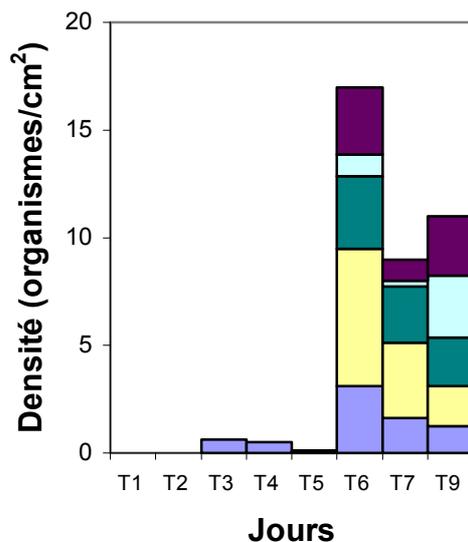


Fig. 15 : Variation de la densité des algues (en nombre d'organismes par cm^2) appartenant aux différents groupes fonctionnels, au niveau de la base des feuilles naturelles en fonction des jours échantillonnés. En bleu : algues encroûtantes calcifiées, en vert foncé : algues filamenteuses, en jaune : algues encroûtantes non calcifiées, en vert clair : algues non filamenteuses et en mauve : algues en formation.

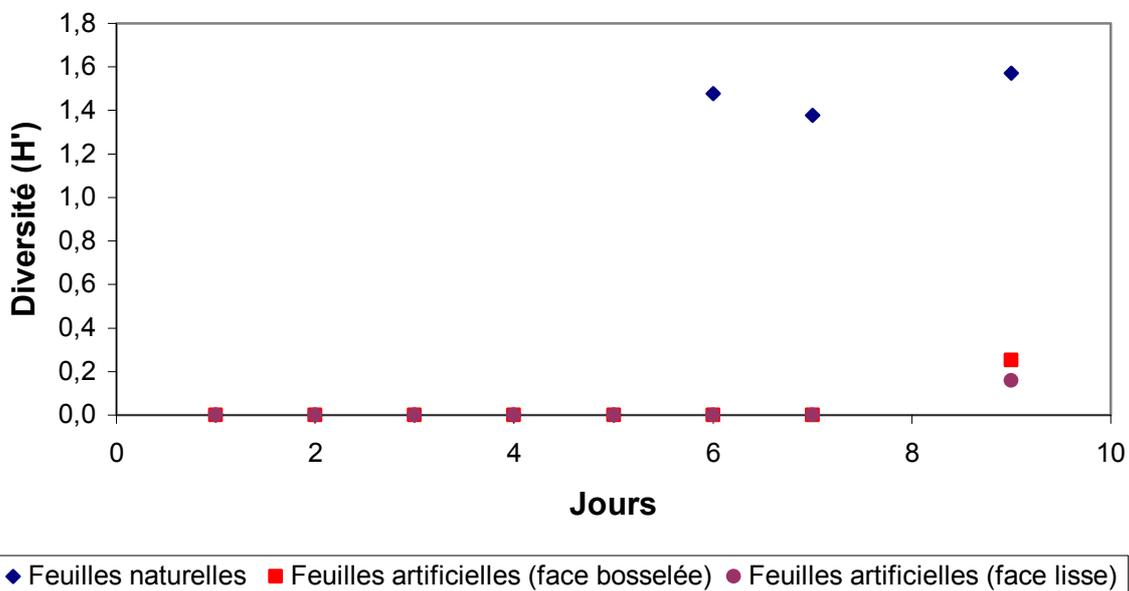


Fig. 16 : Evolution de la diversité algale, calculée par l'indice de diversité de Shannon-Wiener, au cours du temps et pour les deux faces des deux types de feuilles.

En ce qui concerne les foraminifères, on constate que la répartition des différents sous-ordres de foraminifères est semblable entre les feuilles artificielles et les feuilles de posidonies. En

effet, les deux sous-ordres comprenant la majorité des foraminifères des deux types de feuilles sont les Miliolina et les Rotaliina qui représentent à eux deux entre 41 et 92 % des foraminifères rencontrés sur les deux types de feuilles à partir du sixième jour (Fig. 17 et 18).

On observe également que pour les feuilles artificielles, la colonisation par les foraminifères débute au cinquième jour alors que pour les feuilles de posidonies, celle-ci commence réellement au sixième jour et que l'on observe des foraminifères à test agglutiné dès le troisième jour. Ce groupe des foraminifères à test agglutinés est quand à lui absent de la base des feuilles artificielles.

La colonisation par les foraminifères diffère en intensité suivant le type de feuille. En effet, on observe, à la fin de l'expérience, 4 foraminifères par cm^2 pour la feuille de posidonie, alors qu'on a entre 65 et 144 foraminifères par cm^2 pour la face lisse et la face bosselée de la feuille artificielle, respectivement, soit entre 16 et 35 fois plus !

Comme on le voit à la figure 17, l'intensité de la colonisation par les foraminifères varie également suivant la face de la feuille et est plus importante sur la face bosselée (un peu plus de deux fois plus forte).

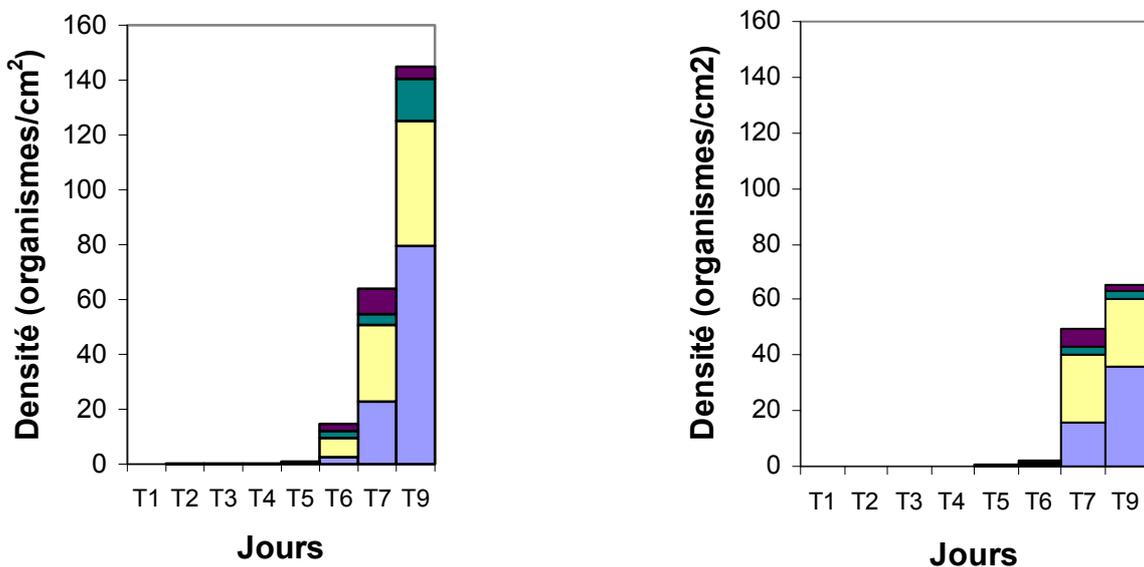


Fig. 17 : Densité (en nombre d'organismes par cm^2) des différents sous-ordres de foraminifères sur les feuilles artificielles au cours du temps. En bleu : Miliolina, en jaune : Rotaliina, en vert foncé : Textulariina ; en vert clair : foraminifères à test agglutiné, en mauve : foraminifères non identifiés.

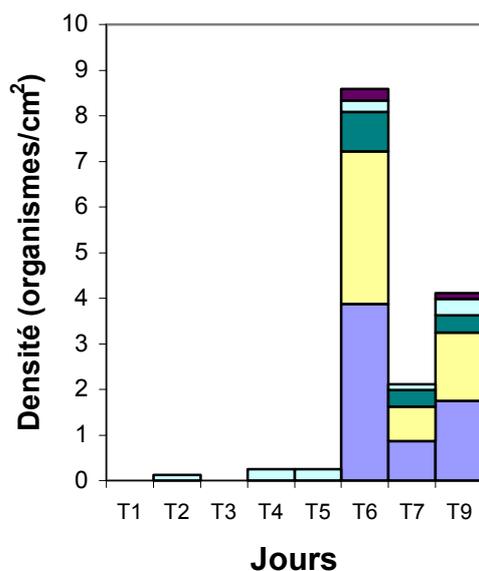


Fig. 18 : Densité (en nombre d'organismes par cm²) des différents sous-ordres de foraminifères sur les feuilles naturelles au cours du temps. En bleu : Miliolina, en jaune : Rotaliina, en vert foncé : Textulariina ; en vert clair : foraminifères à test agglutiné, en mauve : foraminifères non identifiés.

5.1.3 Analyse de la similarité entre les feuilles de posidonies et les feuilles artificielles, en tenant compte de tous les organismes observés

L'analyse de similarité de Bray-Curtis (modifiée par la racine carrée) montre (Fig. 19) une différence entre les 5 premiers jours pour les feuilles artificielles, les 4 premiers pour les feuilles naturelles, et les jours suivants (similarité inférieure à 20 %). Au sein de ces deux groupes bien séparés, on observe une différence entre les feuilles artificielles et les feuilles de posidonies.

Pour les premiers jours de la colonisation, cette séparation est caractérisée par une similarité de 35 %, même si la face bosselée du deuxième jour est placée dans le même "cluster" que les feuilles de posidonies des jours 3 et 4. De plus, dans le groupe formé des feuilles artificielles des jours 2 à 5, on voit que le cinquième jour est séparé des autres (50 % de similarité) mais qu'il est rapproché de la face bosselée du sixième jour, moins colonisée que la face lisse, ce qui marque bien la transition entre les deux grands groupes observés.

Pour les derniers jours de colonisation, la séparation entre feuilles de posidonies et feuilles artificielles est plus nette (20 % de similarité). Cela montre qu'il y a quand même une grande

différence entre les deux types de feuilles pour la fin de l'expérience.

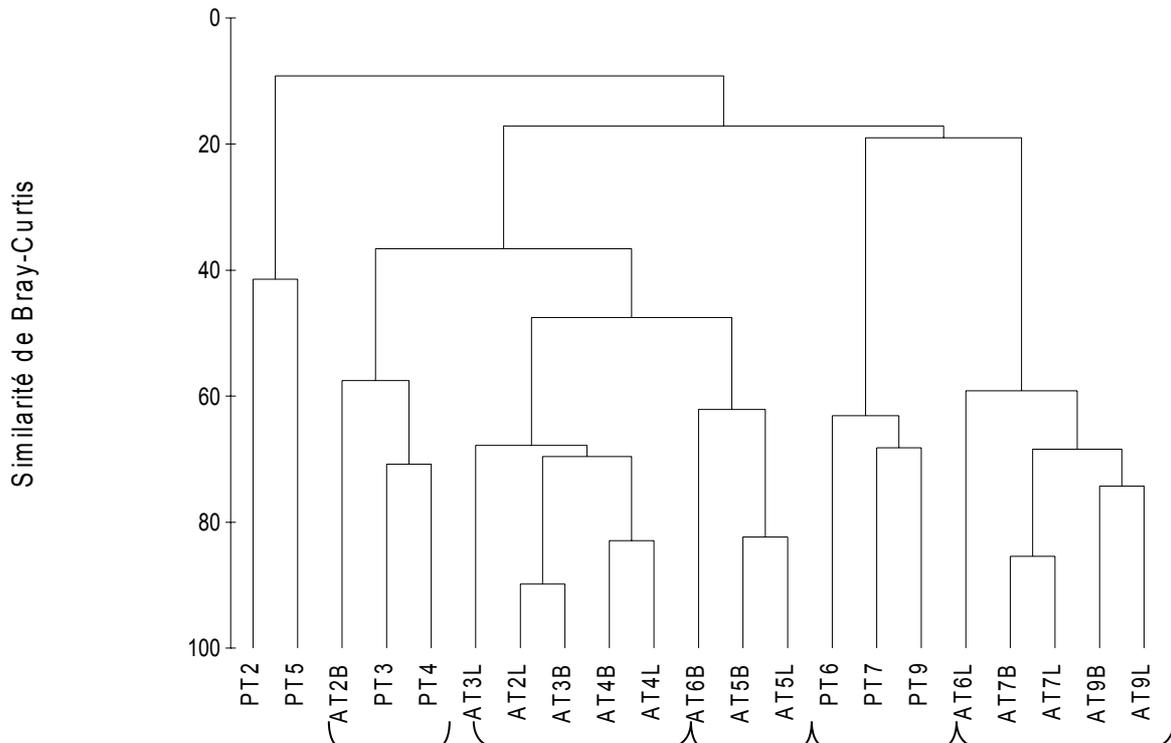


Fig. 19 : Dendrogramme de similarité obtenu par calcul de la similarité de Bray-Curtis. P : feuille de posidonie, A : Feuille artificielle, Tn : jour n, B : face bosselée, L : face lisse.

5.2 Variation de la colonisation le long des divers fragments de feuilles artificielles au cours du temps

Par une analyse de similarité, nous avons tenté de déterminer s'il existait une différence entre les différents morceaux de feuilles artificielles (0 à ~ 50 cm) au cours du temps (Fig. 20 à 26).

L'analyse de similarité pour le premier jour échantillonné n'a pas été effectuée, étant donné le peu d'organismes rencontrés sur cette feuille. Cependant, on remarque quand même que la seule région colonisée est la partie apicale de la feuille.

En ce qui concerne les autres jours, on observe une augmentation légère de la similarité entre tous les fragments de feuilles (de 60 à un plus de 75 %).

Entre les deuxième et le cinquième jours (Fig. 20 à 23), on observe une nette séparation entre les parties de la feuille comprises entre 0 et 30 cm (de 1bfb à 1afl) et les parties comprises entre 30 cm et l'extrémité, ce qui démontre qu'il existe alors une différence de colonisation entre ces diverses régions de la feuille (entre 60 et 65 % de similarité). Cependant, ce phénomène semble être moins bien marqué dès le quatrième jour (Fig. 22), et ce jusqu'au sixième (Fig.24). En fait, au cinquième jour (Fig.23), seuls les fragments compris entre 0 et 10 cm (1bfb, 1bfl, 2bfb et 2bfl) sont rassemblés dans un même groupe, ce qui voudrait dire que pour les autres, les différences de colonisation ne dépendent pas de la localisation le long de la feuille. Pour le sixième jour, par contre, seule la colonisation des fragments compris entre 10 et 25 cm semble être affectée par la localisation sur la feuille (65 % de similarité).

Enfin, pour les septième et neuvième jours (Fig. 25 et 26), une distinction en trois zones se dessine, avec séparation des zones comprises entre 0 et 15 cm, 15 et 25-30 cm et 25-30 cm et l'extrémité, ce qui pourrait faire penser à la mise en place d'une zonation sur la feuille artificielle. Cependant, il faut remarquer que la similarité entre les différents fragments de feuilles et donc les différents groupes qui en découlent est relativement élevée (plus de 75 %).

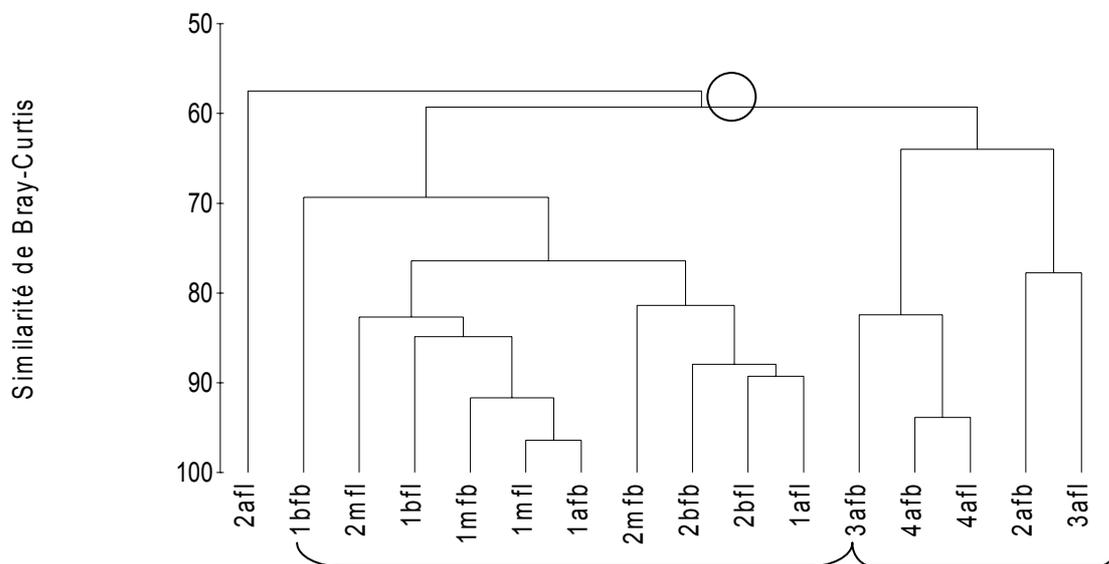


Fig. 20 : Dendrogramme de similarité entre les différentes parties de la feuille artificielle du 2^{ème} jour. 1bfb : premier morceau de 5 cm² de la base de la feuille (entre 0 et 15cm), face bosselée ; 2afl : deuxième morceau de 5cm² de la partie de la feuille comprise entre 25 cm et l'extrémité (face lisse), 2mfl : deuxième morceau de la

partie de la feuille comprise entre 15 et 25 cm (face lisse); et ainsi de suite.

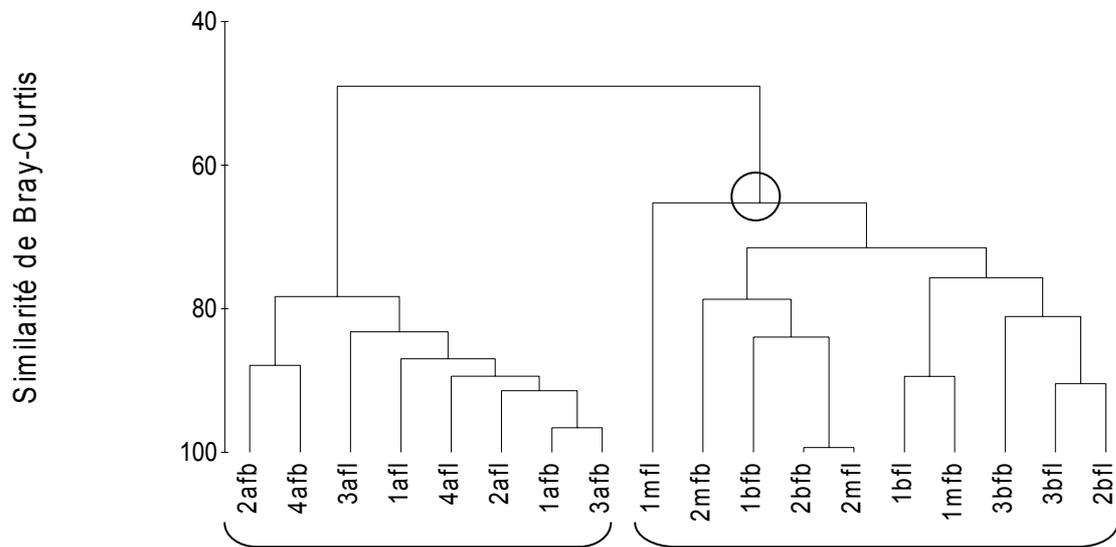


Fig. 21: Dendrogramme de similarité entre les différentes parties de la feuille artificielle du 3^{ème} jour. Pour la légende, même chose que pour T2.

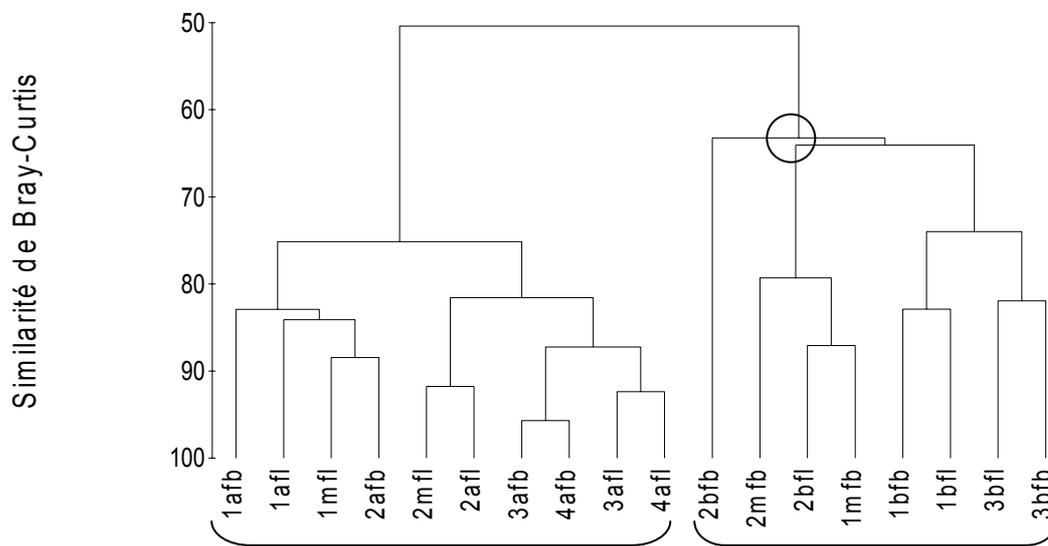


Fig. 22 : Dendrogramme de similarité entre les différentes parties de la feuille artificielle du 4^{ème} jour. Pour la légende, même chose que pour T2.

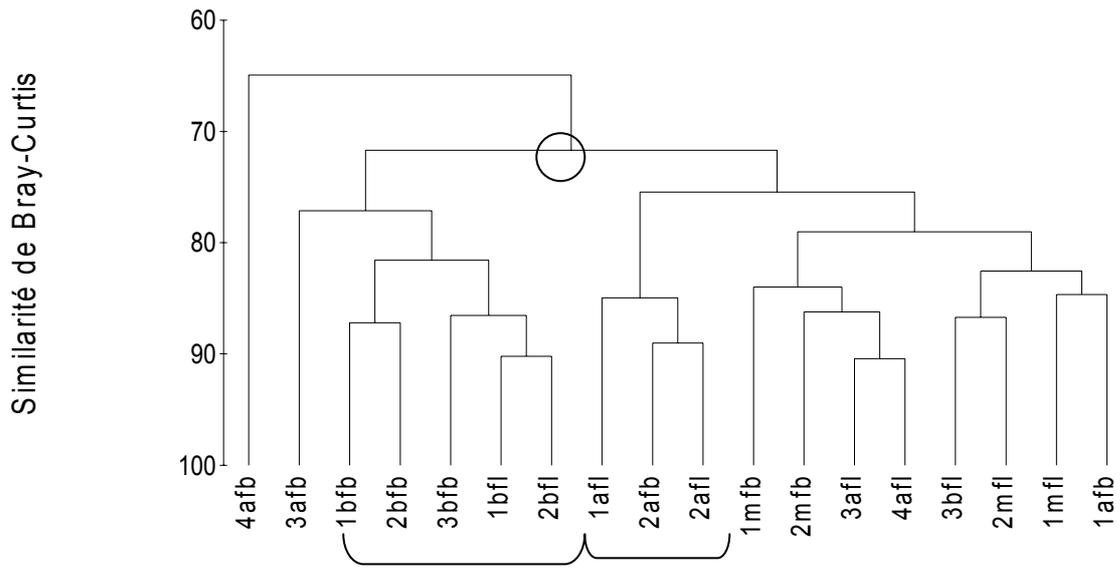


Fig. 23 : Dendrogramme de similarité entre les différentes parties de la feuille artificielle du 5^{ème} jour. Pour la légende, même chose que pour T2.

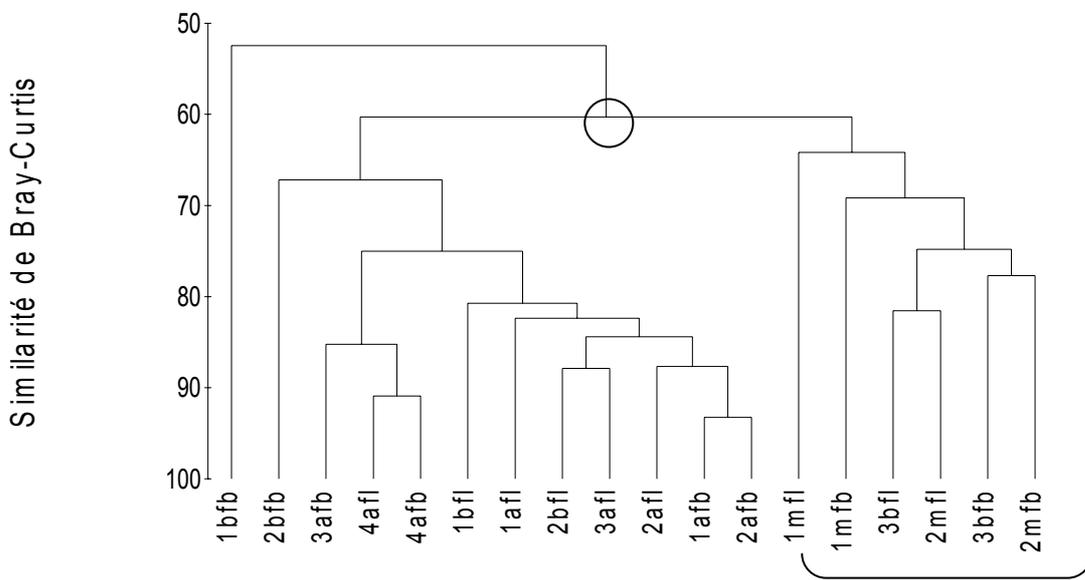


Fig. 24 : Dendrogramme de similarité entre les différentes parties de la feuille artificielle du 6^{ème} jour. Pour la légende, même chose que pour T2.

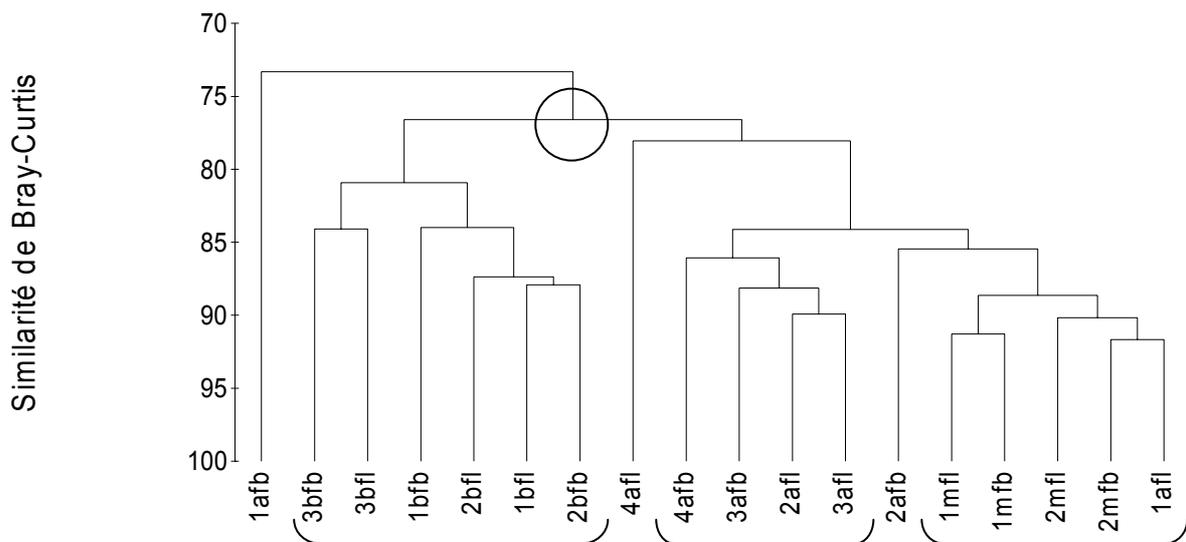


Fig. 25 : Dendrogramme de similarité entre les différentes parties de la feuille artificielle du 7^{ème} jour. Pour la légende, même chose que pour T2.

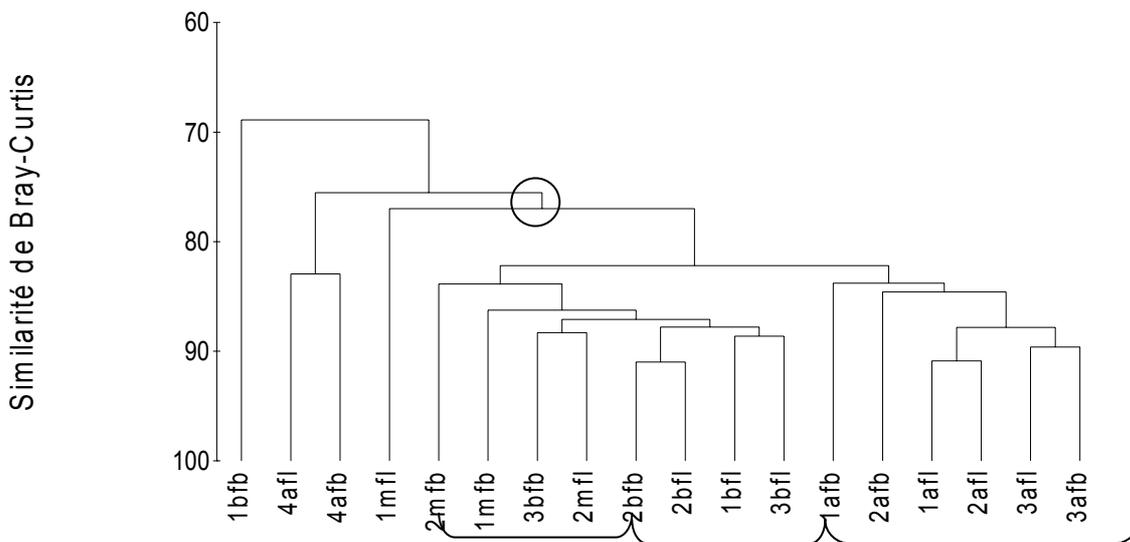


Fig. 26 : Dendrogramme de similarité entre les différentes parties de la feuille artificielle du 9^{ème} jour. Pour la légende, même chose que pour T2.

6. Discussion

6.1 Comparaison de la colonisation par les épiphytes entre les parties basales des feuilles de *P. oceanica* et des feuilles artificielles

6.1.1 Comparaison de la dynamique de colonisation au niveau des deux types de feuilles

La dynamique de colonisation des feuilles de posidonies, du moins en ce qui concerne la biomasse épiphytique, est caractérisée par une sigmoïde au cours du temps (données obtenues sur une durée d'à peu près un an par Cebrián *et al.*, 1999). Cette biomasse augmente rapidement, de manière exponentielle, puis se stabilise suite à l'établissement d'un équilibre entre la croissance des épiphytes et les pertes, par broutage principalement (van Montfrans, 1984 ; Keough, 1986 ; Casola *et al.*, 1987 ; Mazzella *et al.*, 1989 ; Alcoverro *et al.*, 1997 ; Cebrián *et al.*, 1999). Les courbes obtenues dans cette étude (Fig. 9) pour le nombre total d'organismes présents sur les deux types de feuilles ne montrent évidemment pas de forme sigmoïdale étant donné la durée relativement courte de l'expérience. En effet, elle n'a duré que 9 jours alors que Cebrián *et al.* (1999) a montré que la biomasse atteignait la partie supérieure de la sigmoïde après environ 270 jours et que Edgar (1991), pour des algues artificielles, a obtenu ce plateau un à deux mois après placement, ce qui est plus court que la durée observée par Cebrián *et al.* (1999) mais néanmoins plus long que notre période d'étude. Cependant, si l'on observe les courbes correspondant aux feuilles artificielles, on voit une augmentation très forte de la densité des organismes vers la fin de l'expérience, ce qui montre que la colonisation est dans sa phase ascendante.

Pour les feuilles de posidonies, l'augmentation de la densité des épiphytes est relativement faible pour les jours échantillonnés, par rapport aux feuilles artificielles, ce qui a aussi été mis en évidence par divers auteurs comme Mazzella *et al.* (1981, in Novak, 1984) pour la posidonie et par Cattaneo & Kalff (1978) pour *Potamogeton richardsonii* en juin et juillet (ensuite, les biomasses s'équilibrent). Bologna & Heck (1999) trouvent, quant à eux, une densité supérieure sur les feuilles artificielles par rapport aux feuilles naturelles de *Thalassia testudinum* mais uniquement pour la faune épiphyte.

Cependant, beaucoup d'études montrent le résultat inverse, c'est-à-dire une colonisation plus

importante des feuilles naturelles (Lethbrigde *et al.*, 1988 ; Pinckney & Micheli, 1998 ; Bologna & Heck, 1999, pour les algues ; Trautman & Borowitzka, 1999). En fait, ces résultats ne sont pas comparables aux nôtres car ces auteurs n'ont, soit pas tenu compte de "l'âge" des feuilles artificielles par rapport aux feuilles naturelles, soit ils n'ont pas placé les feuilles artificielles au sein même d'un herbier composé des feuilles naturelles qu'ils voulaient imiter. A partir de là, il semble donc normal qu'ils aient trouvés une densité plus faible sur les feuilles artificielles, puisque le facteur temps (et donc âge) est primordial pour comparer adéquatement deux biocénoses et que les feuilles artificielles ne sont alors pas placées dans les mêmes conditions écologiques que les feuilles naturelles (pas de limitation de l'hydrodynamisme par la canopée, pas de colonisation possible par passage des larves d'animaux d'une feuille à l'autre, par exemple).

Cette différence de densité entre les deux types de feuilles aboutit au dendrogramme de similarité, calculé pour tous les groupes d'organismes rencontrés (Fig. 19), ce qui montre bien la séparation entre feuilles naturelles et feuilles artificielles, surtout au niveau des derniers jours de l'expérience.

La différence de colonisation entre feuilles naturelles et feuilles artificielles peut, en fait, avoir deux causes principales. La première, est une différence de communauté bactérienne ou une différence dans l'état de maturité du biofilm s'installant durant les étapes précoces de la colonisation. En effet, comme expliqué précédemment, le film, formé par les bactéries, les diatomées et les divers débris organiques et minéraux, joue un rôle prépondérant pour l'installation de nombreuses larves d'animaux ainsi que pour les algues, avec lesquelles il entre en compétition pour l'espace. En ce qui concerne les animaux, il peut jouer un rôle de stimulant, n'avoir aucun effet ou agir comme inhibiteur (par production de substances chimique inhibitrices) de l'installation suivant sa composition (qui peut varier avec l'état de maturité du film) et sa densité (le mucus constitué d'exopolysaccharides d'origine bactérienne peut agir comme un piège). En fait, d'après les différentes études menées sur le développement des organismes à la surface de substrats immergés (le "fouling"), on constate que l'état de développement du film conditionne grandement la colonisation (Ryland & Crisp, 1960 ; Novak, 1984 ; Keough, 1995, 1996, 1998 ; Gu *et al.*, 1996 ; Dahms *et al.*, 2004).

Afin de comprendre pourquoi le développement de la couverture épiphytique était plus important sur les feuilles artificielles que sur les feuilles naturelles, des photographies ont été

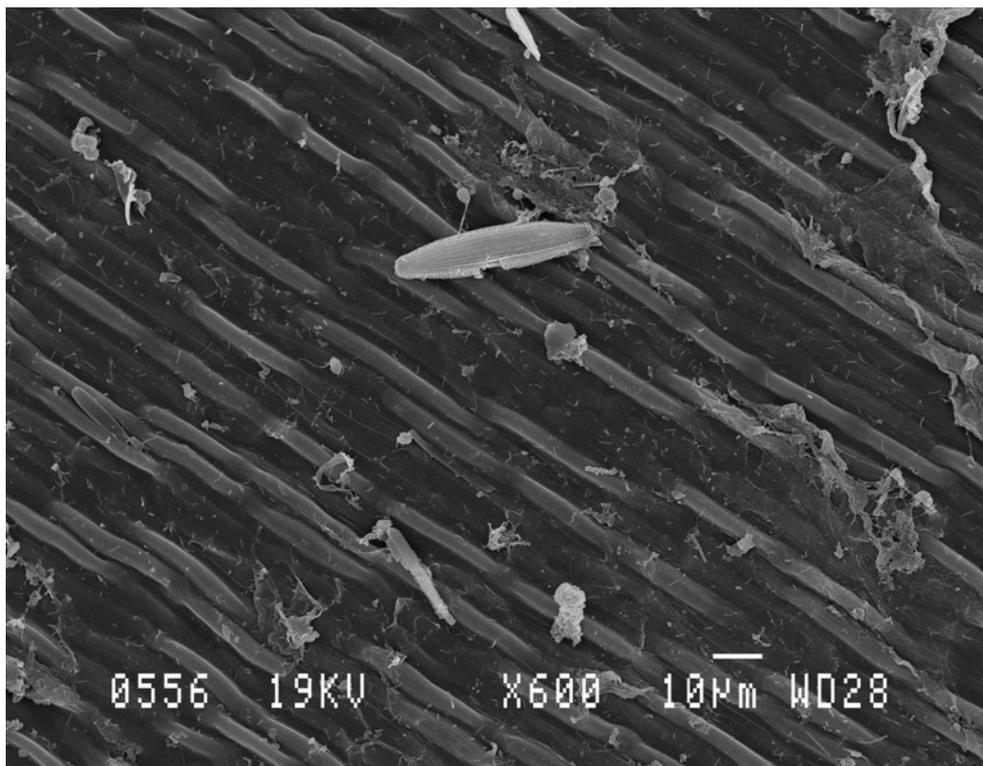
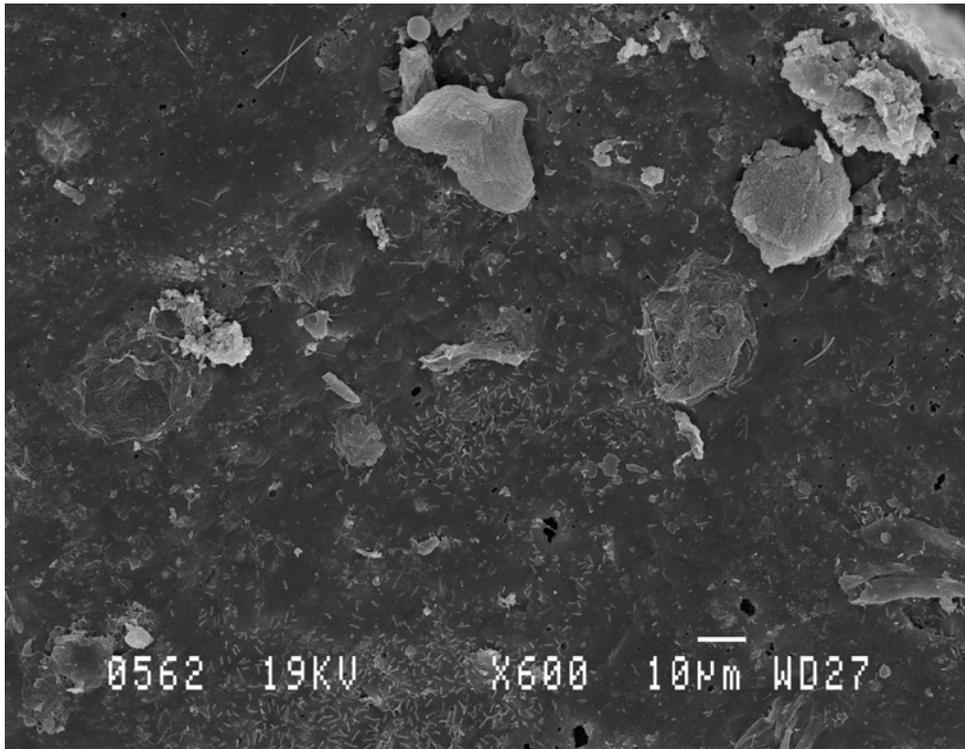


Fig. 27 : Comparaison de l'état de maturité du biofilm au quatrième jour entre les feuilles artificielles (page précédente) et les feuilles naturelles (cette page) au grossissement 600x. Réalisation : D. Pête

réalisées en microscopie électronique à balayage. A partir de ces photos, on a pu voir que, pour un même jour, le biofilm était mieux développé sur les feuilles artificielles que sur les feuilles naturelles (Fig. 27), avec apparition de biofilm en plusieurs couches dès le quatrième jour. Cette différence de maturité du biofilm pourrait donc expliquer l'importance de la différence de densité entre feuilles naturelles et artificielles.

L'autre cause parfois citée de cette différence de colonisation entre les deux types de feuilles, est la production de composés phénoliques par les feuilles de posidonies. En effet, comme beaucoup de phanérogames terrestres, la posidonie produit des composés phénoliques en quantité plus ou moins abondante suivant l'état de stress provoqué par les conditions environnementales (compétition interspécifique, rejet d'eaux usées, ...). La concentration en ces composés est généralement plus importante dans les feuilles intermédiaires que dans les feuilles adultes, ainsi que dans la zone de croissance par rapport aux autres régions des feuilles. On observe également une variation de ces concentrations en fonction de la saison (Novak, 1984 ; Cuny *et al.*, 1995 ; Agostini *et al.*, 1998 ; Dumay *et al.*, 2004).

Etant donné que les parties des feuilles de posidonies que nous avons observées correspondent aux zones de production maximales de ces composés phénoliques (zone de croissance des feuilles intermédiaire), il est possible que ces derniers soient une des causes du faible développement de la couverture épiphytique observé sur les feuilles naturelles. De plus, ces composés peuvent aussi agir sur le développement du biofilm, ce qui augmenterait leur impact sur la colonisation par les épiphytes (Harrisson & Chan, 1980).

Une troisième raison de cette faiblesse de la colonisation sur les feuilles naturelles pourrait être liée au protocole expérimental. En effet, les morceaux de feuilles de posidonies observés correspondent aux segments les plus jeunes de la feuille, hors, ils se trouvent dans une zone du faisceau où les feuilles sont encore enserrées, collées étroitement les unes aux autres, ce qui pourrait rendre l'accès à la surface foliaire plus difficile pour les épiphytes, comparativement aux feuilles artificielles qui sont bien séparées les unes des autres.

Trautman & Borowitzka (1999) ont, quant à eux, trouvé que les feuilles artificielles étaient colonisées de manière plus importante à la base qu'à l'apex, contrairement aux feuilles naturelles. On aurait également pu utiliser cet argument pour expliquer la différence de densité observée entre les deux feuilles mais l'observation de la colonisation par les épiphytes sur toute la longueur des feuilles artificielles a montré que la couverture épiphytique est

bien plus importante à l'apex qu'à la base des feuilles.

L'augmentation rapide de la densité des épiphytes observée sur les feuilles artificielles peut également être attribuée à un "effet boule de neige" puisque la colonisation par des épiphytes crée des zones favorables pour l'installation d'autres épiphytes par l'apparition de micro-courants, de zones de calme et de substrats favorisant l'adhésion des larves à proximité ou sur les épiphytes déjà en place. Cela veut dire que plus on a d'épiphytes, plus d'autres épiphytes sont susceptibles de venir s'installer, et ce jusqu'à ce que tout l'espace de la feuille soit colonisé (Novak, 1984 ; Casola *et al.*, 1987 ; Keough, 1998 ; Bologna & Heck, 1999 ; Trautman & Borowitzka, 1999).

Cattaneo & Kalff, (1978), Horner (1987) et Lethbridge *et al.* (1988) ont, par ailleurs, montré que des substrats artificiels soumis à une exposition continue aux propagules des épiphytes présentaient une distribution épiphytique semblable à celle obtenue pour des feuilles naturelles. On peut donc imaginer que si nous avions poursuivi l'expérience plus longtemps, nous aurions peut-être pu aussi observer une répartition identique des communautés épiphytes entre feuilles naturelles et feuilles artificielles.

En examinant de plus près le graphique de densité des organismes, on remarque que le sixième jour est décalé par rapport à la courbe suivie par la colonisation épiphytique des feuilles de posidonies. En fait, cette plus grande densité observée au sixième jour peut être attribuée à une faible croissance moyenne des feuilles de ce faisceau (Tableau 1). Comme il croît plus lentement, les fragments de feuilles observés n'ont pas le même âge que les autres (ils sont plus vieux), ce qui expliquerait la plus grande densité observée pour ce jour.

Tableau 1 : Croissance moyenne (\pm écart-type) de feuilles intermédiaires de chaque faisceau observé au cours du temps.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T9
Feuilles intermédiaires	0	8,3 \pm 1,5	5,0 \pm 2,2	21,7 \pm 4,0	13 \pm 1,1	8,3 \pm 2,9	14,3 \pm 2,5	11,2 \pm 3,3

6.1.2 Diversité et équitabilité observées entre les deux types de feuilles

Au cours de cette étude, nous avons observé une diversité et une équitabilité plus importante pour les grands taxa au niveau des feuilles naturelles par rapport aux feuilles artificielles. Cette différence est un phénomène fréquemment observé dans les études portant sur la comparaison entre les communautés épiphytes de feuilles naturelles et de feuilles artificielles (Lethbridge *et al.*, 1988 ; Bologna & Heck, 1999 pour la faune vagile chez *Thalassia testudinum* ; Trautman & Borowitzka, 1999 pour *P. australis* ; Lee *et al.*, 2001 pour *Zostera japonica*).

Les différences de diversité et d'équitabilité observées pourraient être dues à des différences morphologiques entre les feuilles naturelles et les feuilles artificielles (Schneider & Mann, 1991 in Bologna & Heck, 1999) ou encore à la différence de densité de feuilles artificielles par rapport aux feuilles naturelles. En effet, une augmentation de la diversité en fonction de la densité de la canopée a été mise en évidence par Boström & Bonsdorff (2000) pour *Zostera marina* et *Ruppia maritima* et par Lee *et al.* (2001) pour *Zostera japonica*. Cependant, on ne peut pas affirmer que, dans le cas de cette étude, il existe une réelle différence de densité de canopée entre feuilles naturelles et feuilles artificielles, puisque ces dernières ont été placées au sein de l'herbier. La seule différence entre les deux types de feuilles qui pourrait être rapprochée de la densité de la canopée est la disposition en faisceau des feuilles naturelles alors que les feuilles artificielles sont bien individualisées.

Même si on observe une grande différence de densité épiphytique entre les deux types de feuilles et que la diversité et l'équitabilité sont moindres pour les feuilles artificielles que pour les feuilles naturelles, on constate que les deux grands taxa les plus importants sont les algues et les foraminifères, premiers colonisateurs des feuilles naturelles en général (Novak, 1984 ; Trautman & Borowitzka, 1999). S'il n'est pas étonnant de rencontrer les algues parmi les organismes les plus abondants (domination de la communauté épiphytes par les Coralinacées encroûtantes, ce qui aussi le cas dans cette étude, et l'algue brune *Ascocyclus orbicularis* ; Novak, 1984 ; Casola *et al.*, 1987 ; Mazzella & Russo, 1989 ; Cebrián *et al.*, 1999 ; Lepoint *et al.*, 1999 ; Jacquemart, 2003), la présence importante de foraminifères est plus surprenante. En effet, tous les auteurs travaillant sur le sujet sont d'accords pour dire que la faune épiphyte des herbiers de posidonies est dominée par les bryozoaires et les hydrozoaires (Kerneys, 1960 ; Novak, 1984 ; Casola *et al.*, 1987 ; Mazzella *et al.*, 1995 ; Balancier, 2004), alors que

nous n'avons pu observer que quelques ancestrulae de bryozoaires et qu'aucun hydrozoaire n'a pu être identifié à la base de feuilles. La faible abondance de ces taxa dans les échantillons observés peut être attribuée à la durée relativement courte de l'expérience (ce qui n'a pas permis à ces organismes de se développer), à une différence de position de la feuille dans l'eau (due à une différence de flexibilité du substrat suite à l'épaisseur légèrement plus importante de la feuille artificielle) qui ne favoriserait pas leur implantation, à un recrutement ayant lieu à une autre période de l'année ou encore à des propriétés du substrat ne favorisant pas leur implantation (Lethbridge *et al.*, 1988).

L'importance de la colonisation par les foraminifères sur les feuilles artificielles est interpellante. Il semble en effet qu'ils trouvent, sur ces feuilles, un substrat de choix pour leur développement. Ribes *et al.* (2000) ont d'ailleurs montré que les foraminifères présentaient une diversité plus importante sur les feuilles artificielles que sur les feuilles naturelles, même s'ils arrivent à la conclusion que le type de substrat n'a pas d'effet significatif sur la colonisation par les foraminifères.

Une des raisons de cette importance est que les foraminifères font partie des premiers colonisateurs des feuilles, aussi bien des feuilles naturelles que des feuilles artificielles. Cependant, au niveau des feuilles de posidonies, ils pourraient être affectés par les communautés formant le biofilm ou par les composés phénoliques produits par la plante. D'autre part, ils pourraient également s'installer préférentiellement sur les feuilles artificielles, au moins au début de la colonisation, parce qu'ils y trouvent plus de sources de nourriture ou des quantités plus importantes de nourriture (Ribes & del Pilar Gracia, 1991) que sur les feuilles de posidonies (beaucoup de foraminifères se nourrissent d'algues encroûtantes, de bactéries, de diatomées ; Ribes *et al.*, 2000).

Parmi les foraminifères rencontrés, les deux sous-ordres les plus représentés sont les Miliolina et les Rotaliina, aussi bien sur les feuilles naturelles que sur les feuilles artificielles. Cependant, sous l'apparente équivalence (abondances relatives proches) entre ces groupes, se cachent des différences importantes au niveau de la diversité des genres. En effet, le sous-ordre des Miliolina est représenté par moins de genres (entre 3 et 5) que le sous-ordre des Rotaliina (entre 6 et 10) à la base des deux types de feuilles. De plus, parmi les genres rencontrés au sein des Miliolina, le genre *Quinqueloculina* compte un nombre très important d'espèces distinctes (Murray, 1979 ; Ribes *et al.*, 2000).

Si on examine de plus près la répartition des genres au sein de ces deux groupes pour les deux types de feuilles, on constate, qu'au niveau des feuilles artificielles, le genre *Quinqueloculina* domine les Miliolina alors que pour les feuilles naturelles on retrouve principalement le genre *Massilina*. En ce qui concerne les Rotaliina, on observe une légère dominance du genre *Cibicidella* pour les feuilles naturelles (mais le nombre de foraminifères rencontré est très faible) et des genres *Cibicides* et *Conorboides* pour les feuilles artificielles.

Cette différence, au niveau des genres rencontrés, entre les deux types de feuilles pourrait être due à la différence de vitesse de colonisation entre les deux types de feuilles et à la difficulté pour les organismes d'atteindre les zones observées des feuilles naturelles. En effet, les groupes majoritairement rencontrés sur les feuilles artificielles correspondent mieux aux groupes cités comme dominants sur les feuilles artificielles et les feuilles de posidonies plus âgées (Blanc-Vernet, 1984 ; Ribes & del Pilar Gracia, 1991 ; Ribes *et al.*, 2000) que ceux rencontrés à la base des feuilles de posidonies observées, même si le genre *Elphidium*, normalement très abondant n'a été que très peu observé sur les deux types de feuilles.

Une plus grande diversité existe également au niveau des genres, au niveau des feuilles artificielles. Celle-ci est probablement due, elle aussi, à la difficulté pour les foraminifères d'atteindre les parties basales des feuilles naturelles observées, mais aussi à l'énorme source de nourriture que représente le biofilm, mieux développé, sur les feuilles artificielles (Ribes & del Pilar Gracia, 1991).

Quoi qu'il en soit, on constate, sur les deux types de feuilles, une domination des morphotypes trochospiraux et fusiformes, comme observé par Blanc-Vernet (1984) et Ribes *et al.* (2000) sur les feuilles de posidonies plus âgées.

En ce qui concerne la différence entre les deux faces des feuilles artificielles, Bologna & Heck (1999) ont observé que la colonisation par les épiphytes sur une feuille artificielle lisse aboutissait à une colonisation très importante par la faune épiphyte alors que pour les feuilles artificielles bosselées, la colonisation, bien qu'importante également, est rapide pour les algues et minimisée pour la faune par rapport aux feuilles lisses. Dans les résultats obtenus dans cette étude, on n'observe pas vraiment une minimisation de la colonisation par la faune proportionnellement à la flore (Fig. 10) mais les résultats obtenus par Bologna & Heck pourraient quand même justifier l'importance énorme de la colonisation par les foraminifères

sur les faces lisses.

6.2 Mise en évidence d'une différence éventuelle entre les divers fragments de feuilles artificielles observés au cours du temps

Les analyses de similarité réalisées sur toute la longueur des feuilles artificielles montrent une variation dans le regroupement des différents segments de feuilles. Au début, les deux groupes formés montrent une différence entre les deux premiers tiers de la feuille et le dernier. Cette différence est en fait principalement due à une plus grande diversité au niveau des groupes rencontrés pour les parties apicales que pour les parties basales ainsi qu'à une augmentation de la densité d'algues encroûtantes calcifiées dans la région apicale. Ce type de répartition des organismes correspond à ce qui est décrit dans la littérature pour les feuilles de posidonies (Novak, 1984 ; Horner, 1987 ; Mazzella & Russo, 1989 ; Mazzella *et al.*, 1995 ; Cebrián *et al.*, 1999 ; Trautman & Borowitzka, 1999).

Au niveau des cinquième et sixième jours, cette zonation est moins nette. En fait, on observe pour ces jours-là une augmentation de la diversité au niveau de la base des feuilles artificielles, principalement au niveau des genres de foraminifères rencontrés, ce qui augmente la similarité entre les différents fragments de feuilles observés. En plus de cela, la densité algale, et plus principalement celle des algues encroûtantes calcifiées, augmente dans les parties moyennes et basales des feuilles, ce qui entraîne une faible différence de similarité entre les différents morceaux, même si pour le sixième jours, la partie de la feuille artificielle comprise entre 10 et 25 cm est séparées des autres (plus faible diversité générale et quantité d'algues encroûtantes calcifiées particulièrement élevée, même par rapport à la partie apicale de la plante, ce qui n'est pas normal, comparé à la répartition des épiphytes généralement obtenue par les autres auteurs sur les feuilles de posidonies).

A partir du septième jour, on obtient une zonation en trois parties. Pour la partie basale (0 à 15 cm), on observe un nombre plus faible d'algues (principalement d'algues encroûtantes calcifiées) ainsi que de foraminifères dans les genres les plus abondants (*Quinqueloculina*, *Cibicides*, *Conorboides*) par rapport aux autres segments. Pour la partie comprise entre 15 et 25-30 cm, la densité des algues encroûtantes calcifiées est pratiquement aussi importante que pour la partie apicale de la plante mais, en ce qui concerne les autres types d'algues, on

observe une moins grande diversité que pour la partie apicale. Par contre, c'est à cet endroit de la feuille que l'on trouve la plus grande densité de foraminifères. La partie apicale (à partir de 25-30 cm) présente quant à elle une grande densité d'algues encroûtantes calcifiées mais également une plus grande diversité algale que la partie moyenne de la feuille, alors que les densités de foraminifères sont en général plus faibles.

Une même zonation a été mise en évidence par de nombreux auteurs pour les feuilles de posidonies. En effet, en ce qui concerne les algues encroûtantes calcifiées (majoritairement des algues rouge Coralinacées), Mazzella & Russo, 1989 ; Mazzella *et al.* (1995) ainsi que Cebrián *et al.* (1999) ont montré que l'importance des algues rouges encroûtantes augmentait le long de la feuille et dominaient la partie apicale, ce qui a aussi été démontré pour d'autres phanérogames marines (Trautman & Borowitzka, 1999). Ensuite, elles sont rejointes, vers le milieu de la feuille, par les algues brunes encroûtantes et forment un assemblage avec divers types d'algues dans la zone apicale.

On attribue généralement la zonation observée à l'âge de la feuille (Novak, 1984 ; Casola *et al.*, 1987 ; Mazzella & Russo, 1989 ; Cebrián *et al.*, 1999). Cependant, dans le cas des feuilles artificielles, on a montré ici que la mise en place de cette zonation est également fortement influencée par la localisation sur la feuille, comme suggéré par Horner (1987) et montré par Keough (1986) pour le bryzoaire *Buggula neritina* sur *T. testudinum*. En effet, on n'a pas de croissance foliaire au niveau des feuilles artificielles alors qu'on observe la même zonation que sur des feuilles de posidonies matures.

7. Conclusions

Le but de ce travail était de déterminer si la colonisation épiphyte de feuilles artificielles est la même que celle des feuilles de *P. oceanica*, et ce, afin de déterminer si ces feuilles artificielles peuvent être utilisées dans des études d'impact.

Nous avons mis en évidence que la densité des épiphytes augmente au en fonction du temps et ce pour tous les groupes d'épiphytes étudiés : bactéries, diatomées, foraminifères, bryozoaires, ciliés, algues. De plus, elle est beaucoup plus élevée à la base des feuilles artificielles qu'à la base des feuilles naturelles. Il semblerait donc que la colonisation épiphyte se produise plus rapidement sur les feuilles artificielles que sur les feuilles de posidonies.

Un biofilm moins développé a également été mis en évidence sur les feuilles naturelles par rapport aux feuilles artificielles, ce qui influence fortement l'implantation des organismes à la surface des feuilles et donc leur densité.

La différence de densité des épiphytes, ainsi que la différence de maturité entre les deux feuilles, peuvent être attribuées à la production importante de phénols dans la partie basale de la feuille naturelle ainsi qu'à la localisation de ce fragment dans le faisceau qui rend l'accès à la surface de la feuille plus difficile.

Nous avons également observé une diversité et une équitabilité plus importante pour les grands taxa, au niveau des feuilles naturelles que pour les feuilles artificielles. Cela peut être attribué à une différence de morphologie et de structure (différence d'épaisseur entraînant une différence de flexibilité de la feuille artificielle par rapport à la feuille naturelle) entre les deux types de feuilles. Cette différence de diversité et d'équitabilité entre les deux types de feuilles n'est pas la même pour les deux groupes dominant les biocénoses des feuilles naturelles et des feuilles artificielles, c'est-à-dire les algues et les foraminifères. En effet, on ne rencontre pratiquement que des algues encroûtantes calcifiées sur les feuilles artificielles, alors que la flore algale est plus diversifiée pour les feuilles de posidonies. Par contre, pour les foraminifères, on observe une plus grande diversité des genres sur les feuilles artificielles, pour lesquelles les groupes dominants sont les mêmes que ceux cités pour les feuilles naturelles matures.

Suite à cela, on peut dire que les algues sont plus affectées par les différences de

morphologie et de structure entre les deux types de feuilles que les foraminifères, plus attirés par la quantité de nourriture fournie par le développement plus avancé du biofilm sur les feuilles artificielles.

Une différence de colonisation a également été mise en évidence entre les deux faces de la feuille artificielle (face bosselée, face lisse), ce qui montre que la texture a aussi une importance pour la colonisation par les épiphytes.

En ce qui concerne la colonisation épiphytique rencontrée sur toute la longueur de la feuille artificielle, l'analyse de la similarité entre les différents morceaux des feuilles artificielles a montré une zonation semblable à celle présentée dans la littérature pour les feuilles de posidonies matures ce qui montre que l'utilisation des ces feuilles artificielles ne doit pas être totalement rejetée.

Finalement, on constate que les deux types de substrat ne sont pas équivalents à court terme et qu'on ne peut pas les utiliser dans des études d'impact. Cependant, on ne peut pas exclure que si on avait poursuivi l'expérience sur une durée plus longue, on aurait pu obtenir une adéquation entre les biocénoses épiphytiques des deux types de feuilles.

Plus tard, il faudrait peut-être tenter une expérience similaire sur une durée plus longue afin de supprimer les désagréments qui pourraient être dus à la production de composés phénoliques, à l'enserrement de la base de la feuille de posidonie dans le faisceau et à la différence de développement du biofilm. Ou, pour ce qui est de l'effet du à l'accolement des feuilles de posidonies dans le faisceau, tenter de construire des faisceaux de feuilles artificielles dont la structure serait plus proches des faisceaux naturels. De plus, il faudrait également déterminer avec certitude l'impact de la différence de morphologie entre les deux types de feuilles.

Bibliographie

- Agostini, S., Desjobert, J.M. and Pergent, G., 1998. Distribution of phenolic compounds in the seagrass *Posidonia oceanica*. *Phytochemistry*, 48 (4): 611-617.
- Aladro-Lubel, M.A. and 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.
- Alcovero, T., Perez, M. and Romero, J., 2004. Importance of within-shoot epiphyte distribution for the carbon budget of seagrasses: the example of *Posidonia oceanica*. *Botanica Marina*, 47 (4): 307-312.
- Alcoverro, T., Duarte, C.M. and Romero, J., 1997. The influence of herbivores on *Posidonia oceanica* epiphytes. *Aquatic Botany*, 56: 93-104.
- Argyrou, M., Demetropoulos, A. and Hadjichristophorou, M., 1999. Expansion of the macroalga *Caulerpa racemosa* and changes in softbottom macrofaunal assemblages in Moni Bay, Cyprus. *Oceanologica Acta*, 22 (5): 517-528.
- Balancier, B., 2004. Variation spatio-temporelle de l'épifaune de *Posidonia oceanica* (L.) Delile en baie de Calvi (Corse). Etude préliminaire de l'influence des conditions environnementales sur la composition spécifique. Mémoire de Licence, Université de Liège : 47 pp.
- Balduzzi, A., Barbieri, M. and Gristina, M., 1991. Morphology and life strategies of *Aetea* (Bryozoa: Cheilostomata) living on some Western Mediterranean *Posidonia oceanica* meadows. *Bull. Soc. Sci. Nat. Ouest Fr. Mém. HS 1*: 1-12.
- Balestri, E. and Cinelli, F., 2003. Sexual reproductive success in *Posidonia oceanica*. *Aquatic Botany*, 75: 21-32.
- Balestri, E., Benedetti-Cecchi, L. and Lardicci, C., 2004. Variability in patterns of growth and morphology of *Posidonia oceanica* exposed to urban and industrial wastes: contrast with two reference locations. *Journal of Experimental Marine Biology*, 308: 1-21.
- Ballesta, L., Pergent, G., Pasqualini, V. and 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.
- Barber, W.E., Greenwood, J.G. and Crocos, P., 1979. Artificial seagrass - A new technique for sampling the community. *Hydrobiologia*, 65 (2): 135-140.
- 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.
- Bell, S.S., Walters, K. and Kern, J.C., 1984. Meiofauna from seagrass habitats: a review and prospectus for future research. *Estuaries*, 7 (4A): 331-338.

- Bianchi, C.N. and Morri, C., 2000. Marine Biodiversity of the Mediterranean Sea: situation, problems and prospects for future research. *Marine Pollution Bulletin*, 40 (5): 367-376.
- Blanc-Vernet, L., 1984. Les foraminifères de l'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée : Analyse des assemblages, aspects régionaux, application aux microfaunes fossiles. International Workshop *Posidonia oceanica* beds, Boudouresque, C.F., Jeudy de Grissac, A et Olivier, J. edit., GIS Posidonie publ., Fr. , 1 : 3-14.
- Boaventura, D., Cancela da Fonseca, L. and Teles Ferreira, C., 1999. Trophic structure of macrobenthic communities on the Portuguese coast. A review of lagoonal, estuarine and rocky littoral habitats. *Acta Oecologica*, 20 (4): 407-415.
- Boero, F., 1981. Systematics and Ecology of the Hydroid Population of two *Posidonia oceanica* Meadows. P.S.Z.N. I: Marine Ecology, 2 (3): 181-197.
- Bologna, P.A.X. and Heck Jr, K.L., 1999. Macrofaunal associations with seagrass epiphytes: relative importance of trophic and structural characteristics. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 242: 21-39.
- Boström, C. and Bonsdorff, E., 2000. Zoobenthic community establishment and habitat complexity - the importance of seagrass shoot-density, morphology and physical disturbance for faunal recruitment. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 205: 123-138.
- Boudouresque C.F. et Meneisz A., 1982 : Découverte de l'herbier de posidonie. Cahier Parc National de Port – Cros : 80 pp.
- Brandt, L.A. and Koch, E.W., 2003. Periphyton as a UV-B filter on seagrass leaves: a result of different transmittance in the UV-B and PAR ranges. *Aquatic Botany*, 76: 317-327.
- Cabaço, S., Machás, R. and Santos, R., 2003. Impact of a sewage treatment station on *Zostera noltii* meadows at Ria Formosa Lagoon, Southern Portugal. *Gulf of Mexico Science*, 22 (1): 137.
- Casola, E., Scardi, M., Mazzella, L. and Fresi, E., 1987. Structure of the epiphytic community of *Posidonia oceanica* leaves in a shallow meadow. P.S.Z.N.I: Marine Ecology, 8 (4): 285-296.
- Cattaneo, A. and Kalff, J., 1978. Seasonal changes in the epiphyte community of natural and artificial macrophytes in lake Memphremagog (Que.VT.). *Hydrobiologia*, 60 (2): 135-144.
- Cebrián, J., Enríquez, S., Fortes, M., Agawin, N., Vermaat, J.E. and Duarte, C.M., 1999. Epiphyte accrual on *Posidonia oceanica* (L.) Delile leaves: implication for light absorption. *Botanica Marina*, 42: 123-128.
- Cebrián, J. and Duarte, C.M., 2001. Detrital stocks and dynamics of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile in the Spanish Mediterranean. *Aquatic Botany*, 70: 295-309.

- Ceccherelli, G. and Cinelli, F., 1999. Effect of *Posidonia oceanica* canopy on *Caulerpa taxifolia* size in a north-western Mediterranean bay. J. Exp. Mar. Ecol. Biol., 240: 19-36.
- 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., Meneisz, 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.
- Connolly, R.M. and Butler, A.J., 1996. The effects of altering seagrass canopy height on small, motile invertebrates of shallow Mediterranean Embayments. P.S.Z.N.I.: Marine Ecology, 17 (4): 637-652.
- Crisp, D.J. and Ryland, J.S., 1960. Influence of filming and of surface texture on the settlement of marine organisms. Nature, 4706 (9): 119.
- Cuny, P., Serve, L., Jupin, H. and Boudouresque, C.F., 1995. Water soluble phenolic compounds of the marine phanerogam *Posidonia oceanica* in a Mediterranean area colonised by the introduced chlorophyte *Caulerpa taxifolia*. Aquatic Botany, 52: 237-242.
- Dahms, H.U., Dobretsov, S. and Qian, P.Y., 2004. The effect of bacterial and diatom biofilms on the settlement of the bryozoan *Bugula neritina*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 313: 191-209.
- Dauby, P. and Poulicek, M., 1995. Methods for removing epiphytes from seagrasses: SEM observations on treated leaves. Aquatic Botany, 52: 217-228.
- Dauby, P., Bouquegneau, J.M., Lepoint, G. and Gobert, S., submitted. Inorganic carbon fixation in a Mediterranean *Posidonia* seagrass ecosystem: Estimation of production partitioning among the main autotrophs.
- De Stefano, M., Marino, D. and Mazzella, L., 2000. Marine taxa of *Cocconeis* on leaves of *Posidonia oceanica*, including a new species and two varieties. Eur. J. Phycol., 35: 225-242.
- Debenay, J.P., Pawłowski, J. and Decrouez, D., 1996. Les foraminifères actuels. Masson (eds.), Paris, France : 329 pp.
- Degard, C., 2004. Variation spatio-temporelle de la faune vagile associée à *Posidonia oceanica* (L.) Delile en Baie de Calvi. Etude préliminaire de l'effet des conditions environnementales sur la composition spécifique. Mémoire de Licence, Université de Liège : 53 pp.

- Delgado, O., Ruiz, J., Pérez, M., Romero, J. and Ballesteros, E., 1999. Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean bay: seagrass decline after organic loading cessation. *Oceanologica Acta*, 22 (1): 109-117.
- Dempsey, M.J., 1981. Marine bacterial fouling: A scanning electron microscope study. *Marine Biology*, 61 (4): 305-316.
- Den Hartog, C., 1970. The sea-grasses of the World. *Verhandelingen der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Afd. Natuurkunde. Tweede reeks, Deel 59, N°1*. North Holland Publ., The Netherlands: 275 pp.
- Duarte, C.M., 2002. The future of seagrass meadows. *Environmental Conservation*, 29 (2): 192-206.
- Dumay, O., 2002. Dynamique compétitive entre la Magnoliophyte marine *Posidonia oceanica* et les Bryopsidophycées invasives *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa*. Thèse d'Ecologie marine, Université de Corse.
- Dumay, O., Costa, J., Desjobert, J.M. and Pergent, G., 2004. Variations in the concentration of phenolic compounds in the seagrass *Posidonia oceanica* under conditions of competition. *Phytochemistry*, 65: 3211-3220.
- Edgar, G., 1991. Artificial algae as habitats for mobile epifauna: factors affecting colonization in a Japanese Sargassum bed. *Hydrobiologia*, 226: 111-118.
- Elkalay, K., Frangoulis, C., Skliris, N., Goffart, A., Gobert, S., Lepoint, G. and 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.
- Fernández-Torquemada Y. and Sánchez-Lizaso J.L., 2005: Effects of salinity on leaf growth end survival of Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 320: 57-63.
- Ferrat, L., Pergent-Martini, C. and Roméo, M., 2003. Assessment of the use of biomarkers in aquatic plants for the evaluation of environmental quality : application to seagrasses. *Aquatic Toxicology*, 65: 187-204.
- Fourqurean, J.W., Rutten, L.M., Durako, M.J., Zieman, J.C. and Frankovich, T.A., 2003. Assessing change in seagrass ecosystems on a regional scale: The relative merits of fixed stations and systematic random sampling. *Gulf of Mexico Science*, 22 (1): 133.
- Giraud, G., 1977. Essai de classement des herbiers de *Posidonia oceanica* (Linné) Delile. *Botanica Marina*, 20 (8) : 487-491.
- Giraud, G., 1979. Sur une méthode de mesure et de comptages des structures foliaires de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille Fr.*, 39 : 33-39.
- Gobert, S., Belkhiria, S., Dauby, P., Havelange, S., Soullard, M. and Bouquegneau, J.M., 1995. Variations temporelles de la phénologie et de la composition biochimique de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* en Baie de Calvi. *Bull. Soc. R. Sci. Liège*, 64 (4/5) : 263-284.

- Gobert, S., Cambridge, M.L., Velimirov, B., Pergent, G., Lepoint, G., Bouquegneau, J.M., Dauby, P., Pergent-Martini, C. and Walker, D.I., 2005. Biology of *Posidonia*. In: Larkum, A.W.D. *et al.* (eds.), *Seagrass Biology*. Springer, Netherlands: 1-21.
- Gobert, S., Kyramarios, M., Lepoint, G., Pergent-Martini, C. and Bouquegneau, J.M., 2003. Variations à différentes échelles spatiales de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile ; effets sur les paramètres physico-chimiques du sédiment. *Oceanologica Acta*, 26 : 199-207.
- González-Correa, J.M., Bayle, J.T., Sanchez-Lizaso, J.L., Valle, C., Sánchez-Jerez, P. and Ruiz, J.M., 2005. Recovery of deep *Posidonia oceanica* meadows degraded by trawling. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 320: 65-76.
- Gosselin, M., 2004. Variation spacio-temporelle des métaux traces dans les herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile en Baie de Calvi. Mémoire du DEA en Océanologie : 60 pp.
- 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.
- Guidetti, P. and Fabiano, M., 2000. The use of lepidochronology to assess the impact of terrigenous discharges on the primary leaf production of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Pollution Bulletin*, 40 (5): 449-453.
- Guidetti, P., 2001. Detecting environmental impact on the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile: the use of reconstructive methods in combination with 'beyond BACI' designs. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 260: 27-39.
- Harder, T., Lam, C. and Qian P.Y., 2002. Induction of larval settlement in the polychaete *Hydroides elegans* by marine biofilms: an investigation of monospecific diatom films as settlement cues. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 229: 105-112.
- Harrison, P.G. and Chan, A.T., 1980. Inhibition of the growth of micro-algae and bacteria by extracts of eelgrass (*Zostera marina*) leaves. *Marine biology*, 61: 21-26.
- Heck Jr., K.L., Valentine, J.F. and Spitzer, P.M., 2003. Plant-animal interaction in seagrass-dominated ecosystems: A review and a prospectus. *Gulf of Mexico Science*, 22 (1): 112.
- Hemminga, M.A., 1998. The root / rhizome system of seagrasses : an asset and a burden. *Journal of Sea Research*, 39: 183-196.
- Horner, S.M.J., 1987. Similarity of epiphyte biomass distribution on *Posidonia* and artificial seagrass leaves. *Aquatic Botany*, 27: 159-167.
- Howard, R.K., 1982. Impact of feeding activities of epibenthic amphipods on surface-fouling of eelgrass leaves. *Aquatic Botany*, 14: 91-97.
- Hyndes, G.A. and Lavery, P.S., 2005. Does transported seagrass provide an important trophic link in unvegetated, nearshore areas? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 63 (4): 633-643.

- 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.
- Jonasson, K.E. and Schroder-Adams, C.J., 1996. Encrusting agglutinated foraminifera on indurated sediment at a hydrothermal venting area on the Juan de Fuca Ridge, northeast Pacific Ocean. *Journal of Foraminiferal Research*, 26 (2): 137-149.
- Karydis, M. and Tsirtsis, 1996. Ecological indices: a biometric approach for assessing eutrophication levels in the marine environment. *The Science of the Total Environment*, 186: 209-219.
- Keough, M.J. and Raimondi, P.T., 1995. Responses of settling invertebrate larvae to bioorganic films: effects of different types of films. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 185: 235-253.
- Keough, M.J. and Raimondi, P.T., 1996. Responses of settling invertebrate larvae to bioorganic films: effects of large-scale variation in films. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 207: 59-78.
- Keough, M.J., 1986. The distribution of a bryozoan on seagrass blades: settlement, growth and mortality. *Ecology*, 67 (4): 846-857.
- Keough, M.J., 1998. Responses of settling invertebrate larvae to the presence of established recruits. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 231: 1-19.
- Kerneis, A., 1960. Contribution a l'étude faunistique et écologique des herbiers de posidonies de la région de Banyuls. *Vie Milieu*, 11 : 211 pp.
- 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.
- Lecointre, G. and Le Guyader, H., 2001. Classification phylogénétique du vivant, 2^{ème} édition. Belin (Eds.), Paris, France : 543 pp.
- Lee, S.Y., Fong, C.W. and Wu, R.S.S., 2001. The effects of seagrass (*Zostera japonica*) canopy structure on associated fauna: a study using artificial seagrass units and sampling of natural beds. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 259: 23-50.
- Lepoint, G., Havelange, S., Gobert, S. and Bouquegneau, J.M., 1999. Fauna vs flora contribution to the leaf epiphytes biomass in a *Posidonia oceanica* seagrass bed (Revellata Bay, Corsica). *Hydrobiologia*, 394: 63-67.
- Lepoint, G., Gobert, S., Dauby, P. and Bouquegneau, J.M., 2004. Contribution of benthic and planktonic primary producers to nitrate and ammonium uptake fluxes in a nutrient-poor shallow coastal area (Corsica, NW Mediterranean). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 302: 107-122.

- Lepoint, G., Nyssen, F., Gobert, S., Dauby, P. and Bouquegneau, J.M., 2000. Relative impact of a seagrass bed and its adjacent epilithic algal community in consumer diets. *Marine Biology*, 136: 513-518.
- Lethbridge, R.C., Borowitzka, M.A. and Benjamin, K.J., 1988. The development of an artificial, *Amphibolis*-like seagrass of complex morphology and preliminary data on its colonization by epiphytes. *Aquatic Botany*, 31 (1/2): 153-168.
- Livingston, R.J., 1984. The relationship of physical factors and biological response in coastal seagrass meadows. *Estuaries*, 7 (4A): 377-390.
- Marbà, N., Duarte, C.M., Díaz-Almela, E. and Terrados, J., 2003. Direct evidence of imbalanced *Posidonia oceanica* population dynamics in the Spanish Mediterranean. *Gulf of Mexico Science*, 22 (1): 137-138.
- Matricardi, G., Montagna, P. and Pisano, E., 1991. Settlement and growth strategies of *Electra posidoniae* Gautier on *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Bull. Soc. Sci. Nat. Ouest Fr. Mém. HS 1*: 255-262.
- Mayot, N., Boudouresque, C.F. and Leriche, A., 2005. Unexpected response of the seagrass *Posidonia oceanica* to a warm-water episode in the North Western Mediterranean Sea. *Comptes Rendus Biologies*, 328: 291-296.
- 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.
- Mazzella, L. and Russo, G.F., 1989. Grazing effect of two *Gibbula* species (Mollusca, Archaeogastropoda) on the epiphytic community of *Posidonia oceanica* leaves. *Aquatic Botany*, 35: 357-373.
- Meglitsch, P.A. and Schram, F.R., 1991. *Invertebrate zoology*, third edition. Oxford University Press, New York, Oxford: 623 pp.
- Meneisz, A. and Laurent, R., 1978. Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-maritimes (France). *Campagne Poséidon 1976*. *Botanica Marina*, 21 : 513-526.
- Milazzo, M., Badalamenti, F., Ceccherelli G., and Chemello, R., 2004. Boat anchoring on *Posidonia oceanica* beds in a marine protected area (Italy, western Mediterranean): effect of anchor types in different anchoring stages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 299: 51-62.
- Moreno, D., Aguilera, P.A. and Castro, H., 2001. Assessment of the conservation status of seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows: implications for monitoring strategy and the decision-making process. *Biological Conservation*, 102: 325-332.
- Murray, J.W., 1979. *British nearshore foraminiferids: key and notes for the identification of the species*. Published for the Linnean Society of London and the Estuarine and Brackish-water Sciences Association. Kermack, D.M. and Barnes, R.S.K. (Eds), Academic Press, London, New York and San Francisco: 65 pp.

- Nelson, T.A. and Waaland, J.R., 1997. Seasonality of eelgrass, epiphyte and grazer biomass and productivity in subtidal eelgrass meadows subjected to moderate tidal amplitude. *Aquatic Botany*, 56: 51-74.
- Novak, R., 1984. A study in ultra-ecology: Microorganisms on the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *P.S.Z.N.I: Marine Ecology*, 5 (2): 143-190.
- Occhipinti-Ambrogi, A. and Savini, D., 2003. Biological invasions as a component of global change in stressed marine ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 542-551.
- Orlov, D.V., 1996. The role of larval settling behaviour in determination of the specific habitat of the hydrozoan *Dynamena pumila* (L.): Larval settlement in *Dynamena pumila* (L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 208: 73-85.
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C. and Pergent, G., 1998 a. Use of remote sensing for the characterization of the Mediterranean coastal environment – the case of *Posidonia oceanica*. *Journal of coastal conservation*, 4: 59-66.
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C. and Pergent, G., 1999. Environmental impact identification along the Corsican coast (Mediterranean sea) using image processing. *Aquatic Botany*, 65: 311-320.
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C. and Pergent, G., 2003. The use of the *Posidonia oceanica* meadow as a biological indicator of environmental quality: Application to the Corsican coasts (France). *Gulf of Mexico Science*, 21 (1): 140.
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Clabaut, P. and Pergent, G., 1998 b. Mapping of *Posidonia oceanica* using Aerial Photographs and Side Scan Sonar: Application off the Island of Corsica (France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47: 359-367.
- Peirano, A., Stoppelli, N. and Bianchi, C.N., 1995. Monitoring and study techniques of seagrasses in Liguria. In: *La Posidonia oceanica*, a contribution to the preservation of a major Mediterranean marine ecosystem. In *Revista Marittima* : 88-91.
- Peres, 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 Méditerranées. *Aquatic Botany*, 1 : 133-139.
- Pergent, G. and 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., Mendez S., Pergent-Martini, C. and Pasqualini, V., 1999. Preliminary data on the impact of fish farming facilities on *Posidonia oceanica* meadows in the Mediterranean. *Oceanologica Acta*, 22 (1): 95-107.
- Pergent, G., Rico-Raimondino, V. and Pergent-Martini, C., 1997. Fate of primary production in *Posidonia oceanica* meadows of the Mediterranean. *Aquatic Botany*, 59: 307-321.
- Pergent-Martini, C., Leoni, V., Pasqualini, V., Ardizzone, G.D., Balestri, E., Bedini, R., Belluscio, A., Belsher, T., Borg, J., Boudouresque, C.F., Boumaza, S., Bouquegneau, J.M., Buia, M.C., Calvo, S., Cebrian, J., Charbonnel, E., Cinelli, F., Cossu, A., Di

- Maida, G., Dural, B., Francour, P., Gobert, S., Lepoint, G., Meinesz, A., Molenaar, H., Mansour, H.M., Panayotidis, P., Peirano, A., Pergent, G., Piazzzi, L., Pirrotta, M., Relini, G., Romero, J., Sanchez-Lizaso, J.L., Semroud, R., Shembri, P., Shili, A., Tomasello, A. and Velimirov, B., 2005. Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows : Use and application. *Ecological Indicators*, 5 (3): 213-230.
- Piazzzi, L., Acunto, S. and Cinelli, F., 2000. Mapping of *Posidonia oceanica* beds around Elba Island (western Mediterranean) with integration of direct and indirect methods. *Oceanologica Acta*, 22 (3): 339-346.
- Piazzzi, L., Balata, D., Cinelli, F. and Benedetti-Cecchi, L., 2004. Patterns of spatial variability in epiphytes of *Posidonia oceanica*: Differences between a disturbed and two reference locations. *Aquatic Botany*, 79: 345-356.
- Pinckney, J.L. and Micheli, F., 1998. Microalgae on seagrass mimics: Does epiphyte community structure differ from live seagrass? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 221: 59-70.
- Prescott, L.M., Harley, J.P. and Klein, D.A., 2003. *Microbiologie*, 2ème édition française. Eds. De Boeck Université, Bruxelles, Belgique : 1137 pp.
- 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.
- 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.
- Ribes, T. and del Pilar Gracia, M., 1991. Foraminifères des herbiers de posidonies de la Méditerranée occidentale. *Vie Milieu*, 41 (2/3) : 117-126.
- Ribes, T., Salvado, H., Romero, J. and del Pilar Gracia, M., 2000. Foraminiferal colonization on artificial seagrass leaves. *Journal of Foraminiferal Research*, 30 (3): 192-201.
- Riedl, R., 1986. *Fauna y flora del mar Maditerráneo*. Omega (eds.), Barcelona, Spain : 858 pp.
- Roca, I., Moreno, I. and Barceló, 1991. Distribución espacial y temporal de los Hidroideos de *Posidonia oceanica* (L.) Delile en una pradera des Illot del Sec (Bahía de Palma, Baleares). *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 7 (1) : 67-74.
- 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.
- Ruiz, J.M. and Romero, J., 2003. Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Pollution Bulletin*, 46 : 1523-1533.

- Ruiz, J.M., Pérez, M. and Romero, J., 2001. Effects of fish farm loading on seagrass (*Posidonia oceanica*) distribution, growth and photosynthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 42 (9): 749-760.
- Saiz-Salinas, J.I. and Urkiaga-Alberdi, J., 1999. Use of faunal indicators for assessing the impact of a port enlargement near Bilbao (Spain). *Environmental Monitoring and Assessment*, 56: 305-330.
- Schanz, A., Asmus, H. and Asmus, R., 2003. Do increasing hydrodynamics contribute to losses of seagrasses beds in the Wadden sea? *Gulf of Mexico Science*, 22 (1): 133.
- Scipione, B., Gambi, M.C., Lorenti, M., Russo, G.F. and Zupo, V., 1996. Vagile fauna of the leaf substratum of *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa* in the Mediterranean Sea. In: Kuo, J., Phillips, R.C., Walker, D.I. and Kirkman, H. (Eds.), *Seagrass Biology: Proceeding of an International Workshop*. Rottneest Island, Western Australia: 249-260.
- Sgorbini, S., Peirano, A., Cocito, S. and Morgigni, M., 2002. An underwater tracking system for mapping marine communities: an application to *Posidonia oceanica*. *Oceanologica Acta*, 25: 135-138.
- Short, F.T. and Duarte, C.M., 2001. Methods for the measurement of seagrass growth and production. In: Short, F.T. and Cole, R.G. (Eds.), *Global seagrass research methods*. Elsevier: 155-182.
- Short, F.T. and Neckles, H.A., 1999. Review: The effects of global climate changes on seagrasses. *Aquatic Botany*, 63: 169-196.
- Soullard, M., Bourge, I., Fogel, J., Lardinois, D., Mathieu, T., Veeschens, C., Bay, D., Dauby, P. and Bouqueneau, J.M., 1994. Evolution de la densité de l'herbier de Posidonies de la baie de Calvi (Corse). *Vie Milieu*, 44 : 199-201.
- 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.
- Trautman, D.A. and Borowitzka, M.A., 1999. Distribution of the epiphytic organisms on *Posidonia australis* and *P. sinuosa*, two saegrasses with differing leaf morphology. *Marine Ecology Progress Series*, 179: 215-229.
- Urkiaga-Alberdi, J., Pagola-Carte, S. and Saiz-Salinas, J.I., 1999. Reducing effort in the use of benthic bioindicators. *Acta Oecologica*, 20 (4): 489-497.
- van Montfrans, J., Wetzel, R.L. and Orth, R.J., 1984. Epiphyte-grazer relationships in seagrass meadows: consequences for seagrass growth and production. *Estuaries*, 7 (4A): 289-309.
- 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.
- Vizzini, S., Sará, G., Michener, R.H. and Mazzola, A., 2002. The role and contribution of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile organic matter for secondary consumers as

revealed by carbon and nitrogen stable isotope analysis. *Acta Oecologica*, 23: 277-285.

Weiczorek, S.K. and Todd, C.D., 1997. Inhibition and facilitation of bryozoan and ascidian settlement by natural multi-species biofilms: effects of film age and the roles of active and passive larval attachment. *Marine Biology*, 128: 463-473.

Wyllie-Echeverria, S., Gunnarsson, K., Mateo, M.A., Borg, J.A., Renom, P., Kuo, J., Schanz, A., Hellblom, F., Jackson, E., Pergent, G., Pergent-Martini, C., Johnson, M., Sanchez Lizaso, J., Boudouresque, C.F. and Aioi, K., 2002. Protecting the seagrass biome : report from the Traditional Seagrass Knowledge Working Group. *Bulletin of Marine Science*, 7 (3): 1415-1417.

Zabala, M. and Maluquer, P. , 1988. Illustrated key for the classification of Mediterranean Bryozoa. *Treballs del Museu de Zoologia, Ajuntament de Barcelona*, número 4: 294 pp.