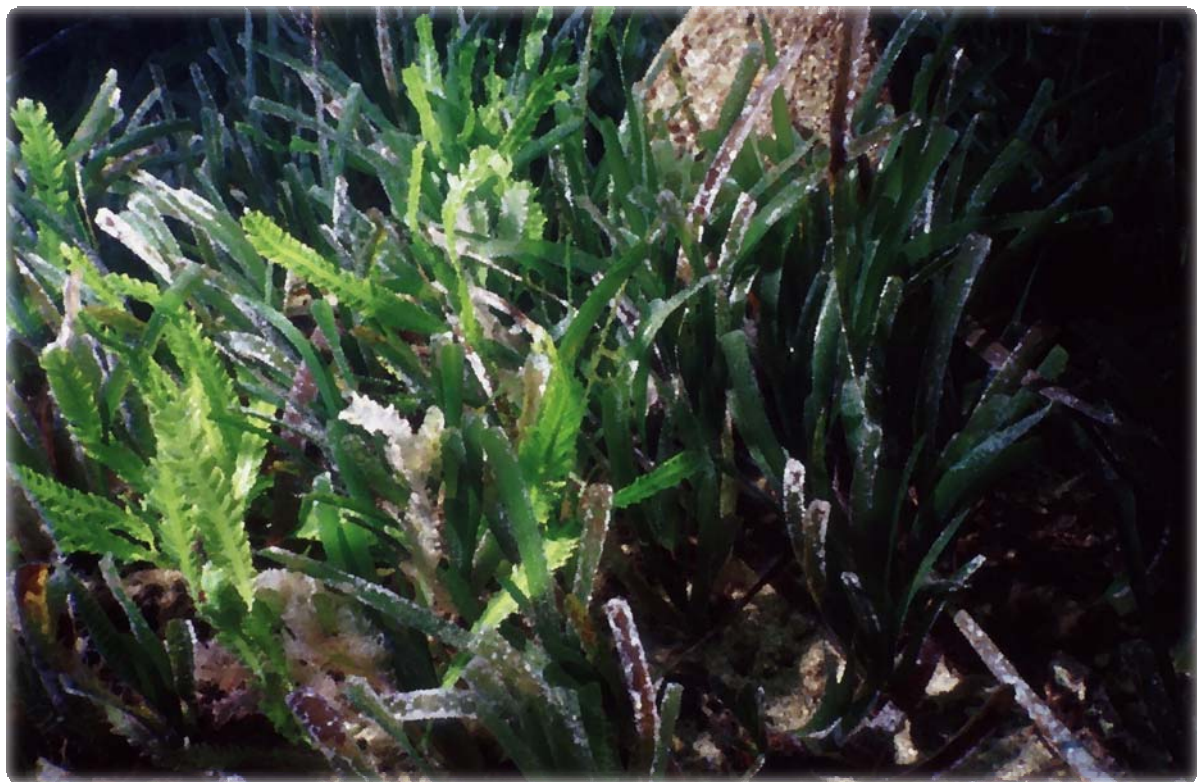


Master  
“Ingénierie Ecologique”

Intérêt du Système d’Information  
Géographique dans la gestion intégrée du  
littoral à travers deux exemples



Mémoire présenté par :

Marie GARRIDO-MAESTRACCI

# Marie GARRIDO-MAESTRACCI

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Master Ingénierie Ecologique  
Professionnalisation

Date de soutenance : 12 septembre 2008

[m.garrido@orange.fr](mailto:m.garrido@orange.fr)

## Illustration page de garde

*Caulerpa taxifolia* et *Posidonia oceanica* : Gérard Pergent

---

### Office de l'Environnement de la Corse ([www.oec.fr](http://www.oec.fr))

Département « Espaces Naturels et Protégés »

BP 86

20176 Ajaccio Cedex

Tél. : 04 95 50 45 44



### Bureau d'études Sintinelle ([www.sintinelle.com](http://www.sintinelle.com))

Lieu dit Arbucetta

Casatorra

20620 Biguglia

Tél. : 06 11 53 57 30



SINTINELLE

Etudes en Environnement

### Direction Régionale de l'Environnement ([www.corse.ecologie.gouv.fr](http://www.corse.ecologie.gouv.fr))

Mission Mer et Littoral

Chemin d'Agliani - Montesoro

20 600 Bastia

Tél. : 04 95 30 13 70



---

## Maitres de stage

Marianne LAUDATO (OEC, « Espaces Naturels et Protégés »)

Alexandre VELA (Bureau d'études « SINTINELLE »)

Isabelle CLEMENCEAU (DIREN Corse, « Mission Mer et Littoral (MIMEL) »)

## Durée du stage

7 mois

## Ce rapport doit-être cité de la façon suivante

M. Garrido-Maestracci, 2008. Intérêt du Système d'Information Géographique dans la gestion intégrée du littoral à travers deux exemples. Rapp. Master INGECO Univ. Corse : 45p.

## REMERCIEMENTS

*Ce travail a été rendu possible grâce à de nombreuses personnes qui ont eu la patience et la gentillesse de me soutenir et de m'aider tout au long de ce stage. Ces remerciements ne seront pas une liste exhaustive des personnes à remercier, mais réellement un grand MERCI du fond du cœur.*

*C'est avec toute ma gratitude et mon amitié que je remercie Marianne LAUDATO pour m'avoir aidée à intégrer l'équipe de l'Office de l'Environnement d'Ajaccio, mais également pour ses savoirs, sa patience, sa gentillesse, sa confiance et ses inestimables conseils. Je suis fière d'avoir été sa stagiaire durant 7 mois. Je remercie également Guy-François FRISONI, chef du département « Espaces Naturels et Protégés », ainsi que Maddy CANCEMI, responsable de la Réserve Naturelle des Bouches de Bonifacio, pour m'avoir accueillie dans le cadre de mes stages à l'O.E.C. et pour leur aide.*

*Je remercie très chaleureusement Alexandre VELA pour m'avoir accueillie en stage durant 3 mois ½ au sein de son bureau d'études « SINTINELLE », pour sa confiance, pour m'avoir laissé toute la liberté nécessaire à la réalisation de ce travail. Merci pour toutes nos discussions passionnantes, ses conseils, sa bonne humeur et sa patience. Car il en faut... Un grand merci, pour tout, à Vanina LEONI et bonne chance à tous les deux pour le mois d'octobre...*

*Merci à Isabelle CLEMENCEAU pour sa gentillesse, son aide précieuse, ses recommandations... et tous mes vœux de bonheur pour la suite avec le petit ange !!*

*Je remercie très chaleureusement toutes les personnes qui m'ont soutenues, aidées et conseillées à l'O.E.C., particulièrement Stéphane, Annie, Alexandra, Cristiana, Jean-Paul, Patrick, Jean-Philippe, Dumé, Olivier...*

*Un grand merci à tous les membres du « Réseau Caulerpes » pour leur accueil, leur confiance et leur aide.*

*Un grand merci au professeur Gérard PERGENT, sans qui ce travail n'aurait pu être réalisé, mais aussi pour son temps précieux, ses conseils et ses savoirs. Merci à Vanina PASQUALINI, pour ses recherches et sa collaboration dans ma quête aux formations récifales !*

*Toute ma reconnaissance aux personnes (gestionnaires, scientifiques, associations, fonctionnaires, locaux...), trop nombreuses pour être citées ici, pour avoir répondu à mes questions et avoir ainsi participé à l'élaboration de ce travail.*

*Je voudrais remercier mon compagnon, ma famille et mes amis pour leur soutien permanent, leur présence et leur amour...*

*Enfin, mes remerciements aux membres du jury pour l'attention qu'ils porteront à ce travail.*

## Résumé

Les écosystèmes côtiers subissent les plus fortes évolutions des pressions d'origine anthropique. C'est pour cette raison que la gestion intégrée des zones côtières est la préoccupation majeure de toutes les administrations ayant en charge ces milieux d'une très grande fragilité.

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence l'intérêt des Systèmes d'Information Géographique dans la mise en place d'une gestion intégrée du littoral. Ceci à travers l'exemple de la création de deux bases de données cartographiques de type SIG. La première a été conçue à la demande du Réseau Caulerpes Région Corse, Office de l'Environnement de la Corse (OEC), pour suivre l'évolution de l'espèce invasive du genre *Caulerpa racemosa* et prévenir les risques de la colonisation, sur nos côtes de *Caulerpa taxifolia*. La seconde a été réalisée suite à une étude commandée par la Direction Régionale de l'Environnement Corse (DIREN). Elle fait état du recensement des formations récifales superficielles bioconstruites de *Posidonia oceanica* dans les périmètres de désignation des sites du **réseau Natura 2000** en mer.

Les données acquises depuis cinq ans par le Réseau Caulerpes Région Corse ont permis de réaliser différentes cartes sur la situation et l'expansion de *Caulerpa racemosa*. Le suivi cartographique des colonies de *Caulerpa racemosa* et la connaissance de l'état de l'expansion de ces colonies, suite aux investigations menées par le Réseau Caulerpes, offrent une meilleure gestion de lutte contre cette espèce invasive. L'intérêt des informations et des cartes apportées par le croisement des données lors du recensement des formations récifales de *Posidonia oceanica* sur le littoral corse ont permis (i) la localisation des zones sensibles et (ii) l'identification de certains conflits ou principales contraintes face à l'installation d'une gestion durable.

Toutefois une gestion performante, à l'échelle de la région corse, concernant ici les espèces invasives et les récifs-barrières de *Posidonia oceanica*, ne peut se baser uniquement sur les seules données cartographiques obtenues durant cette étude, et cela même si elles en constituent le canevas. L'objectif à terme, afin de compléter ce travail, serait de disposer d'un ensemble d'informations facilement accessibles (*e.g.* courantologie, inventaires espèces patrimoniales et protégées, types de fonds, peuplements, aménagements littoraux) et de les regrouper au sein d'un même SIG, ce qui constituerait un outil puissant d'aide à la décision.

**Mots-clés :** Système d'Information Géographique, gestion intégrée des zones côtières, Réseau Caulerpes Région corse, Réseau Natura 2000, récif-barrière, *Posidonia oceanica*, *Caulerpa racemosa*.

# SOMMAIRE

<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>I. Contexte de l'étude</b>	<b>2</b>
<b>II. Caractéristiques des <i>Caulerpa</i> invasives</b>	<b>3</b>
II.1. <i>Caulerpa racemosa</i>	3
II.1.1. Historique et localisation	3
II.1.2. Ecologie	3
II.2. <i>Caulerpa taxifolia</i>	4
II.2.1. Historique et localisation	4
II.2.2. Ecologie	5
<b>III. Présentation de <i>Posidonia oceanica</i></b>	<b>6</b>
III.1. Historique et localisation	6
III.2. Ecologie	6
III.3. Protection	8
<b>IV. Objectifs de l'étude</b>	<b>9</b>
<b>Matériels et méthodes</b>	<b>10</b>
<b>I. Etude sur les espèces invasives du genre <i>Caulerpa</i></b>	<b>10</b>
I.1. Réseau Caulerpes Région Corse	10
I.2. Méthodes de prospection dans l'acquisition des données	11
I.3. Traitements des données	11
<b>II. Recensement des formations récifales de <i>Posidonia oceanica</i></b>	<b>12</b>
II.1. Réseau Natura 2000	12
II.2. Acquisition et description des données	13
II.2.1. Données bibliographiques et cartographiques	13
II.2.2. Données cartographiques et attributaires	14
II.2.2.1. Données cartographiques	14
II.2.2.2. Données attributaires	14
<b>Résultats</b>	<b>18</b>
<b>I. Etude sur les espèces invasives du genre <i>Caulerpa</i></b>	<b>18</b>
I.1. Cartographie de l'espèce invasive <i>Caulerpa racemosa</i>	18
I.2. Evolution de l'expansion depuis 2003	21
<b>II. Recensement des formations récifales de <i>Posidonia oceanica</i></b>	<b>22</b>
II.1. Zones de prospections	22
II.2. Recensement des récifs-barrière : résultats préliminaires	23
II.3. Données pour la table attributaire	25
II.3.1. Fiche de synthèse	25
<b>Discussion</b>	<b>26</b>
<b>I. Etude sur les espèces invasives du genre <i>Caulerpa</i></b>	<b>26</b>
I.1. Intérêt du suivi cartographique	26
<b>II. Recensement des formations récifales de <i>Posidonia oceanica</i></b>	<b>28</b>
II.1. Intérêt de la création de la base de données géoréférencées	28
<b>Conclusion</b>	<b>33</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>35</b>
<b>Annexe 1 : Fiche de signalisation Réseau Caulerpes</b>	<b>42</b>
<b>Annexe 2 : Fiche de synthèse récif-barrière de Malfalcu</b>	<b>44</b>

# Introduction

---

## I. Contexte de l'étude

La mer Méditerranée représente respectivement 0.2 % et 0.7 % du volume et de la surface mondiale des océans. C'est une mer semi-fermée avec un plateau continental étroit. Les fonds de **moins de 50 mètres** ne représentent que **5 %** environ de sa surface. Les précipitations peu importantes et la quantité relativement faible d'eau douce apportée par les fleuves, ainsi que l'évaporation importante induisent un bilan hydrique déficitaire. Ceci se traduit par un taux de salinité et des températures d'eau élevés. Ces spécificités font d'elle une mer fragile d'où son intérêt écologique important. En effet, plus de **10 000 espèces** ont été identifiées en **Méditerranée**, soit **8 %** de la **biodiversité marine** décrite (Platini, 2000), elle s'insère ainsi, en terme de richesse spécifique, directement après les écosystèmes tropicaux (Ramade, 1990a ; 1990b). Malheureusement, ces caractéristiques lui confèrent des conditions propices à l'installation d'**espèces invasives** (Ramade, 1990a). Ce phénomène constitue à ce jour la **deuxième cause de réduction de la biodiversité** (Wilson, 1997), après la **destruction des habitats naturels**. Ce sont les problèmes environnementaux majeurs du XXI<sup>ème</sup> siècle (Bright, 1998 ; Clout, 1995, 1998 ; Simberloff, 1998 ; Boudouresque, 1999a ; Kennedy, 2001 ; Courchamp *et al.*, 2003). L'introduction d'espèces invasives ainsi que la destruction des habitats naturels sont **irréversibles** à l'échelle humaine et même géologique (Boudouresque, 2005).

Le littoral est représenté par une mosaïque d'écosystèmes terrestres et aquatiques. C'est par conséquent un espace d'une grande richesse écologique, mais aussi d'une grande fragilité qui est soumis à de nombreuses pressions. De tous les écosystèmes présents en Méditerranée, les zones littorales subissent les conséquences les plus néfastes des actions anthropiques (Ramade, 1990a). Les effets, à terme, pourraient devenir irrémédiables : altération de la qualité des eaux, fragmentation des habitats, diminution des stocks, modification des écosystèmes, érosion côtière, érosion de la biodiversité.

Le « **Sommet de la Terre** » à Rio de Janeiro, en **1992**, a permis d'identifier les **zones côtières** parmi les **thématiques prioritaires** pour la mise en œuvre d'une politique de développement durable. Cette priorité a été confirmée lors du « **Sommet mondial sur le développement durable** » à Johannesburg en **2002**. C'est d'ailleurs en 2002 que l'Europe a décidé, sur proposition de la Commission Européenne, d'émettre une recommandation pour inciter les Etats membres à développer des stratégies nationales de gestion des zones côtières et permettre la mise en œuvre « *d'actions stratégiques coordonnées et concertées au niveau local et régional, orientées et soutenues par un encadrement approprié au niveau national* ».

Bien que déjà partiellement préservées, les 1000 km de côtes corses sont soumises à des pressions anthropiques grandissantes (*e.g.* l'exploitation des ressources naturelles, le tourisme...). La protection et la gestion du patrimoine naturel de la Corse représentent un enjeu prioritaire pour l'aménagement et le développement économique de l'île.



## II. Caractéristiques des *Caulerpa* invasives

Le genre *Caulerpa* comporte environ une centaine d'espèces et de variétés, que nous pouvons retrouver dans les mers tempérées et principalement les mers chaudes. En Méditerranée, deux espèces du genre *Caulerpa* sont **indigènes** : *Caulerpa prolifera* et *C. ollivieri* (Gravez *et al.*, 2005). D'autres espèces du genre *Caulerpa* sont arrivées de Mer Rouge, via le **canal de Suez** en Méditerranée, elles sont alors appelées **immigrants lessepsiens**. C'est le cas probable de *Caulerpa scalpelliformis* (Turquie et côtes levantines) et *Caulerpa mexicana* (côtes levantines) (Gravez *et al.*, 2005). Il y a également deux espèces de *Caulerpa* introduites par l'action de l'homme qui sont invasives : *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh et *Caulerpa racemosa* (Forsskål, 1809) J. Agardh. Nous nous sommes intéressés tout particulièrement à deux espèces dans le cadre de cette étude : (i) *Caulerpa racemosa*, suite à sa présence sur le littoral corse et (ii) *Caulerpa taxifolia* qui fait l'objet d'une grande attention, due à la proximité de nos côtes.

### II.1. *Caulerpa racemosa*

#### II.1.1. Historique et localisation

La chlorobionte *Caulerpa racemosa*, souvent considérée, dans la littérature, comme un immigrant lessepsien, présente en Méditerranée nord-occidentale (Livourne (Italie), Piazzini *et al.*, 1994 et à Marseille, Jousson *et al.*, 1998) et nord-orientale, doit-être reconsidérée. En effet, les travaux de Verlaque *et al.* (2000) ont démontré que la souche qui colonise le Nord de la Méditerranée appartient à un taxon différent de celui qui colonise, depuis le début du XXème siècle, le Sud et l'Est de la Méditerranée (var. *uvifera*). Il correspond à un taxon récemment introduit, par une autre voie que le canal de Suez (Verlaque *et al.*, 2003). Les populations méditerranéennes sont alors composées de trois variétés distinctes : *Caulerpa racemosa* var. *turbinata-uvifera*, *C. racemosa* var. *lamourouxii* (déjà connues du bassin oriental de Méditerranée ; Tunisie, Moyen-Orient), et d'une variété invasive récemment introduite, ***Caulerpa racemosa* var. *cylindracea***<sup>1</sup>. Elle est signalée pour la première fois en Méditerranée occidentale, dans les années 90, au port de Tripoli (Libye), où elle s'étend très rapidement (Sicile : 1993 ; Sardaigne, Toscane et Ligurie : 1994-1995 ; Provence : 1997-1999 ; îles Baléares : 1998). Elle est observée pour la première fois en Corse en octobre 2002, au large de Bastia puis dans le golfe de Sant'Amanza, avec par la suite une vitesse d'expansion extrêmement rapide (Garrido-Maestracci, 2008).

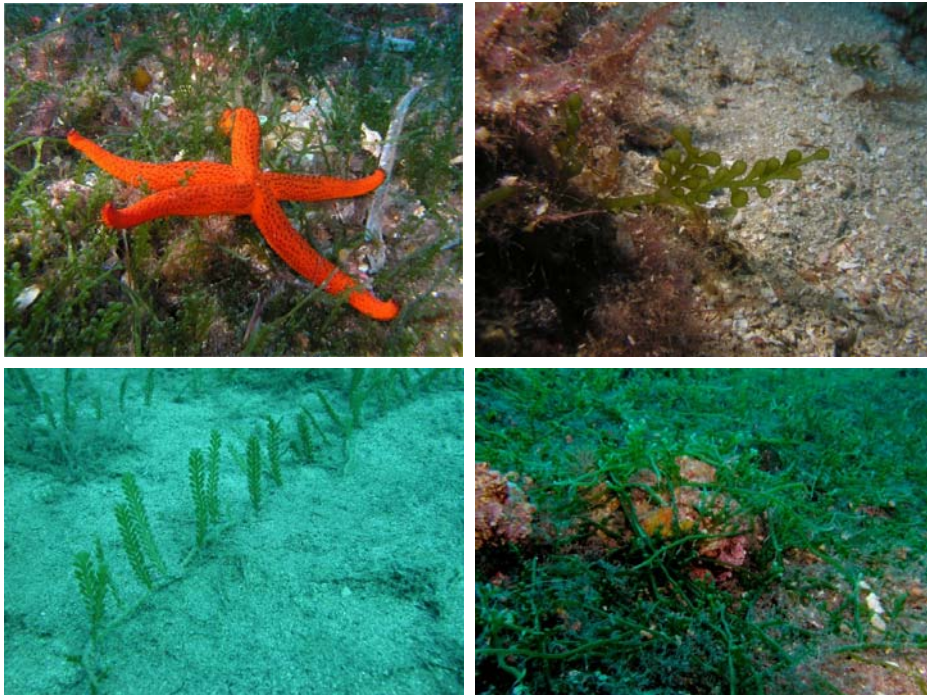
#### II.1.2. Ecologie

*Caulerpa racemosa* se développe sur des substrats durs, sablo-vaseux, sur les mattes mortes de *Posidonia oceanica* et dans l'herbier à *Cymodocea nodosa* ou *Zostera noltii* où elle constitue des peuplements mixtes (Fig.1). Elle peut-être observée entre 2 et 60 m de profondeur, avec une formation de peuplements denses et continus. Elle est constituée d'un axe rampant (**stolons**), de **rhizoïdes** et de **frondes** caractérisées par de petites **protubérances**

---

<sup>1</sup> Dans la suite du rapport, « *C. racemosa* » se référera toujours à *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*

**arrondies** : ramules (Fig. 3). Leur longueur moyenne présente une forte plasticité en fonction de la lumière.



**Figure 1** : *Caulerpa racemosa* sur le littoral corse, colonisant tous types de substrats.  
Photographies M. Dupre-Poiget et R. Palomba.

## II.2. *Caulerpa taxifolia*

### II.2.1. Historique et localisation

Depuis son introduction en Méditerranée (1984), l'origine de *Caulerpa taxifolia* a fait l'objet de nombreuses discussions et ce malgré les conclusions de différents auteurs (Meinesz & Hesse, 1991 ; Meinesz *et al.*, 1993 ; Meinesz & Boudouresque, 1996), qui avaient mis en évidence son **origine aquariologique** par des analyses morphologiques et biogéographiques de l'algue. Il a fallu attendre des études de génétique pour affirmer définitivement le statut d'espèce introduite et rejeter les hypothèses d'une arrivée naturelle de l'algue (métamorphose de *Caulerpa mexicana* en *Caulerpa taxifolia*, flottaison depuis la Mer Rouge via le canal de Suez ; Chisholm *et al.*, 2000). Ainsi, les analyses génétiques ont montré que (i) *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa mexicana* sont bien des espèces différentes (Jousson *et al.*, 1998 ; Olsen *et al.*, 1998), (ii) les souches se développant en Méditerranée et celles répandues dans les aquariums à travers le monde sont identiques (Meusnier *et al.*, 2001), (iii) la probable région d'origine de la souche envahissante serait australienne (Moreton Bay, côte est de l'Australie) (Meusnier *et al.*, 2001). De plus, une enquête sur l'origine de la chlorobionte menée auprès des aquariums publics a permis de mettre en évidence son cheminement via différents aquariums européens depuis le début des années 60 jusqu'à son arrivée au Musée Océanographique de Monaco dans les années 80. A chaque fois, les témoignages des propriétaires d'aquariums font état d'une algue à croissance rapide et capable de proliférer facilement (Meyer & Meinesz, 2001). Depuis 1984, date de la première signalisation à Monaco, *C. taxifolia* présente une extension très rapide en Méditerranée occidentale où elle



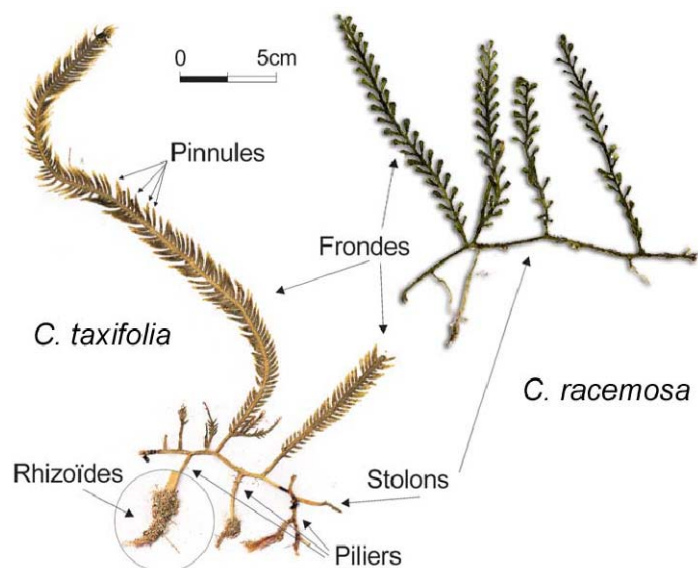
couvre près de 15 000 ha le long des côtes de 6 pays (Monaco, France, Espagne, Italie, Croatie et Tunisie). Actuellement, les stations les plus proches du littoral de la Corse sont l'île d'Elbe (1993) et le Nord de la Sardaigne (2002)<sup>2</sup>.

### II.2.2. Ecologie

*Caulerpa taxifolia* est une **espèce ubiquiste** qui se développe sur toute la zone littorale, formant de vastes prairies très denses entre 5 et 35 m de profondeur avec des colonies isolées allant jusqu'à 99 m (Belsher & Meinesz 1995 in Thibaut, 2001). A l'exception des herbiers à *Posidonia oceanica*, le recouvrement du substrat (e.g. roche, sable, mattes mortes) est très rapide et peut atteindre 100 % (Fig. 2). *C. taxifolia* a les potentialités biologiques et physiologiques (morphologie des « plantes supérieures ») pour s'étendre sur tout le pourtour des deux bassins méditerranéens, de l'étage infralittoral jusqu'à la partie supérieure de l'étage circalittoral. Cette chlorobionte est constituée de **stolons**, de **rhizoïdes** et de **frondes pennées**, simples ou ramifiées, pourvues de nombreuses **pinnules aplaties** (Fig. 3). Même si la taille des frondes est plus réduite en hiver, cette algue peut être observée toute l'année.



**Figure 2 :** *Caulerpa taxifolia* en présence de *Posidonia oceanica*. Photographies G. Pergent.



**Figure 3 :** structure générale des espèces de *C. racemosa* et *C. taxifolia*, souches invasives en Méditerranée (d'après M. Verlaque).

<sup>2</sup> Pour une situation à jour, *Caulerpa* On Line : <http://www.caulerpa.org>

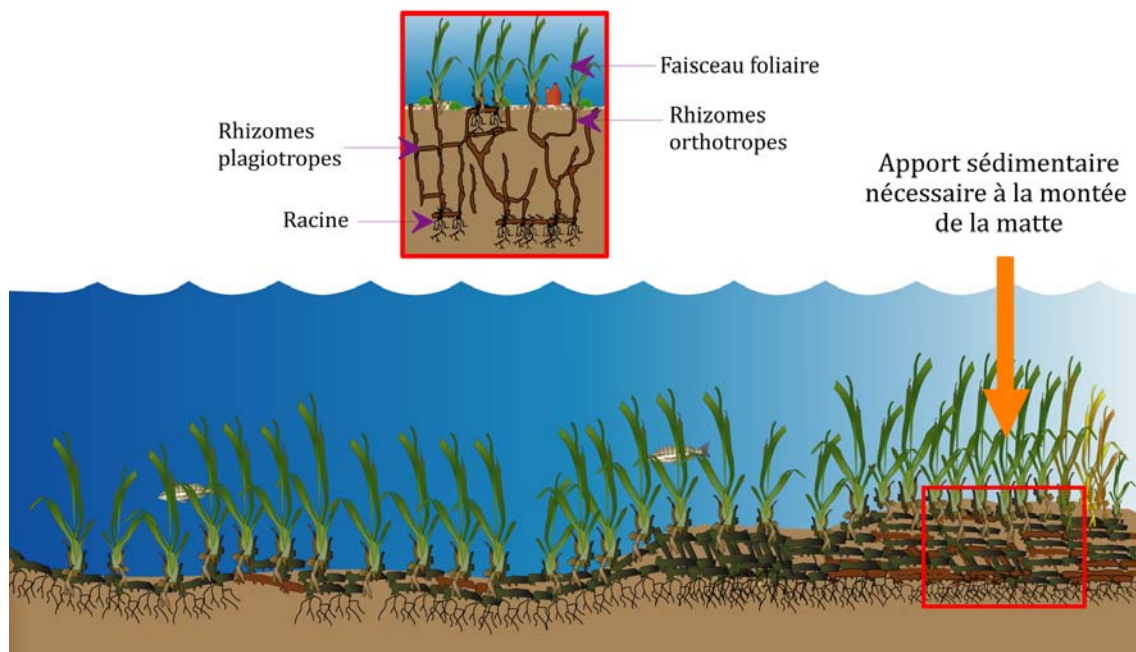
### III. Présentation de *Posidonia oceanica*

#### III.1. Historique et localisation

En Méditerranée, seule une des 9 espèces du genre *Posidonia* recensées de nos jours est présente. Il s'agit de *Posidonia oceanica* (L.) Delile (Fig. 5). Elle appartient à la famille, exclusivement marine, des *Posidoniaceae*, ne contenant que le genre *Posidonia* (Kuo & Hartog, 2001). C'est une magnoliophyte longévive, endémique stricte de Méditerranée et présente le long de la plus grande partie des côtes de la Méditerranée (Molinier & Picard, 1956 ; Hartog, 1970 ; Lipkin, 1977 ; Boudouresque *et al.*, 1994 ; Hartog & Phillips, 2001). Les prairies actuelles se sont installées il y a plus de 8 000 ans (Holocène) lors de la dernière remontée des eaux en Méditerranée (Boudouresque *et al.*, 1981). Elles recouvrent, de nos jours, une surface estimée entre 25 000 et 50 000 km<sup>2</sup> (Pasqualini *et al.*, 1998).

#### III.2. Ecologie

*Posidonia oceanica* forme de vastes prairies appelées **herbiers**. Elle possède un système foliaire dressé, porté par des tiges sous-terraines (ou rhizomes). En fonction de certains paramètres les rhizomes se développent différemment : les rhizomes à croissance **plagiotope** (horizontale) favorisent la colonisation du substrat et les rhizomes à croissance **orthotope** (verticale) permettent de lutter contre l'enfouissement (Boudouresque & Jeudy de Grissac, 1983). Ce lacinis de rhizomes et le sédiment qui colmate les interstices, constituent une structure caractéristique : la **matte** (Fig. 4).



**Figure 4** : structure générale de l'herbier à *Posidonia oceanica* et formation de la matte.

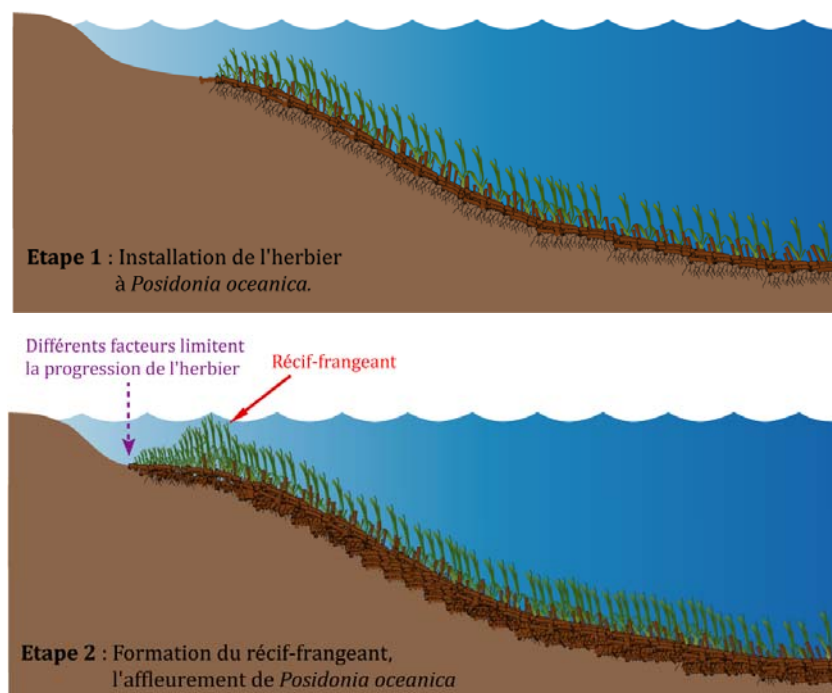
L'herbier à *Posidonia oceanica* (Fig. 5) se développe de la surface à 40 m de profondeur (Hartog, 1970 ; Duarte, 1991). Quand les eaux sont particulièrement transparentes, l'espèce peut se maintenir jusqu'à plus de 45 m de profondeur (Corse : Augier & Boudouresque, 1979 ; Boudouresque *et al.*, 1990 ; Malte : Schembri, 1995). Elle supporte des écarts thermiques

relativement importants (de 9 à 29°C) et s'observe sur des substrats très variés (e.g. vase, sables fins, moyens, grossiers, roche), même si elle affectionne les substrats meubles.

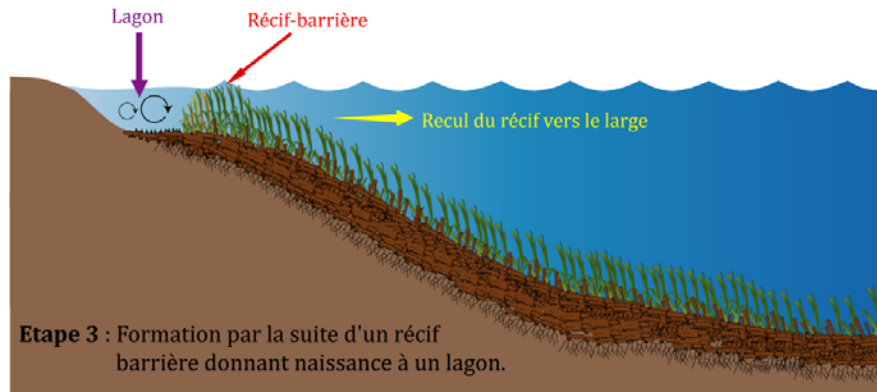


Figure 5 : herbier et matte morte de *Posidonia oceanica*.

Différents types morpho-structuraux peuvent être identifiés. Leurs dynamiques et leurs densités dépendent des conditions du milieu (e.g. nature du substrat, hydrodynamisme, courant, luminosité, opacité, température, salinité, impacts humains) (Molinier & Picard, 1952 ; Boudouresque & Meinesz, 1982). En mode calme, plus particulièrement au fond des baies, la montée de la “matte” peut s'observer jusqu'à la surface (Fig. 6). Dans un premier temps, l'émersion de l'extrémité des feuilles se localise le long de la côte. Cette formation est connue sous le nom de **récif-frangeant**. Par la suite, la croissance verticale de la matte, suite à des apports de sédiment, élargit le récif-frangeant. Au sein de la formation récifale, les feuilles et la faible profondeur gênent la circulation des eaux. La température et le taux de salinité très variables à l'intérieur du récif conduisent au recul de l'herbier entre la côte et le front d'émersion, formant un **lagon** délimité par un **récif-barrière** (Molinier & Picard, 1952 ; Boudouresque & Meinesz, 1982).







**Figure 6 :** formation d'un récif-barrière. D'après Boudouresque *et al.*, 2006.

### III.3. Protection

Face à la régression des herbiers de *Posidonia oceanica* en relation avec les activités anthropiques et à une prise de conscience, un nombre croissant de textes réglementaires nationaux, de directives communautaires et de conventions internationales ont été mis en œuvre pour protéger les herbiers :

- ❖ **Textes internationaux.** La **Convention de Berne** (signée en 1979) relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe, intègre depuis 1996 dans ses annexes, 3 des 5 espèces de magnoliophytes marines de Méditerranée dont *Posidonia oceanica* (protection de l'espèce proprement-dite). La **Convention de Barcelone** (adoptée en 1976) et le **Protocole relatif aux Aires Spécialement Protégées et à la Diversité Biologique en Méditerranée** (adopté en 1999) définissent la liste des espèces en danger ou menacées. Les magnoliophytes marines, *Posidonia oceanica*, *Zostera marina* et *Nanozostera noltii*, y sont spécifiquement mentionnées. La **Directive communautaire Habitats**, du 21 mai 1992 (92/43 CEE/Habitats Naturels) identifie les types d'habitats naturels d'intérêt communautaire ; les herbiers à *Posidonia oceanica* sont référencés en tant qu'habitat prioritaire.
- ❖ **Textes réglementaires en France.** La protection légale de *Posidonia oceanica* s'intègre dans le cadre de la **loi du 10 juillet 1976**, relative à la protection de la nature et de son **décret d'application du 25 novembre 1977**. Cette protection est officialisée par l'**Arrêté du 19 juillet 1988**, relatif à la liste des espèces végétales marines protégées, spécifie : « afin de prévenir la disparition d'espèces végétales menacées et de permettre la conservation des biotopes correspondants, sont interdits, en tout temps et sur tout le territoire métropolitain, la destruction, la coupe, l'arrachage, la mutilation, la cueillette ou l'enlèvement, le colportage, l'utilisation, la mise en vente, la vente ou l'achat de tout ou partie des spécimens sauvages des espèces ci-après énumérées (...) *Posidonia oceanica* et *Cymodocea nodosa* ». La **Loi du 3 janvier 1986** énonce les principes relatifs à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral. Cette loi « littoral » peut permettre la préservation d'un herbier ou d'une partie d'herbier, qui présente un intérêt écologique ou s'avère indispensable au maintien de l'équilibre biologique (Platini, 2000). Le **Décret du 20 septembre 1989** du Code de l'Urbanisme (dispositions particulières au littoral) stipule que : « sont

*préservés, dès lors qu'ils constituent un site ou un paysage remarquable ou caractéristique du patrimoine naturel et culturel du littoral, sont nécessaires au maintien des équilibres biologiques ou présentent un intérêt écologique : (...) les milieux abritant des concentrations naturelles d'espèces animales ou végétales tels que les herbiers (...)* ». Le **Décret du 7 juillet 1999** du Ministère des Affaires étrangères transcrit en droit national les annexes de la Convention de Berne.

#### **IV. Objectifs de l'étude**

Il existe encore peu d'informations permettant d'aider les collectivités et les organismes en charge de la gestion des écosystèmes de la région corse. Aussi, dans le cadre d'une **gestion durable et intégrée du littoral**, la réalisation d'inventaires faunistiques, floristiques et/ou de cartographies constituent des objectifs prioritaires, qui apportent des données essentielles, facilitant ainsi la prise de décision concernant l'aménagement de l'espace et la protection du littoral. Le **SIG** (Système d'Information Géographique) est un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler, d'organiser, de gérer, d'analyser, de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement (Pornon, 1992). Un tel outil permet, en outre, d'assurer la pérennité de la base de connaissances qu'il gère au sein de sa base de données géolocalisées. L'objectif premier d'un SIG est la **cartographie automatique**. Il permet d'élaborer des cartes à la demande. Les données étant géoréférencées, il est possible de choisir à tout moment, d'une part les objets que l'on souhaite cartographier, d'autre part l'échelle de représentation. L'objectif final est d'extraire **des synthèses utiles à la décision** (Didier, 1990). Un SIG gère, outre des objets géographiques, des données de type attributaire qui leur sont attachés. Ces données, de par leur nature très diverse, apportent autant d'informations complémentaires que possible comme du texte, des tableaux, des photos.

L'objectif de ce travail consiste à créer deux bases de données cartographiques de type **SIG**, facilement interrogeables par les administrations et collectivités locales ayant en charge la gestion de l'environnement littoral corse. La première a été conçue à la demande du **Réseau Caulerpes Région Corse**, Office de l'Environnement de la Corse (OEC), pour suivre l'évolution de l'espèce invasive du genre *Caulerpa racemosa* et prévenir les risques de la colonisation, sur nos côtes de *Caulerpa taxifolia*. La seconde a été réalisée suite à une étude commandée par la Direction Régionale de l'Environnement Corse (DIREN). Elle fait état du recensement des formations récifales superficielles bioconstruites de *Posidonia oceanica* dans les périmètres de désignation des sites du **réseau Natura 2000** en mer.

Les principaux objectifs concernant le Réseau Caulerpes Région Corse et le Réseau Natura 2000 sont de **faciliter l'utilisation des bases de données** et du **SIG** au niveau de la **saisie** et de **l'exploitation des données** (e.g. cartographiques). Ceci afin (i) d'établir une méthodologie de travail pour planifier les projets, (ii) de réaliser une base de données pouvant stocker l'ensemble des données existantes et intégrer les futures données des réseaux et enfin (iii) de réfléchir à une adaptation de la base de données permettant de répondre aux différents enjeux et à la demande évolutive.



# Matériels et méthodes

---

## I. Etude sur les espèces invasives du genre *Caulerpa*

### I.1. Réseau Caulerpes Région Corse

La Corse, située au cœur du golfe de Gênes (Fig. 7), est une terre de contraste, une « montagne dans la mer ». Sa population a été estimée à 279 000 habitants en 2006, ce qui correspond à la plus faible densité de la France métropolitaine. Cependant une autre démographie doit être prise en compte, durant la période estivale, l'île peut compter plus d'un million de visiteurs.



**Figure 7** : localisation géographique de la Corse au cœur de la Méditerranée.

La création du Réseau Caulerpes en Corse répond aux préoccupations de notre région face à la progression de plus en plus inquiétante, en Méditerranée, des chlorobiontes *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa*. En effet, si les fonds sous-marins corses n'ont jusqu'à présent jamais souffert de l'invasion de *C. taxifolia*, la situation est devenue, depuis peu, préoccupante, dans la mesure où des zones colonisées ont été découvertes à proximité de nos côtes, en Sardaigne (Golfe Aranci) et sur le pourtour de l'île d'Elbe (Italie).

Le Réseau Caulerpes se présente comme une composante locale de l'Observatoire sur l'expansion en Méditerranée de *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa* (Université de Nice-Sophia Antipolis). Animé et coordonné par l'Office de l'Environnement de la Corse, ce dispositif bénéficie du soutien technique et financier de l'Agence de l'Eau - R.M & C. et de la Direction Régionale de l'Environnement Corse. Un Comité de Pilotage a été créé en 2003 réunissant l'Agence de l'Eau, la DIREN Corse, l'Université de Corse, le Comité Régional de la Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-Marins (FFESSM) et la D.D.E. de Corse

du Sud (Cellule Qualité des Eaux Littorales), afin d'élaborer une stratégie régionale durable et d'assurer la coordination avec celle conduite en Région P.A.C.A.

## I.2. Méthodes de prospection dans l'acquisition des données

L'objectif fondamental du Réseau Caulerpes est d'assurer la meilleure surveillance possible régionale, grâce à deux volets d'action :

- ❖ un **volet « Alerte »**, qui repose sur la **Recherche Passive (RP)** de nouvelles colonies d'espèces du genre *Caulerpa* à partir d'informations venant spontanément des usagers de la mer. L'information et la sensibilisation de ces usagers ainsi que du grand public sont en effet apparues comme des outils primordiaux dans une stratégie de suivi et de ralentissement de l'expansion de *C. taxifolia* et *C. racemosa*,
- ❖ un **volet « Prospection »**, qui découle d'une **Recherche Active (RA)** réalisée par le biais des partenaires locaux du Réseau Caulerpes répartis sur l'ensemble du littoral insulaire, mais aussi de la participation des équipes scientifiques dans la rédaction de rapports de synthèse ou de documents d'informations. Grâce à cela, de nombreuses réponses ont été apportées par l'ensemble de ces travaux sur la biologie et l'écologie de ces espèces (*e.g.* l'origine du phénomène, la cinétique de l'expansion, les risques pour les activités humaines et pour l'environnement).

Les données de 2003 à 2007, du Réseau Caulerpes, ont été obtenues exclusivement : (i) par la distribution de plaquettes (annexe 1) éditées par l'OEC depuis 2006 (50 000 exemplaires), (ii) mais également grâce à la sensibilisation du public à travers le travail des partenaires associatifs sur le terrain et des articles de presse, (iii) par les programmations pluriannuelles de RA menées par les différents « cadres-relais », mis en place par le Comité Régional de la FFESSM et (iv) par la RP des partenaires et des usagers de la mer.

Ces différentes actions ont permis de collecter plus de 229 données sur 4 ans de prospections, avec un total de 75 plongées uniquement avec les RA. 28 % de ces données ont entraîné la localisation exacte de *Caulerpa racemosa* sur le littoral. Entre les années 2004 et 2007, plus d'une trentaine de prospections actives ont eu pour but (i) de vérifier, (ii) de valider des signalements et (iii) de suivre l'évolution des zones colonisées, déjà répertoriées (Garrido-Maestracci, 2008).

## I.3. Traitements des données

Les données acquises par le biais des Recherches Actives et/ou Passives ont été traitées à l'aide du logiciel d'aide à la navigation **Fugawi**® **3** et du logiciel de Système d'Information Géographique **MapInfo**® **Professional 7.5**. Fugawi 3 est le logiciel exploité par les « cadres-relais » pour enregistrer leurs données acquises durant les RA. Il a fallu effectuer un premier travail de récupération et de classement des données préalablement intégrées depuis 2004. L'expédition de certaines données vers le logiciel de bureautique **Microsoft**® **Excel** a été nécessaire, ceci afin de classer les différentes prospections par date, lieu et également pour apprécier les zones qui ont fait l'objet de prospection sans présence de *C. racemosa* et les zones colonisées. Ce premier traitement a permis d'avoir une idée générale des prospections

effectuées sur le littoral et de la vitesse d'expansion de la chlorobionte. Le transfert des données Excel a été fait sur MapInfo Professional 7.5. La création de la base de données du Réseau Caulerpes a pu être ainsi réalisée et le travail de cartographie visualisé. **Adobe © Illustrator CS** s'est avéré être un logiciel particulièrement adapté concernant la réalisation et la mise en page des cartes.

## II. Recensement des formations récifales de *Posidonia oceanica*

### II.1. Réseau Natura 2000

Le réseau Natura 2000 est un réseau écologique de sites naturels à travers toute l'Europe, identifiés pour la rareté ou la fragilité des espèces sauvages faunistiques ou floristiques et de leurs habitats. Ce réseau a pour objectif de contribuer à préserver la diversité biologique sur le territoire européen tout en tenant compte des exigences économiques, sociales, culturelles et régionales de chaque Etat membre, mais aussi assurer le maintien ou le rétablissement dans un état de conservation favorable des habitats naturels et des populations d'espèces de faune et de flore sauvages d'intérêt communautaire.

Il a été mis en place par la *directive* « Habitats » 92/43/CEE du 21 mai 1992 et la **directive** « Oiseaux » 79/409/CEE du 2 avril 1979. Il comprend deux types de zones naturelles protégées : les **Zones Spéciales de Conservation** (ZSC) désignées au titre de la directive « Habitats » et les **Zones de Protection Spéciales** (ZPS) désignées au titre de la directive « Oiseaux ».

En Juillet 2007, le Comité national des Aires Marines Protégées (AMP) s'est réuni au Ministère chargé de l'écologie. Deux sujets ont pu être abordés : la stratégie nationale pour la création des AMP et **Natura 2000 en Mer**. Le réseau terrestre de Natura 2000 est achevé. Natura 2000 en mer constitue l'étape finale de l'ouvrage du réseau européen. La création d'un réseau marin de zones de conservation au titre de Natura 2000 contribuera sensiblement à enrayer la diminution de la biodiversité dans l'Union Européenne, mais également à concrétiser des objectifs plus généraux de conservation et d'utilisation durable des ressources marines.

Le processus de désignation des secteurs se fait dans un premier temps par une sélection bâtie sur des critères scientifiques, s'appuyant sur des milieux naturels et des espèces à protéger énumérés dans les directives Habitats et Oiseaux (Fig. 8). Une fois ces secteurs définis, le code de l'environnement prévoit la consultation des organes délibérants des communes et Etablissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI) concernés sur le périmètre des secteurs proposés. D'autre part des réunions sont organisées afin de recueillir l'avis de l'ensemble des acteurs concernés. Une fois ces avis réunis, le préfet transmet les projets au Ministère chargé de l'écologie qui les valide et les transfère à l'Europe. Après inscription par la Commission européenne, l'Etat français prend un arrêté de désignation des sites Natura 2000.



**Figure 8 :** périmètres de consultation des zones Natura 2000 Mer en Corse. Sites d'étude pour le recensement des formations récifales superficielles bioconstruites de *Posidonia oceanica*.

## II.2. Acquisition et description des données

### II.2.1. Données bibliographiques et cartographiques

La recherche des données existantes relatives aux récifs de *Posidonia oceanica* fournit un état des investigations réalisées sur ces formations superficielles sur le littoral corse. Elle permet également (i) de recenser les zones prioritaires à prospecter pour notre étude et (ii) d'avoir plus de connaissances sur les conditions de développement d'un récif. En couplant les données de la littérature et celles obtenues à l'aide des cartes (Pasqualini, 1997 ; des cartes SHOM visualisées sur le logiciel d'aide à la navigation Fugawi 3 ; une carte sur la sensibilité écologique le long du littoral corse et le réseau hydrographique ; des cartes « MapSend BlueNav Local Charts » fournies avec le GPS Magellan) nous avons pu réaliser une carte transitoire.

## II.2.2. Données cartographiques et attributaires

Des missions terrains ont été organisées dans le but de prospector et de vérifier les sites sélectionnés à partir des données bibliographiques et cartographiques. Lorsque des formations récifales ont été rencontrées un certain nombre de paramètres ont été mesurés et des observations ont été réalisées.

### II.2.2.1. Données cartographiques

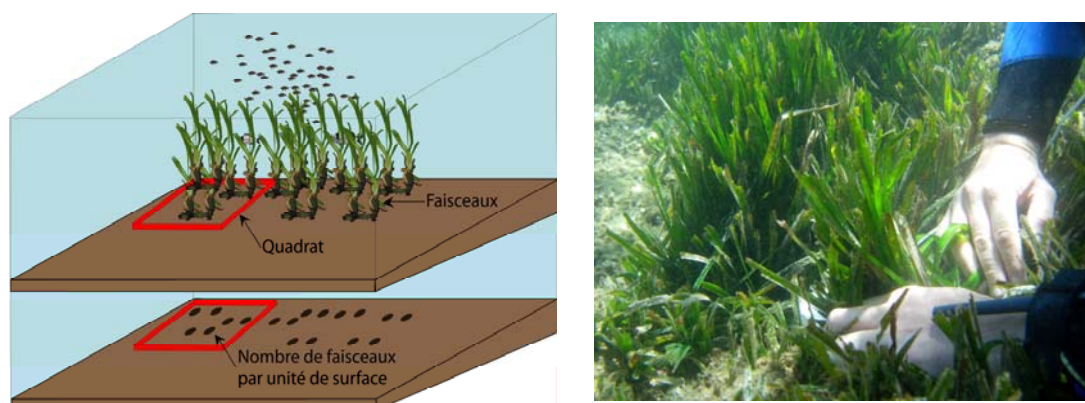
#### - Morphologie récifale

La forme du récif a été enregistrée à l'aide du **GPS Magellan® eXplorist 500**. Le GPS, au préalable défini sur mode « trace », est placé dans une boîte étanche. Elle est alors tractée par la personne en charge de la manipulation. Le GPS ainsi installé enregistre tous les déplacements effectués. Une difficulté dans la prise de cette mesure est à noter. Effectivement selon la superficie de la formation, l'enregistrement de la trace est plus au moins de forme géométrique. Ceci est dû à l'intervalle de distance entre chaque position relevée. L'utilisation de photographies aériennes (BD Ortho® IGN 2002) a été nécessaire, lorsque leur qualité était suffisante, pour préciser les contours de la formation récifale, convertis par le GPS sur le logiciel de SIG **MapInfo® Professional 7.5**.

### II.2.2.2. Données attributaires

#### - Densité

La densité de l'herbier est un paramètre très utilisé. Il correspond au nombre de faisceaux par unité de surface (m<sup>2</sup>), ici le cm (Fig. 9). Cette mesure est effectuée à l'aide d'un quadrat de 20 cm de côté. La densité apporte des informations traduisant la vitalité et la dynamique de la formation récifale de *Posidonia oceanica* et peut s'avérer révélatrice de l'impact de l'homme sur le milieu (Leoni, 2005 ; Pergent-Martini *et al.*, 2005).



**Figure 9** : mesure de la densité (à droite schématisation de la mesure et à gauche comptage sur le terrain).



## - Recouvrement

Le recouvrement correspond au pourcentage de substrat couvert par les feuilles de *Posidonia oceanica* par rapport aux zones non couvertes (e.g. sable, matre morte). Ce paramètre est estimé *in situ* sur plusieurs points du récif.

## - Analyses phénologiques et lépidochronologiques

En vue des analyses lépidochronologiques et phénologiques, un minimum de 15 faisceaux sont prélevés par site. Les feuilles et les rhizomes sont séparés selon le protocole de Giraud (1979), puis dénombrés et mesurés. En fonction de leur âge (Fig. 10), on distingue :

- Les feuilles adultes, qui sont pourvues d'une base (ou pétiole)
- Les feuilles intermédiaires, dépourvues de pétiole ou dont le pétiole est inférieur à 2 mm
- Les feuilles juvéniles, dépourvues de pétioles et dont la longueur n'excède pas 50 mm.

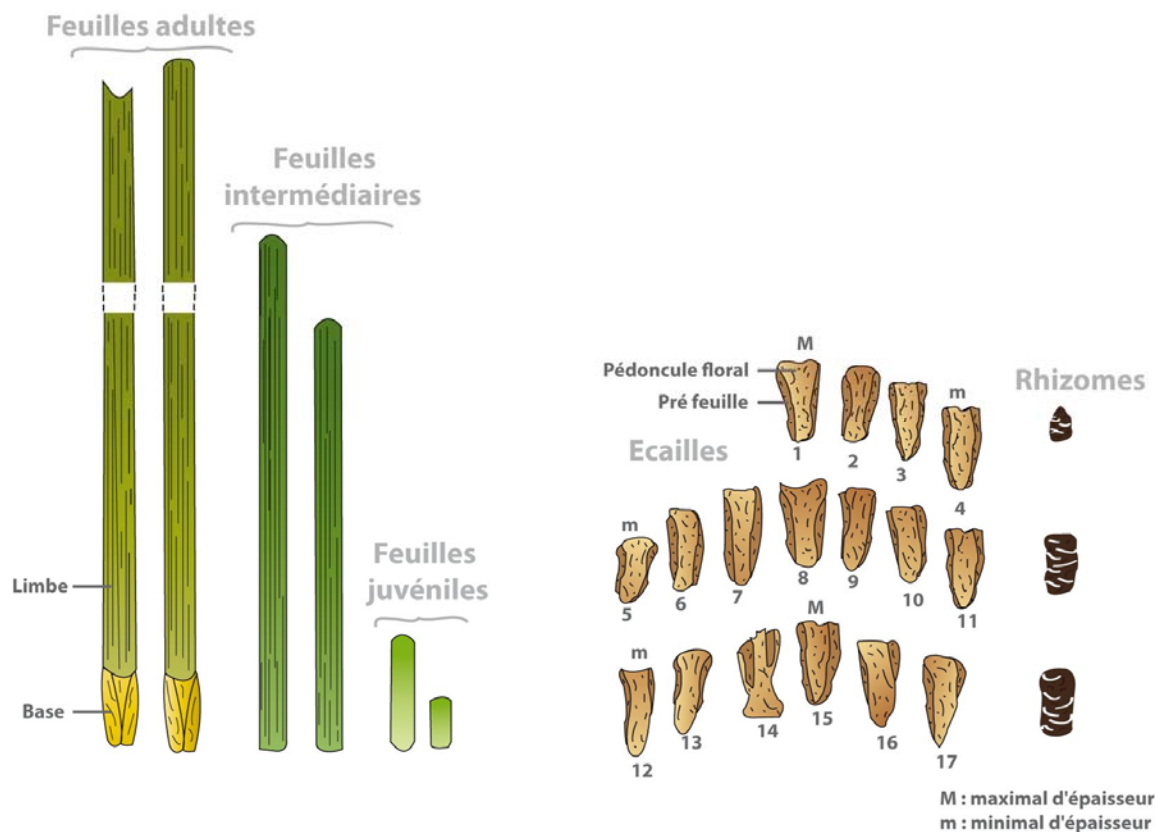


Figure 10 : faisceau foliaire et rhizome de *Posidonia oceanica* disséqués en vue de l'étude lépidochronologique et phénologique. D'après Boudouresque et Meinesz, 1982, modifié par R. Leonardini.

Quand les feuilles de *Posidonia oceanica* meurent, seul le limbe tombe. Le pétiole reste attaché sur le rhizome (on parle alors d'écaille). L'épaisseur de ces écailles varie de façon cyclique en fonction de leur rang d'insertion sur le rhizome (Crouzet, 1981). Ces cycles ont une périodicité annuelle avec un maximum (M) et un minimum (m) d'épaisseur par an (Fig. 10). Par similitude avec la dendrochronologie, l'étude de ces variations cycliques est appelée « lépidochronologie » (Boudouresque *et al.*, 1983).

### ❖ Analyse lépidochronologique

L'analyse lépidochronologique permet d'évaluer le nombre de feuilles produites annuellement (nombre d'écaillés par cycle) et la vitesse de croissance des rhizomes (Pergent & Pergent-Martini, 1990). La présence de restes de pédoncules floraux, intercalés entre les écaillés le long des rhizomes, permet de retrouver et de dater des floraisons anciennes ("paléo-floraisons"). Nous avons réalisé également une nouvelle mesure, qui consiste à mesurer les écaillés dans leur longueur afin d'estimer la longueur moyenne des feuilles annuellement. Sachant que la longueur des bases varie sur le faisceau (i) en fonction du rang de la feuille, mais également (ii) avec la période de récolte (Pergent, 1987). La longueur finale des bases est ensuite corrélée à la longueur des limbes (Pergent, 1987 ; Boumaza, 1995 ; Rico Raimondino, 1995 ; Guidetti & Fabiano, 2000 ; Vela, 2006). L'impossibilité de mesurer la longueur des limbes de rang 3, car l'apex est souvent brisé, nécessite d'avoir recours à une mesure indirecte de ce paramètre. Une corrélation significative, entre la longueur des limbes entiers (rang 3) et des bases (rang 1) permet de déterminer alors leur croissance (Vela, 2006).

### ❖ Analyse phénologique

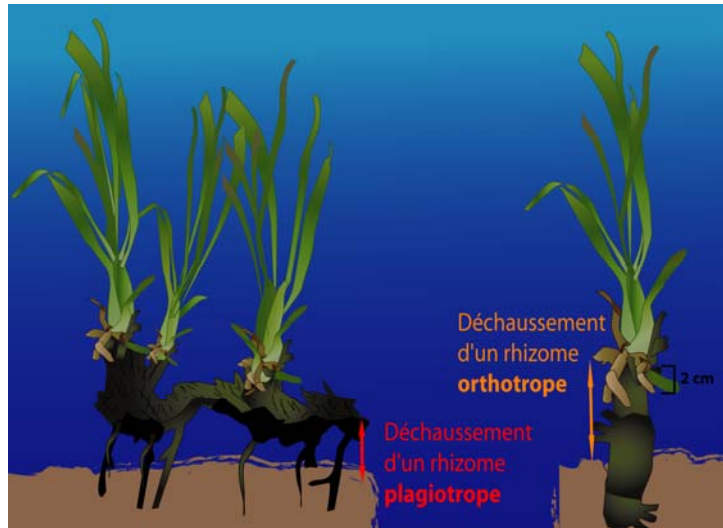
La phénologie est l'étude des caractères morphologiques de la plante (*e.g.* structure des faisceaux, biométrie foliaire). Pour chaque type de feuilles nous mesurons la longueur totale (LT) et la largeur (l), et la longueur du pétiole, quand il existe. Le nombre de feuilles de chaque type par faisceaux ainsi que l'état de l'apex (entières ou coupées) sont notés. En effet, l'état des apex apporte des renseignements sur le taux de consommation par les herbivores (Velimirov, 1984; Zupo & Fresi, 1985; Verlaque, 1987) ou sur l'hydrodynamisme du site (Mazzella *et al.*, 1981; Wittmann *et al.*, 1981). Nous calculons alors le « Coefficient A » qui traduit le pourcentage de feuilles ayant perdu leur apex (feuilles cassées ou broutées selon Giraud, 1977). Les paramètres biométriques permettent de déterminer l'indice foliaire. Ce dernier traduit la surface des feuilles par m<sup>2</sup> (Drew, 1971; Drew & Jupp, 1976). Le calcul peut également être effectué par faisceau et fournir l'indice foliaire par faisceau.

#### - Profil bathymétrique

Afin de restituer un aperçu de la morphologie des récifs-barrière des profils bathymétriques ont été levés. Les coordonnées géographiques ainsi que la hauteur d'eau ont été enregistrées en fonction des changements de types de fonds selon un trajet linéaire traversant les récifs-barrière.

#### - Déchaussement et envasement des rhizomes

Pour les rhizomes plagiotropes (rampants), le déchaussement est la distance qui sépare le sédiment de la partie inférieure des rhizomes. Pour les rhizomes orthotropes (dressés), le déchaussement est la distance qui sépare le sédiment de la base des feuilles, moins 2 cm (Fig. 11).



**Figure 11** : définition de la hauteur de déchaussement des rhizomes plagiotrope et orthotrope de *Posidonia oceanica* (d'après Boudouresque *et al.*, 1980).

Nous pouvons noter le phénomène inverse ou enfouissement des rhizomes. Il est noté comme un déchaussement négatif.

#### - Populations associées

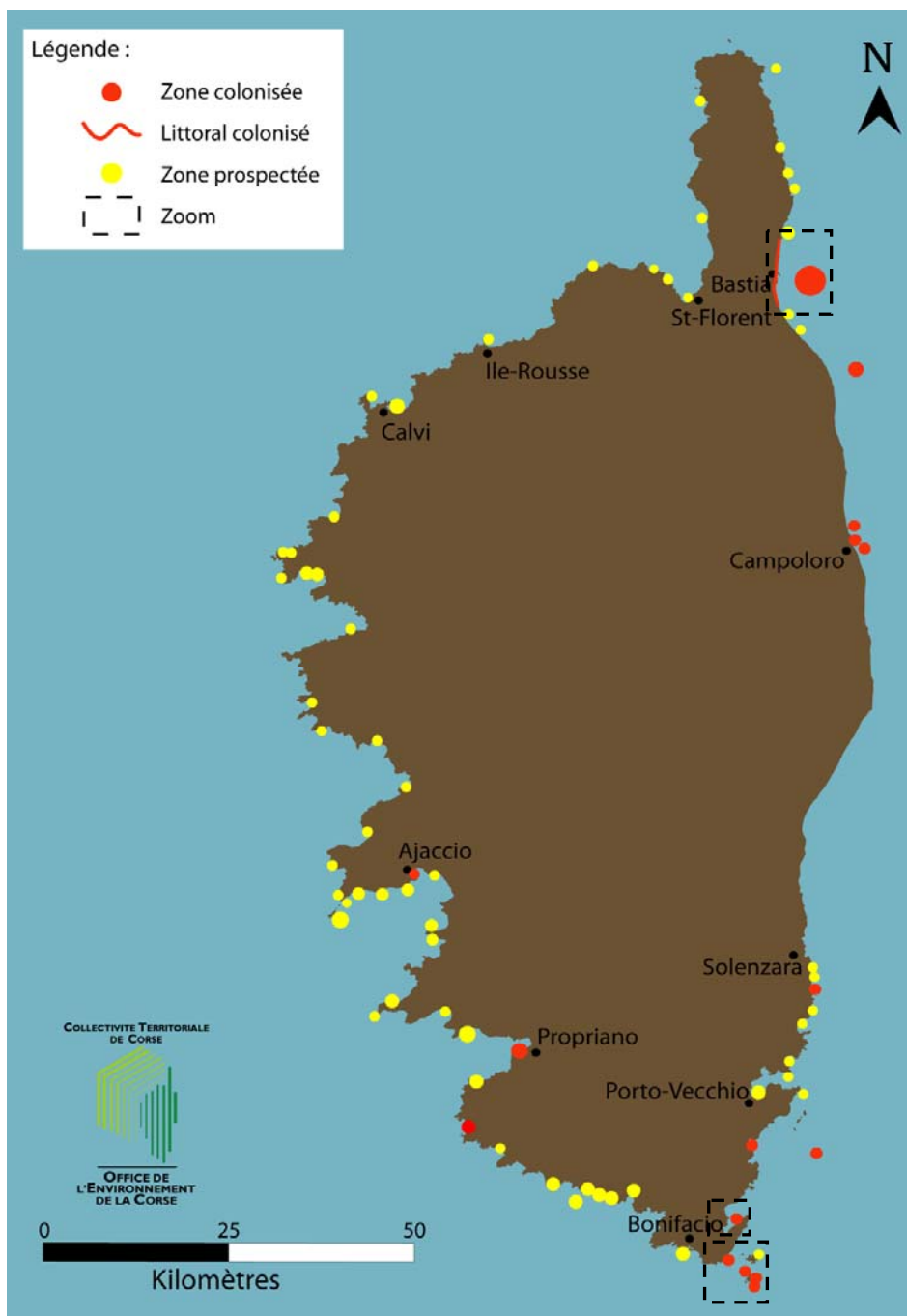
Les espèces associées (*e.g.* poissons, échinodermes, macrophytes) sont identifiées directement *in situ* et par interprétation des prises de vue sous-marines. Leur abondance est également évaluée visuellement. La prise en compte des populations associées à l'herbier fournit des indications sur la biodiversité de la zone d'étude et sur les interactions entre l'herbier et les espèces considérées. Toutefois, l'influence de la saison ainsi que le milieu environnement sont marqués et doivent être pris en compte.

# Résultats

## I. Etude sur les espèces invasives du genre *Caulerpa*

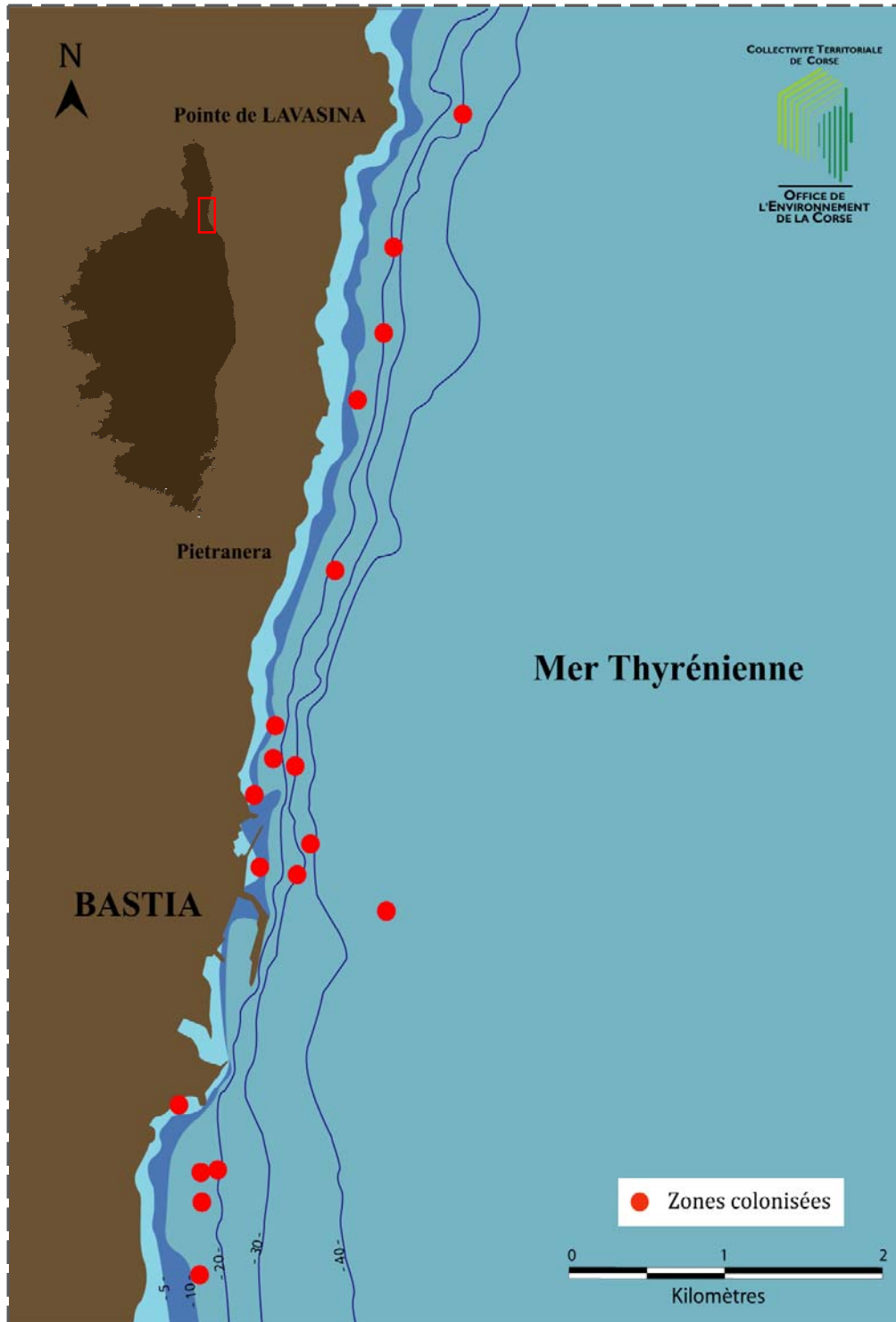
### I.1. Cartographie de l'espèce invasive *Caulerpa racemosa*

Les données acquises depuis 5 ans par le Réseau Caulerpes Région Corse ont permis de réaliser la carte sur la situation de l'invasion par *Caulerpa racemosa* et la situation des zones prospectées le long du littoral (Fig. 12). Les points jaunes illustrent les zones prospectées non colonisées par les chlorobiontes du genre *Caulerpa*.



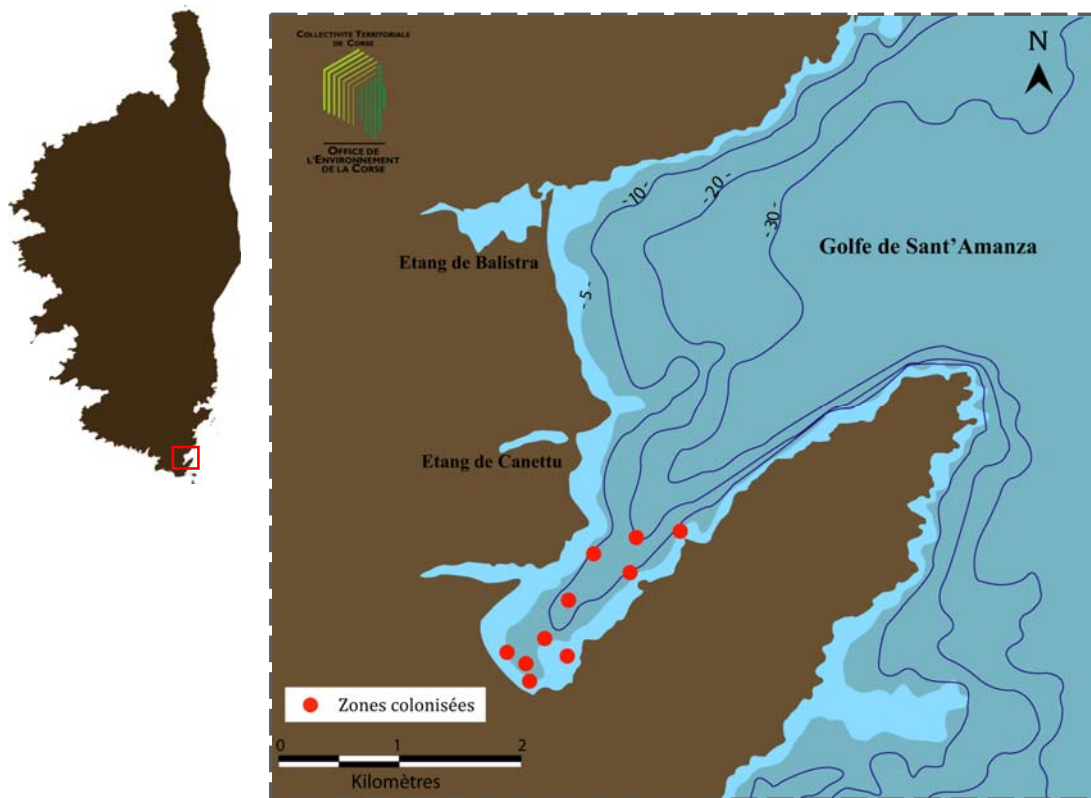
**Figure 12** : situation de l'invasion de *Caulerpa racemosa* et localisation des zones prospectées sur le littoral corse à la fin de l'année 2007.

Quelques exemples des zones colonisées que nous avons agrandi à partir de la carte principale (Fig. 12), afin d'avoir plus de détails sur l'ampleur de la colonisation et sur la localisation précise des sites prospectés. Trois cartes (Fig. 13, 14, 15) sont représentées, ci-dessous, sur les 10 réalisées dans le cadre du Réseau Caulerpes (Garrido-Maestracci, 2008). La taille des ronds rouges, correspondant aux zones colonisées, peut varier sur les cartes en fonction de l'échelle et non de la superficie de la tâche de *Caulerpa racemosa*.

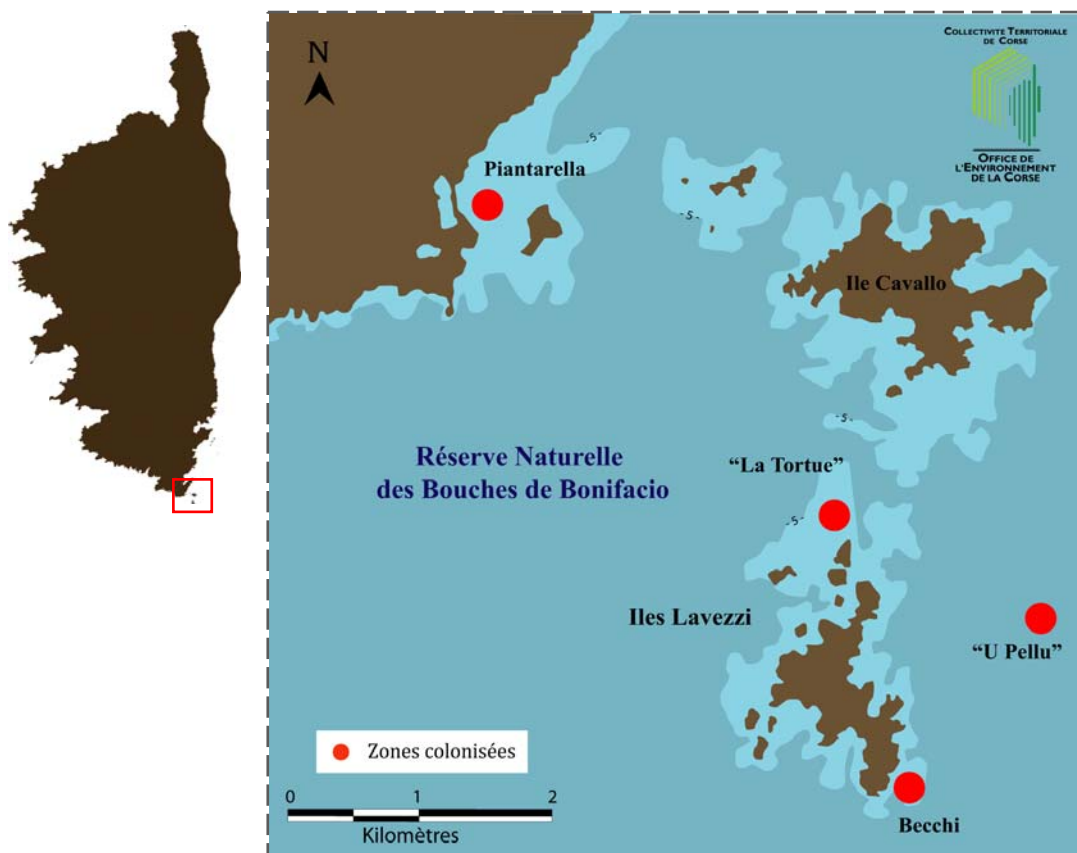


**Figure 13** : situation de l'invasion de *Caulerpa racemosa* dans la région bastiaise à la fin de l'année 2007.





**Figure 14** : situation de l'invasion de *Caulerpa racemosa* dans le golfe de Sant'Amanza à la fin de l'année 2007.



**Figure 15** : situation de l'invasion de *Caulerpa racemosa* dans la Réserve Naturelle des Bouches de Bonifacio (îles Lavezzi et Piantarella) à la fin de l'année 2007.

## I.2. Evolution de l'expansion depuis 2003

A l'aide des données attributaires (e.g. années de prospection, lieu, surface de la zone colonisée) préalablement enregistrées dans le SIG, nous avons pu réaliser une carte sur le suivi de l'expansion des zones colonisées par *Caulerpa racemosa* (Fig. 16).



Figure 16 : suivi de l'expansion de *Caulerpa racemosa* sur le littoral corse en fonction des années de découvertes de la chlorobionte.

## II. Recensement des formations récifales de *Posidonia oceanica*

### II.1. Zones de prospections

La carte de prospection (Fig. 17) contient les **zones à prospecter** (en jaune), et les **sites déjà répertoriés** (en rouge). Les zones à prospecter ont été choisies en fonction de la présence d'herbier et des conditions environnementales préférentielles afin d'abriter une formation récifale à savoir (i) un lieu calme (*e.g.* fond de baie), (ii) de faible profondeur avec (iii) un apport sédimentaire. La carte provisoire nous a été utile lors de la planification, de la logistique et la gestion des missions de terrain.



**Figure 17** : carte représentant la localisation des sites à prospecter et des formations récifales ayant fait l'objet d'études ou d'un premier recensement dans le périmètre de consultation des zones Natura 2000 en mer.

## II.2. Recensement des récifs-barrière : résultats préliminaires

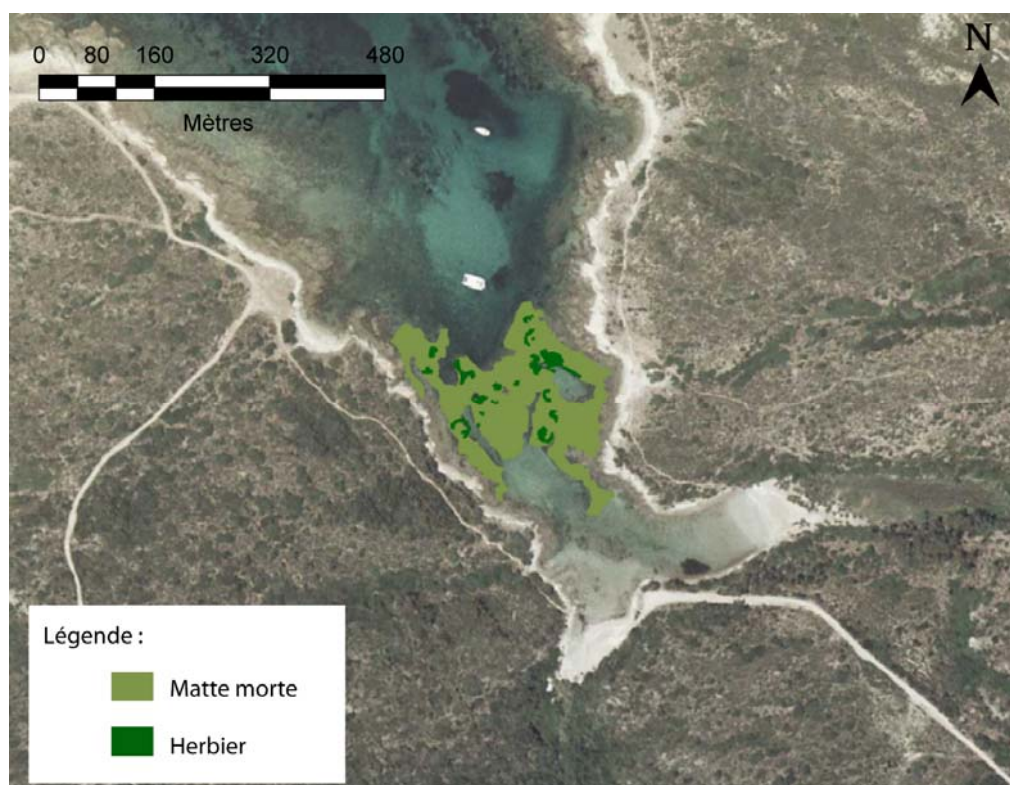
Le travail de production d'informations terminé, nous avons pu mettre en œuvre la réalisation d'une carte (Fig. 18) concernant la localisation des récifs-barrière le long du littoral corse. L'étude étant toujours en cours au moment du rendu du présent rapport, cette carte ne représentera qu'une partie du recensement réalisé. Les périmètres de consultation des zones Natura 2000 mer de Cargèse à la Revellata, du Golfe de Porto-Vecchio et des Bouches de Bonifacio correspondent aux endroits étant en cours de prospection. 10 récifs-barrière ont été déjà étudiés : **Malfalcu**, **Valdolese**, **Fornali**, **Punta di i frati** et **Saint-Florent** (Cap-Corse / Agriates), **Taglio-Isolaccia** (Côte Orientale), **Tizzano** (Campomoro / Senetosa) et **Furnellu**, **Ventilegne**, **Sant'Amanza** (Bouches de Bonifacio).



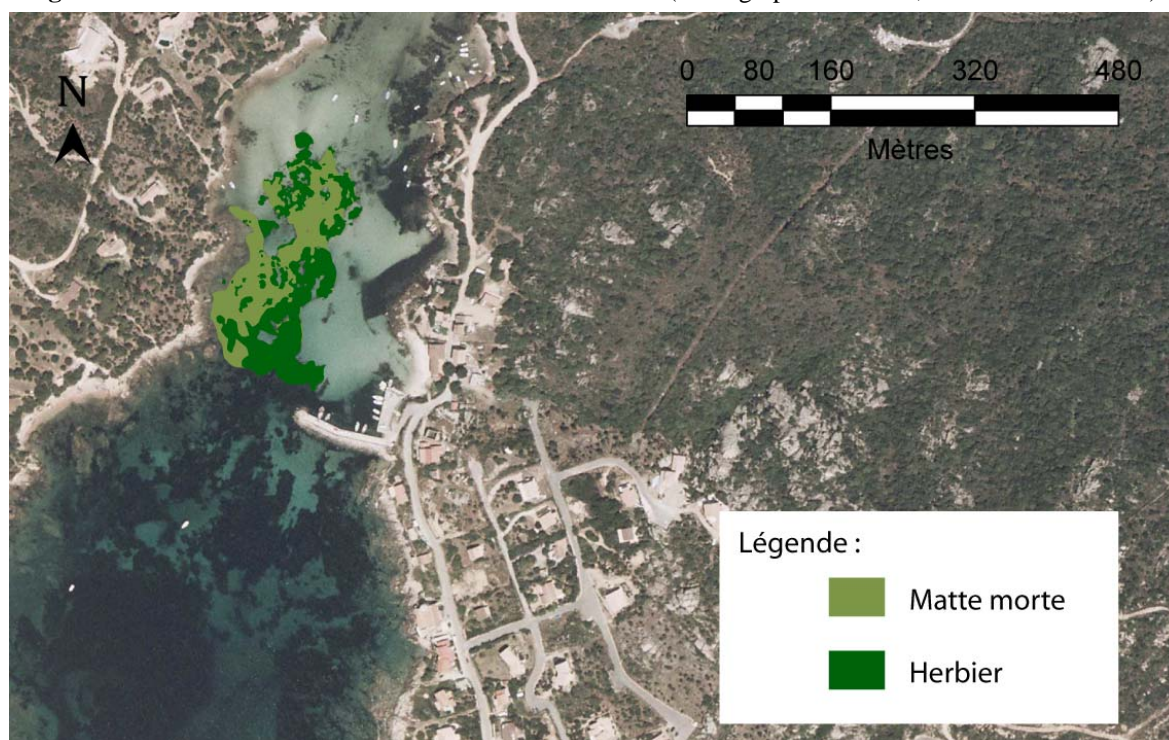
**Figure 18** : carte représentant la localisation des 10 récifs-barrière recensés sur le littoral corse et les sites restant à prospecter dans 3 périmètres de consultation des zones Natura 2000 en mer.



La forme de chaque récif-barrière a été enregistrée lors de nos études. En couplant les données converties par le GPS et les images satellites (BD Ortho ® IGN 2002) nous avons pu réaliser un schéma très réaliste des formations récifales rencontrées. 2 schémas (Fig. 19 et 20), sur les 10 effectués, seront représentés. Pour une visualisation complète du travail exécuté il faudra étudier le rapport, concernant le **recensement des formations récifales superficielles bioconstruites sur le littoral corse**, qui sera rendu à la DIREN en octobre 2008.



**Figure 19** : forme du récif-barrière dans l'anse de Malfalcu (Photographie aérienne, BD Ortho IGN 2002).



**Figure 20** : forme du récif-barrière dans l'anse de Tizzano (Photographie aérienne, BD Ortho IGN 2002).

### II.3. Données pour la table attributaire

L'étude commandée par la DIREN Corse, portant sur le recensement des formations récifales superficielles bioconstruites sur le littoral corse, exigeait dans son cahier des charges un rapport de synthèse comportant les résultats, l'élaboration de tableaux, de grilles et de base de données textes, faisant état de l'analyse de chacun des sites rencontrés ayant fait l'objet d'une étude. Ces données seront transmises dans un **SIG** sous forme de **couches de données superposables**. Les données complémentaires (*e.g.* paramètres biotiques et abiotiques), recueillies durant les missions de terrains et les informations obtenues par traitements de données, concernant la caractérisation des formations, apparaîtront dans la **table attributaire** associée et le rapport de synthèse.

#### II.3.1. Fiche de synthèse

Pour chaque formation récifale étudiée, une fiche de synthèse (annexe 2) a été établie à partir des données récoltées dans la bibliographie et sur le terrain. Les données renseignées sur cette fiche sont : la localisation, le signalement antérieur, la description du site, la température de l'eau, le profil, toutes les mesures effectuées sur l'herbier, les impacts observés et la qualité de la formation. Les fiches de synthèses et les tables attributaires, comportant sensiblement le même type de données, ne sont pas destinées aux mêmes personnes. Les tables attributaires sont conçues pour les « SIGistes » et les fiches de synthèse pour les gestionnaires non spécialistes en SIG.

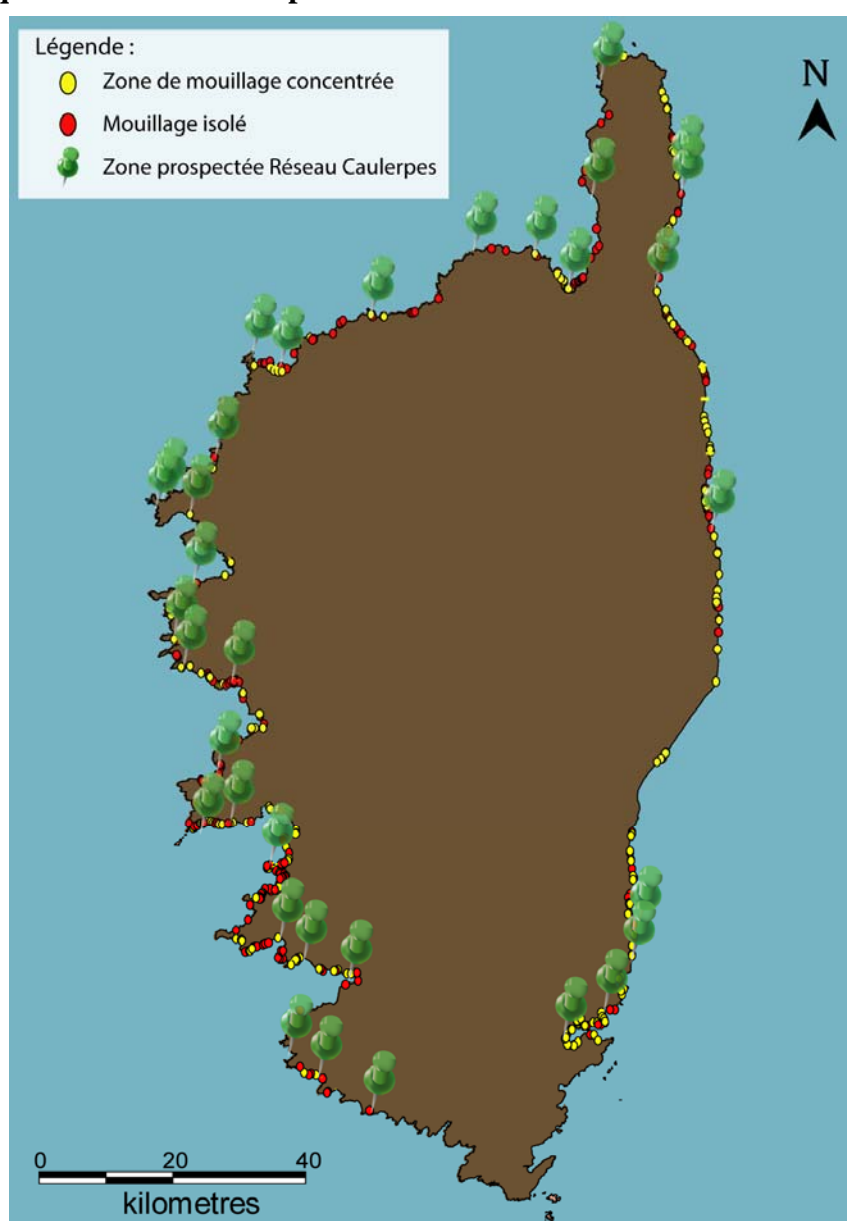


## Discussion

### I. Etude sur les espèces invasives du genre *Caulerpa*

#### I.1. Intérêt du suivi cartographique

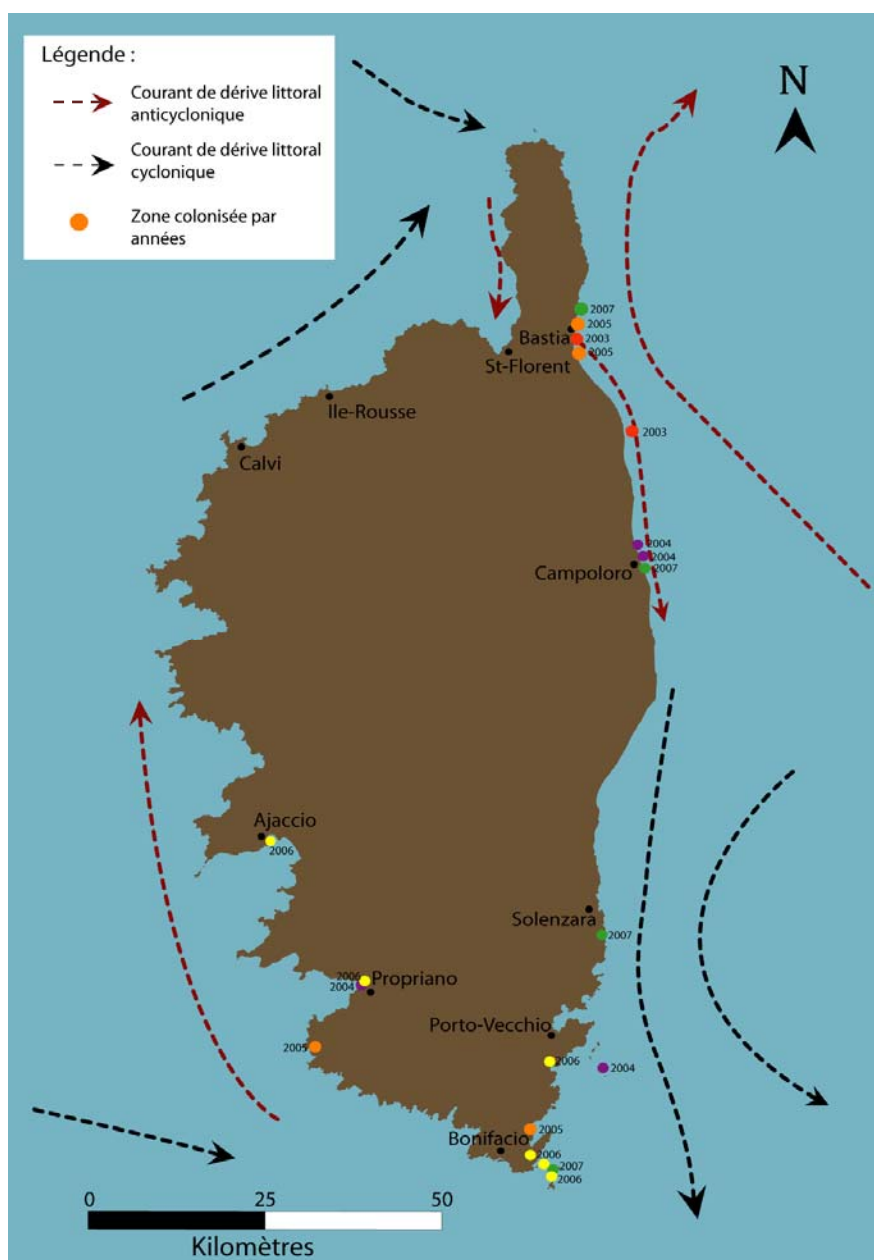
Le suivi cartographique des colonies de *Caulerpa racemosa* et la connaissance de l'état de l'expansion de ces colonies, suite aux investigations menées par le Réseau Caulerpes, offrent la possibilité de réaliser une meilleure gestion de l'expansion de cette espèce invasive. En effet, les cartes générées par le SIG permettent de **planifier** (Fig. 21), puis de **quantifier financièrement** les **interventions de contrôle** et de donner quelques éléments de réponse pour l'**interprétation scientifique** de certains phénomènes (Fig.22). Les **informations cartographiques** collectées sont **capitales**.



**Figure 21** : carte générale des mouillages fixes, répertoriés autour de la Corse (d'après Cancemi & Acquatella, 2004), avec la représentation des zones prospectées par le Réseau Caulerpes.

Concernant la **planification des Recherches Actives** par les cadres-relais, les informations recueillies dans le rapport de Cancemi & Acquatella (2004), sur « la répartition des mouillages forains présents dans les sites sensibles le long du littoral de la Corse » et la superposition de la carte sur la situation de l'invasion de *Caulerpa racemosa* ainsi que la localisation des zones prospectées sur le littoral corse (Fig.12), ont permis de mettre en évidence les zones non prospectées pouvant faire l'objet d'invasion de chlorobionte du genre *Caulerpa* (Fig. 21). Sur la carte, le sud de la Corse (Réserve Naturelle des Bouches de Bonifacio) n'a pas été pris en considération, car cette zone avait fait l'objet d'une étude antérieure à 2004 sur les mouillages (Cancemi & Hugot, 2002).

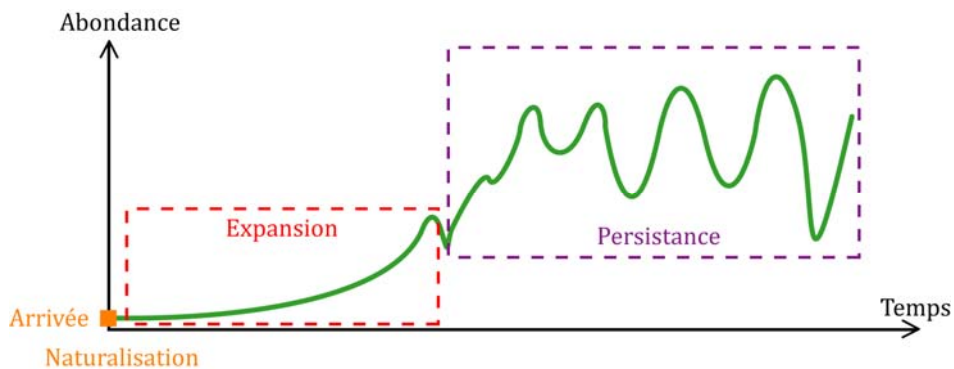
Au sujet de la **cinétique du phénomène** des hypothèses ont pu être émises à partir de la superposition de données diverses (e.g. courantologie et suivi de l'expansion ; Fig. 22).



**Figure 22 :** carte de la dérive littorale cyclonique et anticyclonique en Corse (d'après Millot, 1987) et suivi de l'expansion de *Caulerpa racemosa* sur le littoral en fonction des années de découvertes.

La dissémination de la chlorobionte apparaît essentiellement due au courant, pour les zones telles que la région bastiaise et la plaine orientale (Pergent *et al.*, 2006). Toutefois, le bouturage pourrait aussi jouer un rôle important (*e.g.* Golfe du Valinco, Golfe d’Ajaccio).

Le SIG a permis de confirmer la stratégie adoptée, concernant l’éradication de *C. racemosa* face à son expansion sur nos côtes. A savoir aucune éradication envisagée, sauf si son expansion atteint des zones « sanctuaires » (zones qui peuvent être distinguées en fonction de l’appréciation des menaces qui pèsent sur elles). Par exemple, peuvent être considérés comme zones sanctuaires, les **tombants de coralligènes**, les **récif artificiels**, les **peuplements de gorgones**, les **sites remarquables**, les **réserves intégrales...**, et même dans cette situation la décision sera prise au cas par cas. En effet, il n’existerait aucune technique permettant l’éradication, pérenne et à faible coût économique, de *C. racemosa*. De plus, la superficie des zones colonisées est déjà très étendue, ce qui justifie de privilégier le contrôle sur cette espèce. Pour envisager l’éradication de *C. racemosa* il faudrait attendre l’équilibre écologique (Phase de persistance, Fig. 23).



**Figure 23** : cinétique de l'expansion d'une espèce introduite : arrivée, naturalisation, phases d'expansion et de persistance. Au cours de ces deux dernières phases, l'abondance de l'espèce fluctue naturellement. D'après Boudouresque 1999b modifié.

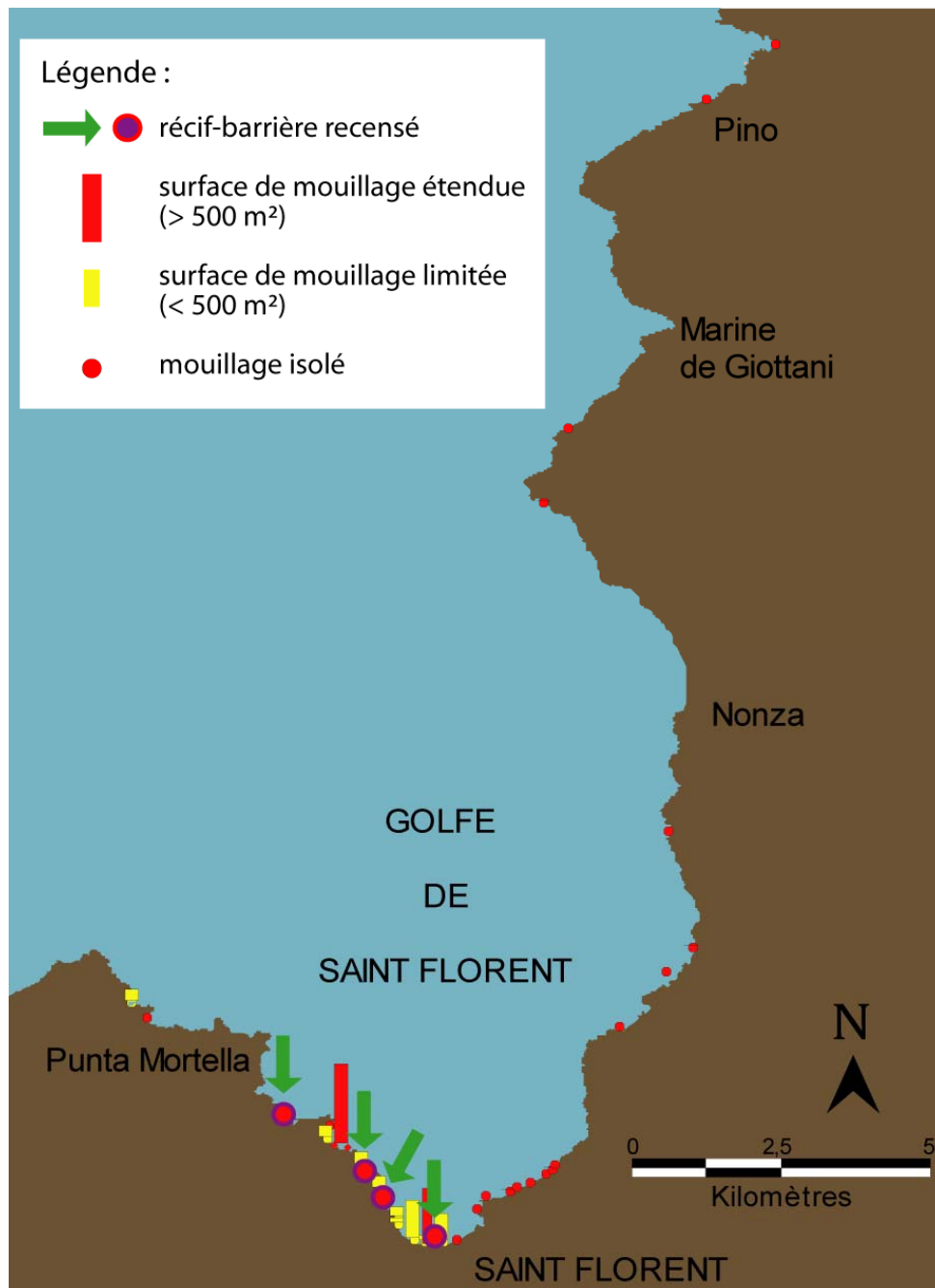
## II. Recensement des formations récifales de *Posidonia oceanica*

### II.1. Intérêt de la création de la base de données géoréférencées

L'intérêt des informations et des cartes apportées par le croisement des données lors du recensement des formations récifales de *Posidonia oceanica* ont permis (i) la **localisation des zones sensibles** et (ii) l'**identification de certains conflits** ou principales contraintes face à l'installation d'une gestion durable (*e.g.* plaisance, tourisme, aquaculture).

En effet, les cartes générées par le SIG permettent de **quantifier** et **qualifier** certaines pressions anthropiques qui s'exercent ou peuvent s'exercer sur le long terme sur les récifs-barrière (Fig. 24). Les pressions humaines sur le littoral se traduisent par un processus d'occupation et d'utilisation progressive de l'espace naturel. Le littoral est le lieu où se concentrent, de nos jours, de nombreux conflits d'usages qui ne se préoccupent pas assez de la préservation des écosystèmes marins côtiers. Ces derniers sont des systèmes très productifs (*e.g.* herbiers à *Posidonia oceanica*), sont également très vulnérables et par conséquent

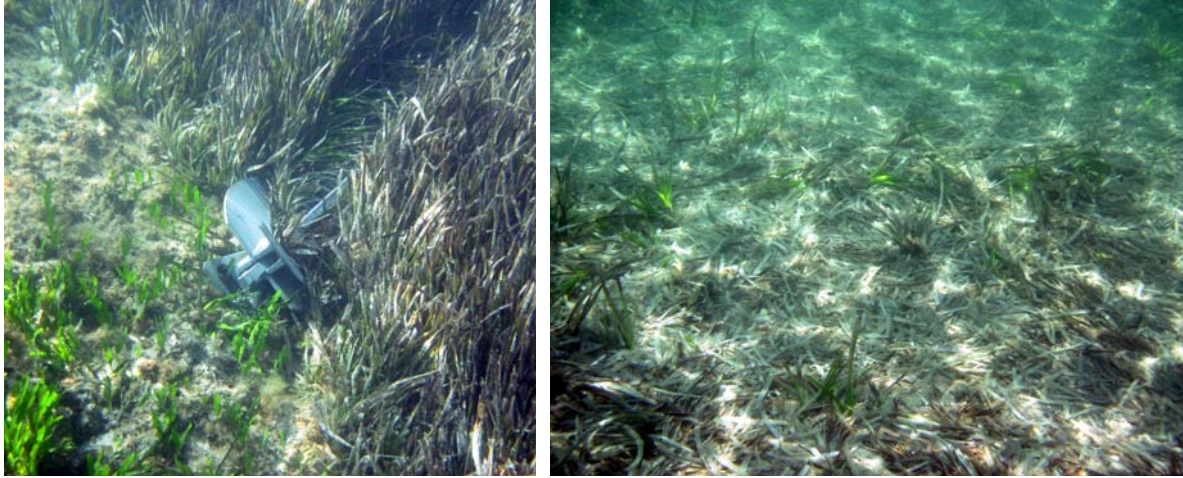
subissent de fortes pressions. Elles ont pour impacts (i) la modification ou la disparition de nombreux habitats naturels et (ii) la fragilisation des écosystèmes côtiers qui affectent la qualité et la quantité des ressources naturelles. Les informations recueillies dans le rapport de Cancemi & Acquatella (2004), sur les mouillages répertoriés dans le golfe de Saint-Florent et la superposition de la carte sur la localisation des récifs-barrière, dans ce même golfe, ont permis de mettre en évidence la fréquentation des différents sites et l'enjeu que cela représente dans la préservation de ces formations récifales (Fig. 24). En effet, les zones comportant des mouillages importants, en termes de quantité et de surface, correspondent également aux endroits où la présence de récifs-barrière a été notée.



**Figure 24 :** carte des mouillages fixes (corps morts) répertoriés entre le golfe de Saint-Florent et Pino (d'après Cancemi & Acquatella, 2004), avec la localisation des récifs-barrière étudiés dans cette zone.



Les formations récifales superficielles bioconstruites de *Posidonia oceanica* connaissent effectivement des impacts ou des fortes pressions causés par (i) les mouillages des bateaux, aussi bien libres (avec ancre, Fig. 25), que fixes (corps morts, Fig. 26), (ii) la navigation, (iii) le tourisme et (iv) l'influence de l'aquaculture.



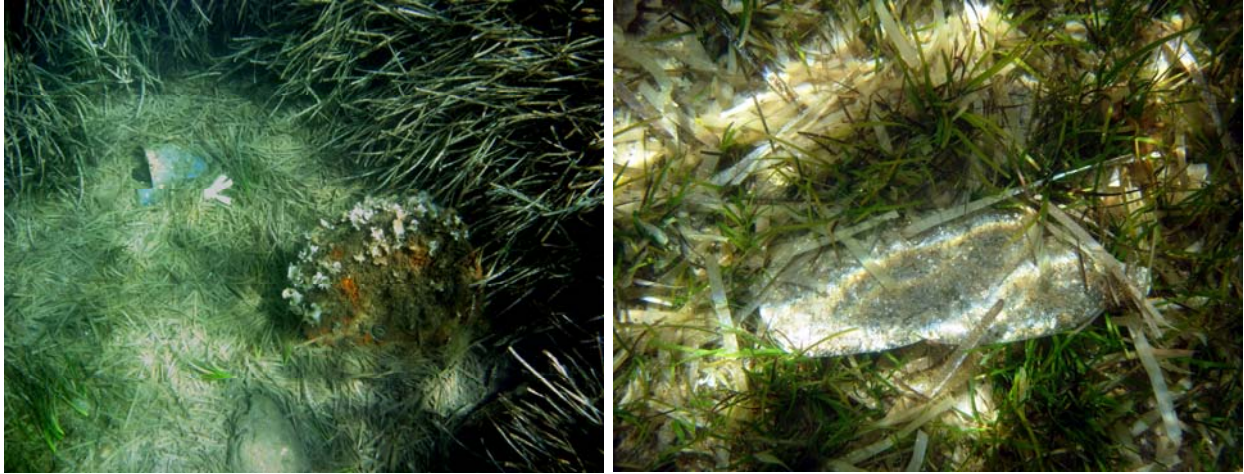
**Figure 25 :** photographies permettant de visualiser l'impact direct, non négligeable, de l'ancrage dans l'herbier à *Posidonia oceanica*, avec l'arrachage intensif de rhizomes.



**Figure 26 :** photographies permettant de visualiser l'impact des corps morts dans l'herbier à *Posidonia oceanica*.

Les interactions entre les activités humaines (*e.g.* plaisance, tourisme) et les formations récifales apparaissent au niveau de l'utilisation de l'espace. Car les sites privilégiés par les activités de plaisance, le tourisme, c'est-à-dire, lieu abrité, faible profondeur, correspondent également aux conditions favorables pour l'installation d'une formation récifale. Lorsque nous étudions certains récifs-barrière (*e.g.* Fornali, Tizzano), nous avons pu noter l'intense fréquentation de ces sites. D'ailleurs, l'état général de la formation récifale est impacté par la forte activité nautique autour et sur la matée morte. Il y a une pression physique exercée sur le récif-barrière avec une abondance des déchets (Fig. 27), par endroits des chenaux ou sillons qui peuvent correspondre à des échouages (Fig. 28).





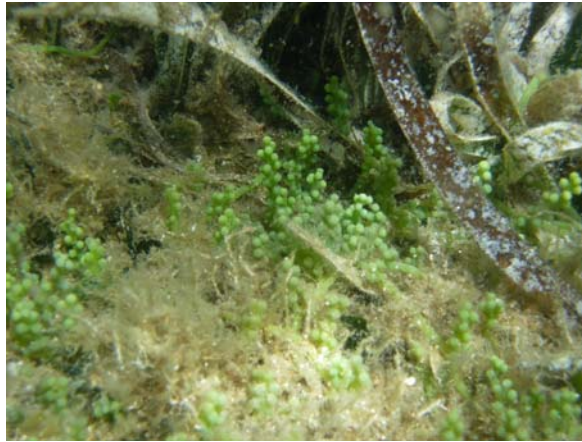
**Figure 27 :** photographies présentant les différents déchets rencontrés sur les formations récifales impactées par les activités anthropiques intensives.



**Figure 28 :** photographies d'un sillon ou chenal sur le récif de Saint-Florent.

Par exemple, concernant les 4 formations récifales recensées dans le golfe de Saint-Florent (Fig. 24), les futurs gestionnaires de cette zone devront faire face à l'activité portuaire intense (*e.g.* le trafic, la plaisance, les pollutions spécifiques aux zones portuaires, location de bateaux) et à la baignade. Il faudra donc prendre en compte tous ces paramètres et essayer de les concilier avec la conservation du biotope. Pour les récifs-barrière situés dans le golfe de Sant'Amanza, les gestionnaires auront à gérer une activité supplémentaire : l'aquaculture. La ferme aquacole se situe à proximité d'une formation récifale ayant fait l'objet d'une prospection. Cette dernière présentait des signes qui laissent supposer des impacts dus à la pression exercée par l'aquaculture. L'herbier sur la matrice est épiphyté, les communautés algales sont différentes, en comparaison à d'autres sites visités et le sédiment présente des

signes d'anoxie. Il y a également la présence, au sein de l'herbier à *Posidonia oceanica*, de la chlorobionte *Caulerpa racemosa* (Fig. 29). Ceci implique une difficulté supplémentaire en cas d'éradication de l'espèce invasive.



**Figure 29** : photographies de *Caulerpa racemosa* dans l'herbier de *Posidonia oceanica* sur l'un des récifs-barrière situé dans le golfe de Sant' Amanza.

Le recensement des récifs-barrière permet donc de renseigner les futurs gestionnaires des zones Natura 2000 mer sur les mesures de gestion à adopter en amont face à la présence de certaines espèces et des formations naturelles, mais également de pouvoir identifier les différentes activités anthropiques exercées dans la zone à gérer et préserver. De plus, la base de données acquise est incrémentable et permet un suivi évolutif.

## Conclusion

---

La gestion intégrée des zones côtières promeut les principes de précaution et de développement durable (Cuq, 2000). Concernant l'approche théorique de ce type de gestion des progrès importants ont été faits (IOC, 1997). Cependant, la mise en pratique de la gestion intégrée des zones côtières se heurte à de nombreux obstacles. En ce qui nous concerne, le manque d'informations scientifiques adaptées, relatif au fonctionnement des écosystèmes côtiers et des relations écologiques complexes entre l'océan, la terre et l'atmosphère. La distinction entre la notion de donnée et celle de l'information est essentielle, car elle explique les raisons pour lesquelles, en dépit de l'abondance toujours croissante des données concernant l'environnement côtier, il n'existe, en pratique, que très peu d'informations réellement utilisables à des fins de gestion (Furnes, 1994). L'information correspond à l'ensemble des données mises en forme, prétraitées, normalisées, renseignées et de qualité connue. La production d'informations constitue la phase la plus longue de la mise en œuvre d'un SIG. Les Systèmes d'Information Géographiques offrent un cadre conceptuel, méthodologique et opérationnel adapté pour l'aide à la gestion intégrée des zones côtières quand ils sont bien renseignés. Ils traduisent sous une forme directement exploitable des informations essentielles pour la mise en place des systèmes d'aide à la décision en matière de gestion des zones côtières.

Il est aujourd'hui reconnu que la **protection** et la **mise en valeur du milieu marin et côtier** sont indéniablement reliées à la problématique globale posée par la **gestion intégrée du littoral**. Cette approche, de la gestion environnementale côtière, ne se détache pas de la notion de développement durable. La durabilité du développement des zones côtières suppose la maîtrise de l'application, entre autre, des **systèmes d'informations**. Les cartes sur la localisation des formations récifales de *Posidonia oceanica* permettront notamment au gestionnaire d'organiser le zonage des usages (plongée, navigation de plaisance, ancrage, pêche de loisir et professionnelle) en fonction des types d'habitats et de leur sensibilité (Boudouresque, 2002 ; Boudouresque *et al.*, 2004, 2005). En cas d'invasions biologiques, par exemple ici l'introduction de la chlorobionte *Caulerpa racemosa*, elle permet d'identifier les habitats les plus sensibles à la colonisation et d'y concentrer la surveillance (Belsher & Houlgatte, 2000). Ces données géoréférencées peuvent être mises en relation avec des travaux de modélisation informatique visant à **prévoir** ainsi **l'expansion d'une colonie** à partir d'une contamination initiale<sup>3</sup>. L'objectif est de participer à la préservation de notre littoral contre l'invasion de *C. taxifolia*, qui se rapproche de façon préoccupante du littoral corse. Enfin, la comparaison de cartes successives réalisées permet de valider, ou non, les mesures de gestion.

Toutefois une gestion performante, à l'échelle de la région corse, concernant ici les espèces invasives et les récifs-barrières de *Posidonia oceanica*, ne peut se baser uniquement sur les seules données cartographiques obtenues durant cette étude, et cela même si elles en constituent le canevas. L'objectif à terme, afin de compléter ce travail, serait de disposer d'un ensemble d'informations facilement accessibles (*e.g.* courantologie, inventaires espèces

---

<sup>3</sup> Ces études sont actuellement en cours à l'Université de Nice-Sophia-Antipolis.

patrimoniales et protégées, types de fonds, peuplements, aménagements littoraux). Ces informations devraient être intégrées au sein d'une même base de données géoréférencées, dont tous les gestionnaires ayant en charge la protection et la gestion des milieux en Corse, en auraient l'accès et le droit d'utilisation, afin de faciliter l'interprétation et l'exploitation des données.

Il paraît donc urgent de mener des politiques volontaires, sur le plan régional ainsi que national pour développer la production d'informations de référence et de qualité garantie. Il est indispensable de continuer à sensibiliser les décideurs pour qu'une politique concertée de constitutions d'informations de référence puisse être mise en place en facilitant les relations entre organismes producteurs de données, en dynamisant les réseaux d'échanges et de données et le catalogue de l'information. Il faudrait également acquérir des données et informations de qualités égales à l'échelle des régions. En effet, comment exercer un croisement d'informations quand les données sont inexistantes pour certains sites.

La création de SIG, pluridisciplinaire, permettrait de cataloguer, stocker, synthétiser et diffuser les informations produites (Pornon, 1992) par les différents organismes en charge de la gestion du patrimoine naturel corse. Une telle quantité d'informations constituerait un outil puissant d'aide à la décision. Les nouveaux systèmes d'évaluation et d'analyse, ainsi que de nouvelles techniques de collecte et de traitement des données sont à la base de cette évolution. Nous pouvons citer en dehors des SIG : les indicateurs de développement durable, les statistiques environnementales, la modélisation... Ce qui est préconisé dans ce rapport, pour la région Corse, peut être réalisé à l'échelle nationale, voire européenne. Le réseau Natura 2000 permet justement ce type de projet. Quant au Réseau Caulerpes région Corse n'oublions pas que c'est une composante locale de l'Observatoire sur l'expansion en Méditerranée de *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa* (Université de Nice-Sophia Antipolis) et qu'à ce titre les données acquises sont regroupées au sein d'une base commune nationale (*Caulerpa On Line*).

L'un des principaux enjeux de la recherche en matière d'aide à la gestion intégrée des zones côtières concerne la **modélisation** des interactions entre les actions humaines, dans la perspective des objectifs de gestion évoqués précédemment.

## Bibliographie

---

- AUGIER H., BOUDOURESQUE C.F., 1979. Premières observations sur l'herbier de Posidonies et le détritique côtier de l'île du Levant (Méditerranée, France), à l'aide du "sous-marin" Griffon de la Marine Nationale. Trav. sci. Parc nation. Port-Cros, 5 : 141-153.
- BELSHER T, MEINESZ A, 1995. Deep-water dispersal of the tropical alga *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean. Aquatic Botany 51 : 163-169.
- BELSHER T., HOULGATTE E., 2000. Etude des sédiments marins, des herbiers à phanérogames et des peuplements à *Caulerpa taxifolia* de Menton au cap d'Ail (France- Principauté de Monaco). ISBN 2-905434-87-2 ; Ed. Ifremer : 1-43.
- BOUDOURESQUE C.F., 1999a. The Red Sea - Mediterranean link : unwanted effects of canals. *Invasive species and biodiversity management*, SANDLUND O.T., SCHEI P.J., VIKEN A. édité., Kluwer Academic publ. : 213-228.
- BOUDOURESQUE C.F., 1999b. Introduced species in the Mediterranean : routes, kinetics and consequences. Proceedings of the workshop on invasive *Caulerpa* species in the Mediterranean. MAP Technical Reports Ser., UNEP, Athens : 51-72.
- BOUDOURESQUE C.F., 2002. Concilier protection et usages du milieu marin : l'expérience du Parc national de Port-Cros. Rev. Soc. Ecole polytechnique, Jaune Rouge, 575 : 31-35.
- BOUDOURESQUE C.F., 2005. Les espèces introduites et invasives en milieu marin. Deuxième édition. GIS Posidonie publ., Marseille : 152p.
- BOUDOURESQUE C.F., BIANCONI C.H., MEINESZ A., 1990c. Live *Posidonia oceanica* in a coralligenous algal bank at Sulana, Corsica. Rapp. P.V. Réunion. Commiss. internation. Explor. sci. Médit. 32(1) : 11.
- BOUDOURESQUE C.F., CADIOU G, LE DIREACH L., 2005. Marine protected areas : a tool for coastal areas management. In : Strategic management of marine ecosystems, Levner E., Linkov I., Proth J.M. édés., Springer publ., Dordrecht : 29-52.
- BOUDOURESQUE C.F., CADIOU G., GUERIN B., LE DIREACH L., ROBERT P., 2004. Is there a negative interaction between biodiversity conservation and artisanal fishing in a Marine Protected Area, the Port-Cros National Park (France, Mediterranean Sea). Sci. Rep. Port-Cros natl. Park, Fr., 20 : 147-160.
- BOUDOURESQUE C.F., CINELLI F., FRESI E., MAZELLA L., RICHARD M., 1981. Algal undergrowth of *Posidonia oceanica* beds in the gulf of Naples : floristic study. Rapp. Comm. Int. Mer Médit. 27 : 195-196.
- BOUDOURESQUE C.F., GRAVEZ V., MEINESZ A., MOLENAAR H., PERGENT G., VITIELLO P., 1994. L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée : protection légale et gestion. In Pour qui la méditerranée au 21ème Siècle - Villes des rivages et environnement littoral en Méditerranée. Actes du colloque scientifique Okeanos, Maison de l'Environnement de Montpellier publ., Fr. : 209-220.



- BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., 1983. L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée : les interactions entre la plante et le sédiment. Journal Recherche océanographique, 8 (2-3) : 99-122.
- BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., 1982. Découverte de l'herbier de Posidonies. Cahier Parc nation. Port-Cros, 4 : 1-79.
- BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., LEFVRE J.R., 1985. Cartographie des peuplements benthiques marins de Corse. I. La formation récifale à *Posidonia oceanica* de Saint-Florent. Ann. Inst. océanogr., 61(1) : 27-38.
- BOUMAZA S., 1995. Phénologie, biomasse, lépidochronologie et production primaire de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile de l'anse de Kouâli, Tipasa (Algérie). Thèse Doct. Institut des sciences de la mer et de l'aménagement du littoral : 1-125.
- BRIGHT C., 1998. Life out of bonds. Bioinvasion in a borderless world. Norton W.W. & Company publ., New-York, London : 288p.
- CAMBRIDGE M.L., CHIFFINGS A.W., BRITTAN C., MOORE L., MC COMB A.J., 1986. The loss of seagrass in Cockburn sound, Western Australia. II. Possible causes of seagrass decline. Aquat. Bot., 24 : 269-285.
- CANCEMI G., HUGOT L., 2002, Etude relative aux mouillages forains dans le périmètre de la Réserve Naturelle des Bouches de Bonifacio, Rapport OEC/Hugot-EVEMar : 36p.
- CANCEMI G. ET ACQUATELLA S., 2004. Répartition des mouillages forains présents dans les sites sensibles le long du littoral de la Corse. Rapport d'étude O.E.C./E.V.E.Mar. : 48p.
- CANCEMI G., LEJEUNE P., PELAPRAT C., BAROLI M. ET DE FALCO G., 2005. Etude des phénomènes de régression de l'herbier à *Posidonia oceanica* dans le golfe de Sant'Amanza et relations avec le régime hydrodynamique et sédimentaire. Rapport STARESO - E.V.E.Mar : 100p.
- CHISHOLM J.R., MARCHIORETTI M., JAUBERT J.M., 2000. Effect of low water temperature on metabolism and growth of a subtropical strain of *Caulerpa taxifolia* (Chlorophyta). Marine Ecology Progress Series 201 : 189-198.
- CLOUT M., 1995. Introduced species : the greatest threat to global biodiversity? Species, 24 : 34-36.
- CLOUT M., 1998. And now, the Homogocene. World Conservation, Suisse, 97(4)-98(1) : 3.
- COSTANZA R., ARGE R., DE GROOT R., FARBER S., GRASSO M., HANNON B., LIMBURG K., NAEEM S., O'NEILL R.V., PARUELO J., RASKIN R.G., SUTTON P., VAN DEN BELT M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature 387 : 253-260.
- COURCHAMPS F., CHAPUIS J.L., PASCAL M., 2003. Mammal invaders on islands : impact, control and control impact. Biol. Rev., 78 : 347-383.
- CROUZET A., 1981. Mise en évidence de variations cycliques dans les écailles de rhizomes de *Posidonia oceanica* (Potamogetonaceae). Trav. sci. Parc nation. Port-Cros, 7 : 129-135.

- CUQ F., 2000. Système d'information géographique et gestion intégrée des zones côtières. Actes de colloques – IFREMET. CoastGIS'99 : geomatics and coastal environment, Vol 25 : 18-29.
- DIDIER M., 1990. Utilité et valeur de l'information géographique. CNIG, Paris, *Economica* : 47-74.
- DREW E.A., 1971. Botany. Underwater Science. An introduction to experiments by divers. Woods et Lithgoe édit., London : 59p.
- DREW E.A., JUPP B.P., 1976. Some aspects of the growth of *Posidonia oceanica* in Malta. Underwater Research, Academic Press, London : 357-367.
- DUARTE C.M., 1991. Allometric scaling of seagrass form and productivity. Mar. Ecol. Prog. Ser. 77 : 289-300.
- DUARTE C.M., CHISCANO C.L., 1999. Seagrass biomass and production : a reassessment. Aquat. Bot. 65 : 159-174.
- FERGUSON R.L., THAYER G.W., RICE T.R., 1980. Marine primary producers. In Functional adaptations of marine organisms. W. Edit. Academic Press : 9-69.
- FORTES M.D., 1989. Seagrasses : A ressource unknown in the ASEAN région. ICLARM Education Series 5 : 46p.
- FURNES R.A., 1994. Data access for effective coastal zone management. A cri du cœur for openness. Cartogr., 23 (1) : 1-18.
- GARRIDO-MAESTRACCI M., 2008. Suivi de la stratégie régionale durable contre l'invasion de *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa* en Corse. Rapp. Office. Envir. Corse – Réseau Caulerpes : 51p.
- GIESEN W.B.J.T., VAN KATWIJK M.M., DEN HARTOG C., 1990. Temperature, salinity, insolation and wasting disease of eelgrass (*Zostera marina* L.) in the dutch wadden sea in the 1930's. *Netherl. J. Sea Res.*, 25(3) : 395-404.
- 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 comptage des structures foliaires de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille, 39 : 33-39.
- GRAVEZ V., BOUDOURESQUE C.F., RUITTON S., 2005. Proposition d'une stratégie de contrôle des espèces envahissantes marines dans les eaux du Parc national de Port-Cros, illustrée par le cas de deux espèces de *Caulerpa*. GIS Posidonie et Parc national de Port-Cros publ., Fr : 1-68.
- GUIDETTI P., 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*. Mar. Pollut. Bull. 40 : 449-453.
- HARTOG DEN C., 1970. The sea-grasses of the world. North Holland publ. Co, Amsterdam, Pays-Bas : 275p.

- HARTOG DEN C., 1979. Seagrasses and seagrass ecosystems, an appraisal of the research approach. *Aquat. Bot.* 7 : 105-117.
- HARTOG DEN C., PHILIPPS, R.C., 2001. Common structures and properties of seagrass beds fringing the coasts of the world. *Ecol. Stud.* 151 : 195-212.
- HEMMINGA M.A., DUARTE C.M., 2000. Seagrass ecology. Cambridge Univ. Press publ. : 1-310.
- IEHLE A., WALD L., BOUDOURESQUE C.F., 1995. Analyse et évaluation de la fiabilité de l'information dans le système d'information géographique des assemblages benthiques méditerranéens "MBA". *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park*, 16 : 93-114.
- IOC, 1997. Methodological guide to integrated coastal zone management. Manual and guide 36, Intergovernmental oceanographic commission, Unesco : 47p.
- JOHANNESBURG, 2002. Rapport du Sommet mondial pour le développement durable. Nations Unies, New-York, 2002 (A/CONF.199/20) : 198p.
- JOUSSON O., PAWLOWSKI J., ZANINETTI L., MEINESZ A., BOUDOURESQUE C.F., 1998. Molecular evidence for the aquarium origin of the green alga *Caulerpa taxifolia* introduced to the Mediterranean Sea. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 172 : 275-280.
- KENNEDY D., 2001. Black carp and sick cows. *Science*, 292 : 169.
- KUO J., HARTOG DEN C., 2001. Seagrass Taxonomy and Identification Key. In : *Global Seagrass Research Methods*. Short, F.T., Coles, R.G. Edit. Elsevier Scientific publ. B.V. : 31-58.
- LARKUM A.W.D., WEST R.J., 1983. Stability, Depletion and restoration of seagrass beds. *Proc. Linn. Soc. N.S.W.*, 106 : 201-212.
- LEONI V., 2005. Utilisation de *Posidonia oceanica* (L.) Delile dans le cadre de la surveillance du littoral : Bilan des descripteurs – Réponses face à un enrichissement en nutriments (N & P). Thèse Doct. Univ. Corse : 1-163.
- LIPKIN Y., 1977. Seagrass vegetation of Sinai and Israel. In : *Seagrass ecosystems, a scientific perspective*. P. Mc Roy, C.Helfferich, Edit. Dekker publ. : 263-293.
- MAZZELLA L., CINELLI F., OTT J., KLEPAL W., 1981. Studi sperimentali "in situ" sull'epifitismo della *Posidonia oceanica* Delile. *Quad. Lab. Technol. Pesca*, 3 (1 suppl.) : 481-492.
- MEAILLE R., WALD L., BOUDOURESQUE C.F., 1988. Cartes des peuplements benthiques en Méditerranée : constitution d'une banque de données géocodées et synthèse cartographique. *Oceanologica Acta*, 11 (2) : 201-211.
- MEINESZ A., BOUDOURESQUE C.F., 1996. Sur l'origine de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, série III, Sciences de la Vie/Life Sciences* 319 : 603-613.
- MEINESZ A., HESSE B., 1991. Introduction et invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée nordoccidentale. *Oceanologica Acta* 14 : 415-426.

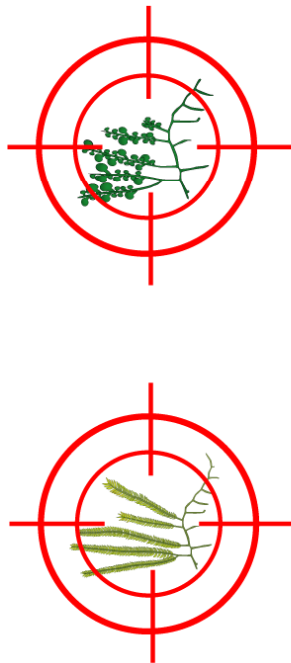
- MEINESZ A., VAUGELAS J. de, HESSE B., MARI X., 1993. Spread of the introduced tropical green alga *Caulerpa taxifolia* in northern Mediterranean waters. *J. applied Phycol.*, 5 : 141-147.
- MEUSNIER I., OLSEN J.L., STAM W.T., DESTOMBE C., VALERO M., 2001. Phylogenetic analyses of *Caulerpa taxifolia* (Chlorophyta) and of its associated bacterial microflora provide clues to the origin of the Mediterranean introduction. *Molecular Ecology* 10 (4) : 931-946.
- MEYER U, MEINESZ A, 2001. Inquiry on the aquarium cultivation of *Caulerpa taxifolia* in Europe before its introduction to the Mediterranean Sea. In *Fourth International Workshop on Caulerpa taxifolia*, Gravez V., Ruitton S., Boudouresque C.F., Meinesz A., Scabbia G. & Verlaque M. eds., GIS Posidonie publ., Fr., 2001 : 7-11.
- MILLOT C., 1987. Circulation in the Western Mediterranean Sea, *Oceanologica Acta*, 10(2) : 143-149.
- MOLINIER R., PICARD J., 1952. Recherches sur les herbiers de Phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Ann. Inst. océanogr.* 27(3) : 157-234.
- MOLINIER R., PICARD J., 1956. Aperçu bionomique sur les peuplements marins littoraux des côtes rocheuses méditerranéennes de l'Espagne. *Bull. Trav. Stn. Aquicult. Pêche Castiglione* 8 : 251-268.
- OLSEN J.L., VALERO M., MEUSNIER I., BOELE-BOS S., STAM W.T., 1998. Mediterranean *Caulerpa taxifolia* and *C. mexicana* (Chlorophyta) are not conspecific. *Journal of Phycology* 34 (5) : 850-856.
- PASQUALINI V., PERGENT-MARTINI C., CLABAUT P., MARTEEL H., PERGENT G., 2001. Integration of Aerial Remote Sensing, Photogrammetry, and GIS Technologies in Seagrass Mapping. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* Vol. 67, n° 1 : 99-105.
- PASQUALINI V., PERGENT-MARTINI C., CLABAUT P., PERGENT G., 1998. Mapping of *Posidonia oceanica* using aerial photographs and side-scan sonar : Application of the island of Corsica (France). *Estuar. Coast. Shelf S.* 47 : 359-367.
- PERGENT C., 1987. Recherches Lépidochronologiques chez *Posidonia oceanica* (Potamogetonaceae). Fluctuations des paramètres anatomiques et morphologiques des écailles des rhizomes. Thèse Doct. Univ. Aix-Marseille II, France : 853p.
- PERGENT G., 1991. La protection légale de la Posidonie en France: Un outil efficace. Nécessité de son extension à d'autres pays méditerranéens. In Boudouresque C.F., Avon M., Gravez V. edits. *Les Espèces Marines à Protéger en Méditerranée*, Rencontres scientifiques de la Côte Bleue. GIS Posidonie publ., Fr., 2 : 29-34.
- PERGENT G., CASALTA B., LAFABRIE C. PERGENT-MARTINI C., SALIVAS-DECAUX M., 2006. Réseau Caulerpes - Région Corse : Rapport d'activité 2006. Contrat Office de l'Environnement de la Corse et Université de Corse - Equipe Ecosystèmes Littoraux : 1-7.

- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 1990. Some applications of lepidochronological analysis in the seagrass *Posidonia oceanica*. *Botanica marina*, 33 : 299-310.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., BOUDOURESQUE C.F., 1995. Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée : Etat des connaissances. *Mésogée* 54 : 3-29.
- PERGENT G., ROMERO J., PERGENT-MARTINI C., MATEO M.A., BOUDOURESQUE C.F., 1994. Primary production stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 106 : 139-146.
- PERGENT-MARTINI C., 2006. Elément de qualité biologique : Posidonie – Compte-rendu de l'exercice d'intercalibration. Contrat Ifremer / Université de Corse – EqEL, Corte : 1-27.
- PERGENT-MARTINI C., LEONI V., PASQUALINI V., ARDIZZONE G.D., BALESTRI E., BEDINI R., BELLUSCIO A., BELSHER T., BORG J., BOUDOURESQUE C.F., BOUMAZA S., BOUQUEGNEAU J.M., BUIA M.C., CALVO S., CEBRIAN J., CHARBONNEL E., CINELLI F., COSSU A., DI MAIDA G., DURAL B., FRANCOUR P., GOBERT S., LEPOINT G., MEINESZ A., MOLENAAR H., MANSOUR H.M., PANAYOTIDIS P., PEIRANO A., PERGENT G., PIAZZI L., PIRROTTA M., RELINI G., ROMERO J., SANCHEZ-LIZASO J.L., SEMROUD R., SHEMBRI P., SHILI A., TOMASELLO A., VELIMIROV B., 2005. Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows : Use and application. *Ecol. Indic.* : 213-230.
- PERGENT-MARTINI C., PERGENT G., FERNANDEZ C., FERRAT L., 1999. Value and use of *Posidonia oceanica* as a biological indicator. In proceed. MEDCOAST 99 - EMECS 99 Joint Conference " Land-ocean interactions : managing coastal ecosystems ", MEDCOAST, Middle East Technical Univ. Publ, Ankara, 1 : 73-90.
- PIAZZI L., BALESTRI E., CINELLI F., 1994. Presence of *Caulerpa racemosa* in the north-western Mediterranean. *Cryptogamie-Algologie, Fr.*, 15 (3) : 183-189.
- PLATINI F., 2000. La protection des habitats aux herbiers en Méditerranée. Rapp. PNUE, PAM, CAR/ASP Edit. PNUE publ. : 1-65.
- PNUE, 1990. Livre rouge "Gérard Vuignier" des végétaux, peuplement et paysages marins menacés de Méditerranée. UNEP/IUCN/ GIS Posidonie. UNEP, MAP Technical Reports, 43 : 1-250.
- PORNON H., 1992. Les Systèmes d'Information Géographique. Mise en œuvre et applications. Hermès : 1-107.
- RAMADE F., 1990a. La conservation des écosystèmes littoraux méditerranéens. *B. Soc. Zool. Fr.* 114 : 121-136.
- RAMADE F., 1990b. Conservation des Ecosystèmes méditerranéens – Enjeux et Perspectives. Les Fascicules du Plan Bleu, PNUE/PAM 3 : 1-144.
- RICO-RAIMONDINO V., 1995. Contribution à l'étude des stocks et flux d'éléments dans les herbiers à *Posidonia oceanica*. Thèse Doct. Univ. Aix-Marseille II : 248p.



- SCHEMBRI P.J., 1995. The state of *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows in the Maltese Islands (Central Mediterranean). Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. sci. Médit. 34 : 1-123.
- SHEPHERD S.A., MC COMB A.J., BULTHUIS D.A., NEVERAUSKAS V., STEFFENSEN D.A., WEST R., 1989. Decline of seagrasses. In A.W.D. Larkum, A.J. Mc Comb & S.A. Shepherd (Eds.) « *Biology of seagrasses* », Aquatic Plant Studies 2, Elsevier Publ. : 346-393.
- SHORT F.T., COLES R.G., PERGENT-MARTINI C., 2001. Global seagrass distribution. In Global Seagrass Research Methods. Short, F.T., Coles, R.G. Edit. Elsevier Scientific publ. B.V. : 5-30.
- SIMBERLOFF D., 1998. Invaders from planet Earth : facing the future. World Conservation, Suisse, 97 (4)-98 (1) : 21-23.
- THAYER G.W., FONSECA M.S., KENWORTHY J.W., 1997. Ecological Value of Seagrasses : A Brief Summary for the ASMFC Habitat Committee's SAV Subcommittee. In Atlantic Coastal Submerged Aquatic Vegetation: A Review of its Ecological Role, Anthropogenic Impacts State Regulation, and Value to Atlantic Coastal Fish Stocks. C. Stephan, D. Bigford, T.E. Edit. : 5-10.
- THIBAUT T., 2001. Etude fonctionnelle, contrôle et modélisation de l'invasion d'une algue introduite en Méditerranée : *Caulerpa taxifolia*. Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI) : 19.
- VELIMIROV B., 1984. Grazing of *Sarpa salpa* L. on *Posidonia oceanica* and utilization of soluble compounds. *International Workshop Posidonia oceanica Beds*, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac et Olivier J. edit., GIS Posidonie publ., Marseille, 1 : 381-387.
- VERLAQUE M., 1987. Relations entre *Paracentrotus lividus* (Lamarck) et le phytobenthos de Méditerranée occidentale. « Colloque international sur *Paracentrotus lividus* et les oursins comestibles », C.F Boudouresque edit., GIS Posidonie publ., Marseille : 5-36.
- VERLAQUE M., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., GRAVEZ M., 2000. The *Caulerpa racemosa* complex (Caulerpales, Ulvophyceae) in the Mediterranean Sea. *Botanica Marina*, 43 : 49-68.
- VERLAQUE M., DURAND C., HUISMAN J.M., BOUDOURESQUE C.F., LE PARCO Y., 2003. On the identity and origin of the Mediterranean invasive *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta). *Eur. J. Phycology*, 38 : 325-339.
- WILSON O, 1997. In Strangers in Paradise. Impact and Management of Nonindigenous species in Florida. (ed. Simberloff D, Scmitz DC, Brown TC), Washington DC.
- WITTMANN K., MAZZELLA L., FRESI E., 1981. Age specific patterns of leaf growth : Their determination and importance for epiphytic colonization in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. sci. Médit., 27(2) : 189-191.
- ZUPO V., FRESI E., 1985. A study on the food web of the *Posidonia oceanica* (L.) Delile ecosystem analysis of the gut contents of echinoderms. Rapp. Comm. int. Mer Médit., 29(5) : 189-192.

## Les partenaires du Réseau Caulerpes de la Région Corse



Agence de l'Eau R.M.&C. – Association U Marinu – Association U Polpu – C.G. 2A & 2B – C.P.I.E. « A.P.I.E.U. » – Comité Régional & Commission Régionale de Biologie Subaquatique de la F.F.E.S.S.M. – C.R.P.M.E.M. – D.D.E. 2A/C.Q.E.L. – Délégation Corse de la F.I.N. – DIREN Corse – D.R.A.M. – D.R.A.S.S.M. – E.V.E.Mar. – Gendarmerie Nationale – IFREMER – Marine Nationale – Parc National de Port-Cros – Réserve Naturelle des Bouches de Bonifacio – Réserve Naturelle de l'Etang de Biguglia – Réserve Naturelle des îles Finocchiarola – Réserve Naturelle de Scandola – STARESO – Université de Corse – Université de Nice Sophia Antipolis & Observatoire sur l'expansion en Méditerranée de *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa*.

## Office de l'Environnement de la Corse

**Merci de signaler la présence de Caulerpes**  
**04 95 50 45 44**  
**caulerpa @ oec.fr**



### Description du Réseau Caulerpes

La création en 2003 du Réseau Caulerpes en Corse répond aux préoccupations de notre région face à la progression des algues *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa*.

Le réseau est une composante locale de l'Observatoire sur l'expansion en Méditerranée de Caulerpa - Université de Nice Sophia Antipolis. Il est animé et coordonné par l'Office de l'Environnement de la Corse. Ce dispositif bénéficie du soutien technique et financier de l'Agence de l'Eau – R.M. & C. et de la DIREN Corse.

Son fonctionnement repose sur l'implication d'un ensemble de partenaires locaux de différentes origines : institutionnelles, associatives, socioprofessionnelles...

L'objectif fondamental du Réseau Caulerpes est d'assurer à l'échelle régionale le meilleur niveau possible de surveillance, notamment sur les sites les plus exposés à une invasion.

Pour ce faire, deux volets d'actions ont été mis en place :

- un volet « alerte », recherche passive réalisée par les partenaires locaux, à partir d'informations spontanées communiquées par les usagers de la mer ;
- un volet « prospection », recherche active réalisée également par les partenaires, privilégiant les zones à risques et sensibles.

# FAUNE FLORE EAU

COLLECTIVITE TERRITORIALE DE CORSE



OFFICE DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CORSE



Direction régionale de l'environnement  
CORSE



agence de l'eau  
rhône méditerranée corse

Collectivité Territoriale de Corse  
Office de l'Environnement de la Corse

Avenue Jean Nicoli - 20 250 Corte – Tél. : 04 95 45 04 00 – Fax : 04 95 45 04 01

**RESEAU CAULERPES – REGION CORSE  
FICHE DE SIGNALISATION**

**OBSERVATEUR**

Nom, Prénoms : .....

Adresse : .....

Tél : .....

Fax : .....

Email : .....@.....

**LOCALISATION**

Date d'observation : .....

Profondeur : .....m

Lieu : .....

Coordonnées G.P.S. (préciser la projection utilisée) : .....

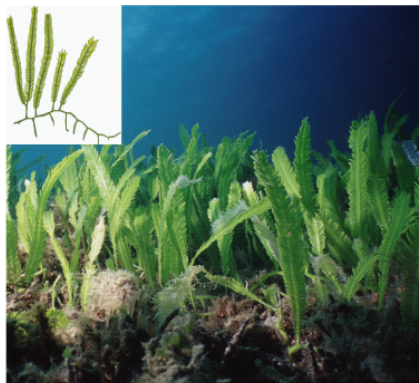
Ou amers et repères précis sur terre (photos) : .....

Surface approximative de colonisation : .....

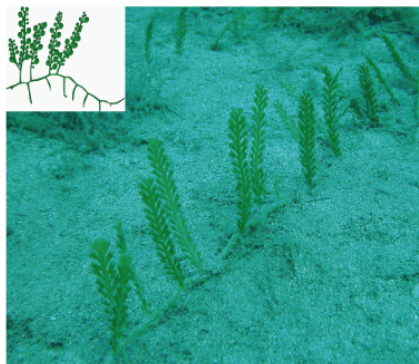
Type de Fond :  Sable  Roche  Herbiers (Posidonies ou Cymodocées)  Vase

Gorgones  Autres : .....

**IDENTIFICATION**



*Caulerpa taxifolia*



*Caulerpa racemosa*

**Prélèvement d'une fronde sans dispersion :**

- fixer la fronde dans l'emplacement prévu ci-dessous (avec du ruban adhésif) et photocopier la fiche pour tout envoi par fax ;
- ou joindre la fronde dans l'enveloppe pour tout envoi par courrier.

**Fiche à communiquer à**

l'Office de l'Environnement de la Corse,  
Département « Espaces Naturels et Protégés »,  
B.P 86 – 20 176 Ajaccio  
Tél. : 04 95 50 45 44 - Fax : 04 95 50 45 55  
**E-mail : caulerpa@oec.fr**

Photographies : *C. taxifolia*, G. Pergent ; *C. racemosa*, R. Palomba.

## Annexe 2 : Fiche de synthèse récif-barrière de Malfalcu

### Secteur « Cap Corse & Agriates » Plate forme récifale de Malfalcu



#### Localisation

Malfalcu (agriates), Haute-Corse

#### Signalement antérieur

Le récif présent dans l'anse de Malfalcu a été recensé par Casta en 1981 lors d'une étude préalable à l'aménagement des Agriates (Association des amis du Parc). Boudouresque *et al.* (1985) fait l'état des récifs-barrières mentionnés dans la bibliographie, le récif de l'anse de Malfalcu apparaît de nouveau comme « très dégradé ».

#### Données terrain

Date de mission : Mercredi 25 juin 2008

#### Description du site et de la formation

Le récif s'étire sur les deux rives rocheuses au fond de l'anse de Malfalcu. Il forme ainsi un véritable lagon. Il s'agit d'un récif-barrière à l'aspect dégradé, probablement érodé avec le temps. Des taches d'herbiers isolés fortement épiphytées, rasés par les courants et jaunies sont visibles. Un herbier beaucoup plus dense, avec moins d'épiphytes, se situe en limite inférieure du tombant (vers le large) marquant ainsi la fin de la formation récifale avec un fort tombant d'environ 6 m de profondeur. Par rapport à la superficie de la matte morte nous pouvons supposer qu'un herbier plus dense devait être présent à l'origine. Deux langues de sables peuvent être observées dans la matte morte, probablement créées par l'apport sédimentaire des deux ruisseaux. Une se situant sur la rive gauche et l'autre proche de la rive droite formant ainsi un îlot central. Cette îlot est constitué par de la matte morte et de la roche. Les fonds sableux sont très étendus à l'intérieur du lagon avec la présence de quelques blocs rocheux.

#### Température

La température oscille entre 24 et 25°C sur la formation récifale et 28 à 29°C à l'intérieur du lagon.

#### Profondeurs ou/et profils

Deux transects parallèles ont été effectués dans la largeur du récif.

#### Mesures sur l'herbier

##### Densité

Difficultés rencontrées dans la mesure de densité. Le peu d'herbiers présents sur la matte morte en partie affleurante est trop « profond » pour le comptage (> 0.8 cm).

##### Hauteur de la canopée / longueur moyenne des écailles

##### Déchaussement / Envasement

##### Phénologie / lépidochronologie

## Espèces associées

### Flore

L'herbier à *Cymodocea nodosa* est présent sur une grande partie de la matte morte. On peut l'observer en contact avec l'herbier à *Posidonia oceanica* à certains endroits. L'herbier à *Cymodocea nodosa* s'étend de la matte vers le sable à l'intérieur du lagon. Les peuplements d'algues photophiles sur la matte morte de *Posidonia oceanica* sont diverses. L'espèce la plus fréquente est la chromobionte *Padina pavonica*. Pour les chlorophycées nous pouvons retrouver notamment *Acetabularia acetabulum*, *Codium bursa*, mais aussi *Halimeda tuna* et *Udotea petiolata* (ulvophycées). Nous avons noté la présence de l'algue *Caulerpa prolifera*. De nombreux épiphytes sont présents sur les feuilles de *Posidonia oceanica*, dont *Electra posidoniae*.

### Faune

Une seule grande nacre *Pinna nobilis* a été observée sur la matte morte. Elle est de petite taille. La présence de nombreux échinodermes est à noter : oursins *Paracentrotus lividus*, holothuries *Holothuria tubulosa*. Mais également de gastéropodes *Thais haemastoma*. Concernant l'ichtyofaune, de nombreuses espèces ont été identifiées : serran *Serranus scriba*, marbrés, rouget *Mullus surmuletus*, saupe *Sarpa salpa*, sar *Diplodus sargus*. Nous avons observé de nombreux alvins de différentes espèces dans le lagon. Rencontre avec une seiche *Sepia officinalis*. Présence en grand nombre de cnidaire : anémone de mer *Anemonia sulcata*, méduse *Pelagia noctiluca*. En limite inférieur du tombant, donnant vers le large, observation d'espèce pélagique telle que le barracuda *Sphyraena viridensis*.

### Impacts observés

Apport sédimentaire important dû à la présence des deux ruisseaux. Nous avons noté la présence de trous circulaires dans la matte morte. Certains chenaux et/ou sillons peuvent correspondre aux échouages ou mouillages. Quelques déchets ont pu être identifiés en surface comme en profondeur. Ils sont généralement situés dans les langues sableuses.

### Qualité de la formation récifale

Le récif de Malfalcu est très dégradé. Peu d'herbier à *Posidonia oceanica* sur la matte morte et présence de partie ensablée très importante. L'herbier sur la formation est très érodé par le courant et la température.