



MKH
MEDKEYHABITATS



LIGNES DIRECTRICES POUR LA STANDARDISATION des méthodes de cartographie et de surveillance des magnoliophytes marines en Méditerranée



NOTE : Les appellations employées dans ce document et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du CAR/ASP et du PNUE aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leur autorité, ni quant au tracé de leur frontière ou limites. Les vues exprimées dans ce document d'information technique sont celles de l'auteur et ne représentent pas forcément les vues du PNUE.

© 2015 **Programme des Nations Unies pour l'Environnement**
Plan d'Action pour la Méditerranée
Centre d'Activités Régionales pour les Aires Spécialement Protégées (CAR/ASP)
Boulevard du Leader Yasser Arafat
B.P.337 - 1080 Tunis Cedex - TUNISIE
E-mail : car-asp@rac-spa.org

Le texte de la présente publication peut être reproduit, à des fins éducatives ou non lucratives, en tout ou en partie, et sous une forme quelconque, sans qu'il soit nécessaire de demander une autorisation spéciale au détenteur des droits d'auteur, à condition de faire mention de la source.

Pour des fins bibliographiques, citer le présent volume comme suit :

PNUE/PAM-CAR/ASP, 2015. Lignes Directrices pour la Standardisation des Méthodes de Cartographie et de Surveillance des Magnoliophytes Marines en Méditerranée. Christine PERGENT-MARTINI, édits., *CAR/ASP publ.*, Tunis, 46 p. + Annexes.

Mise en page : IGD Communication - www.i-graphicdesign.com

Photo de la couverture : Gérard PERGENT

Ce guide a été édité dans le cadre du Projet MedKeyHabitats «Cartographie des habitats marins clés de Méditerranée et promotion de leur conservation par l'établissement d'Aires Spécialement Protégées d'Importance Méditerranéenne (ASPIMs)».

Le Projet MedKeyHabitats est mis en oeuvre par le CAR/ASP avec le soutien financier de la fondation MAVA.



Disponible auprès de :
www.rac-spa.org

**Lignes Directrices pour la Standardisation
des Méthodes de Cartographie et de Surveillance
des Magnoliophytes Marines en Méditerranée**



TABLE DES MATIÈRES

Table des matières	03
Contexte de l'étude	04
Démarche adoptée	04
1. Synthèse de la table-ronde.....	04
2. Analyse des données disponibles.....	05
Propositions de lignes directrices pour la cartographie des herbiers de magnoliophytes en Méditerranée	
1. Problématique.....	06
2. Quelle démarche suivre ?.....	09
a) Quelle précision pour quelle surface à cartographier ?.....	09
b) Quels outils disponibles pour les levés cartographiques ?.....	09
c) Quelles méthodes d'analyse pour l'interprétation des données ?.....	16
3. Etudes de cas.....	24
a) Distribution des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> le long du littoral de la Corse (Pasqualini, 1997).....	24
b) Cartographie de la limite supérieure des herbiers de Tunisie (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2009b).....	24
c) Cartographie des herbiers de magnoliophytes au niveau d'installations aquacoles aux îles Baléares (Delgado <i>et al.</i> , 1999).....	25
d) Cartographie des herbiers de magnoliophytes en vue de l'installation de mouillages organisés en Corse (Salivas-Decaux <i>et al.</i> , 2008).....	25
Propositions de lignes directrices pour la surveillance des herbiers de magnoliophytes en Méditerranée	
1. Problématique.....	27
2. Quelle démarche suivre ?.....	27
a) Pourquoi et comment surveiller ?.....	27
b) Quels systèmes de surveillance ?.....	38
c) Comment interpréter les données de la surveillance?.....	40
Bibliographie	44
Annexe 1	
Présentation introductive à la Table ronde, organisée par le CAR/ASP à Hvar (Septembre 2009)	I
Annexe 2	
Compte rendu de la Table ronde, organisée par le CAR/ASP à Hvar (Septembre 2009)	II
Annexe 3	
Grilles d'interprétation en cinq classes de quelques descripteurs de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i>	IV

Contexte de l'étude

Toute tentative de gestion nécessite au préalable l'établissement d'un bilan, ou état des connaissances, concernant les ressources à gérer. Le fait de disposer de cartes de répartition des magnoliophytes marines constitue donc un préalable incontournable à toute activité de conservation de ces formations, mais une prise de décision éclairée ne saurait se limiter à la seule information présence/absence (Mc Kenzie *et al.*, 2001) et, requiert des données complémentaires comme la typologie de l'herbier, son abondance, son état de santé et/ou de conservation et donc la mise en place d'une surveillance adaptée.

Ces éléments apparaissent d'ailleurs parmi les activités prioritaires à mener dans le cadre du Plan d'action pour la conservation de la végétation marine en mer Méditerranée, adopté en 1999 par les Parties contractantes à la Convention de Barcelone (PNUE-PAM-CAR/ASP, 1999). Lors de l'évaluation de la mise en œuvre de ce Plan d'action, en 2005 (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2005), il est apparu que peu de pays avaient été à même de mettre en place une telle surveillance et que, si des programmes de cartographie avaient été initiés dans plusieurs sites, les zones effectivement cartographiées restaient infimes au regard des surfaces potentielles occupées par les herbiers en Méditerranée (plus de 35 000 km² pour les seuls herbiers à *Posidonia oceanica* ; Pasqualini *et al.*, 1998).

Afin d'améliorer cette situation, une table-ronde sur les méthodes de cartographie et de surveillance a été organisée, lors du troisième Symposium méditerranéen sur la Végétation marine, qui s'est tenu à Marseille, en Mars 2007. Les gestionnaires présents ont fait part de leurs besoins de « guides pratiques », permettant une harmonisation des méthodes et la comparaison des résultats acquis à l'échelon régional, afin de faciliter la prise de décisions en matière de gestion des milieux littoraux (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2007). L'intérêt de l'utilisation de la végétation marine, en tant qu'outil d'évaluation de l'environnement, a également été rappelé et il a été suggéré de proposer des protocoles précis permettant la création d'une « boîte à outils », à même de répondre aux besoins de chacun (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2007).

Dans cette optique, lors de leur 15^{ème} réunion ordinaire à Almeria (Janvier 2008), les Parties contractantes ont demandé au Centre d'Activités Régionales pour les Aires Spécialement Protégées (CAR/ASP) d'améliorer les outils d'inventaires existants et de proposer une standardisation des techniques de cartographie et de surveillance de ces formations.

Pour ce faire, le CAR/ASP, en septembre 2009, a organisé, dans le cadre du deuxième atelier de travail sur les magnoliophytes marines de Méditerranée (MSW), qui s'est tenu à Hvar du 6 au 10 septembre 2009, une table ronde sur « la standardisation des méthodes de cartographie et de suivi des magnoliophytes marines dans la région méditerranéenne », afin de recueillir l'avis des scientifiques concernés et de permettre l'élaboration de lignes directrices.

Démarche Adoptée

La démarche adoptée s'est subdivisée en deux parties : l'organisation d'une table-ronde visant à faire un bilan des expériences dans le domaine au niveau méditerranéen, puis une analyse de la littérature internationale.

1. Synthèse de la table-ronde

La table-ronde s'est déroulée lors du 2^{ème} atelier de travail relatif aux magnoliophytes marines de Méditerranée, qui s'est tenu à Hvar, en Croatie, du 6 au 10 septembre 2010. Une brève présentation de la thématique (Annexe 1) a permis d'initier des échanges fructueux entre une soixantaine de participants (Annexe 2).

A l'issue des discussions (Annexe 2), il apparaît que :

Concernant la cartographie :

Il existe de nombreuses méthodes ayant fait la preuve de leur efficacité et plusieurs programmes spécifiques leur ont déjà été consacrés (e.g. Programme Interreg IIIB « *Posidonia* » ; Programme MESH).

- ◆ Ces méthodes sont assez bien connues et une standardisation peut donc être envisagée.
- ◆ Si d'une façon générale toutes les méthodes sont utilisables au niveau régional, certaines semblent plus adaptées à une espèce donnée (e.g. espèce de grande taille) ou à des formations particulières (e.g. herbiers à fort recouvrement).
- ◆ Les méthodes disponibles peuvent s'appliquer dans la quasi-totalité des pays méditerranéens, bien que des difficultés de mise en œuvre liées à une absence de formation, de compétence et/ou de financement spécifique puissent s'avérer problématique. Il apparaît donc important de hiérarchiser les efforts (e.g. sites à étudier en priorité) et de veiller à l'adéquation entre les objectifs de la cartographie et la ou les méthodes mises en œuvre.

Néanmoins il existe un large consensus pour proposer des outils communs et applicables partout et par tous.

Concernant la surveillance :

- ◆ Il existe aujourd'hui plusieurs systèmes de surveillances des magnoliophytes marines, qui bénéficient de plusieurs années d'expérience et qui sont mis en œuvre avec succès, au niveau mondial comme en Méditerranée (e.g. SeagrassNet, programme MedPosidonia, Réseaux de surveillances nationaux des Posidonies).
- ◆ Si les méthodes de surveillance sont assez similaires (suivi régulier au cours du temps, avec la mise en place le plus souvent de repères fixes), les objectifs de la surveillance comme les descripteurs pris en compte lors de ces opérations sont par contre assez divers. Ces descripteurs visent à renseigner sur l'état des herbiers, de la plante, ou des interactions entre cette dernière et son environnement.
- ◆ Même pour des descripteurs unanimement employés par la communauté scientifique méditerranéenne (e.g. densité de l'herbier) les techniques de mesures diffèrent souvent beaucoup. Aussi bien qu'une standardisation précise soit techniquement réalisable, elle semble difficile à promouvoir.
- ◆ Les systèmes de surveillance de Méditerranée sont très spécifiques dans la mesure où ils sont majoritairement dédiés à *Posidonia oceanica*. A l'inverse le SeagrassNet présente l'avantage de pouvoir être utilisé pour la quasi-totalité des espèces de magnoliophytes, mais s'avère moins pertinente pour certains genres (e.g. *Posidonia*) ou certains secteurs (tranche bathymétrique profonde).
- ◆ L'expérience du programme MedPosidonia montre que les différentes méthodes de surveillance mises en œuvre semblent applicables à l'ensemble des pays méditerranéens, dans la mesure où les personnes en charge de ces suivis pourront bénéficier d'une formation dans ce domaine.

Etant donné qu'il n'existe pas de consensus aussi clair que pour les méthodes de cartographie, il apparaît souhaitable, au regard de la forte demande exprimée par les gestionnaires, d'essayer de proposer quelques outils communs et standardisés pour la surveillance. Ces outils devront être choisis dans les systèmes de surveillance déjà existants et pourraient être classés en fonction de leur pertinence au regard des objectifs de la surveillance ou de leur facilité de mise en œuvre.

2. Analyse des données disponibles

Sur la base des résultats des discussions de la table-ronde, une recherche bibliographique complémentaire a été effectuée afin de tenir compte des avancées techniques et des travaux récents, menés par la communauté scientifique au plan international dans ce domaine. Cette approche a été réalisée principalement sur la base des données publiées dans des revues internationales indexées et la consultation des bases de données en ligne (e.g. Web of Science).

PROPOSITIONS DE LIGNES DIRECTRICES POUR LA CARTOGRAPHIE DES HERBIERS DE MAGNOLIOPHYTES EN MÉDITERRANÉE

1. Problématique

Il est communément reconnu aujourd'hui que les petits fonds littoraux de Méditerranée (entre 0 et -50 m) abritent des écosystèmes importants, comme les bioconcrétionnements calcaires et les herbiers à magnoliophytes (PNUE-PAM-Plan Bleu, 2009).

Ces magnoliophytes sont des plantes à fleurs d'origine terrestre, qui sont retournées au milieu marin, il y a environ 120 à 100 Millions d'années et dont on dénombre une soixantaine d'espèces dans le monde, dont cinq en Méditerranée (*Cymodocea nodosa*, *Halophila stipulacea*, *Posidonia oceanica*, *Zostera marina* et *Zostera noltii* ; Fig. 1). Elles forment de vastes prairies sous-marines (encore appelées herbiers), entre zéro et une cinquantaine de mètres de profondeur en mer ouverte, et dans les lagunes littorales (saumâtres à hyperhalines) et jouent un rôle important tant au niveau écologique (production primaire, lieux de frayères et nurseries) que sédimentaire (fixation des sédiments, protection des littoraux ; Pergent, 2006).

On estime à l'échelon planétaire que les prairies sous-marines ont, eu égard aux services qu'elles rendent, une valeur économique majeure (plus de 17 000 \$ par hectare et par an, in Costanza *et al.*, 1997).

Malgré cela, les informations disponibles quant à la répartition géographique précise de ces herbiers restent très fragmentaires à l'échelon régional (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2009a). Par ailleurs, le linéaire côtier inventorié est encore faible puisque seulement 5 états sur 21 disposent d'un inventaire cartographique couvrant au moins la moitié de leurs côtes (PNUE-PAM-Plan Bleu, 2009). Parmi les raisons évoquées pour expliquer cette situation, on note i) le coût souvent élevé de ces inventaires, ii) l'absence de moyens techniques spécifiques, iii) des lacunes en terme de compétence au niveau local, mais aussi iv) la multiplicité des outils disponibles et la difficulté à identifier les méthodes les plus adaptées pour répondre à une situation donnée.

Cymodocea nodosa (Ucria) Ascherson - La paille de mer

Espèce d'affinité chaude, elle est présente dans toute la Méditerranée et en Atlantique (du Sénégal au sud de l'Espagne). Elle se développe en mer ouverte, entre 0 et 10 m de profondeur (exceptionnellement jusqu'à -50 m) et dans les lagunes.

Ses feuilles à l'apex dentelé (20 à 40 cm de long et 3 à 4 mm de large) sont regroupées en faisceaux foliaires ; ses rhizomes bruns rougeâtre sont fins et portent des cicatrices foliaires.



Fig. 1 : Présentation des espèces de magnoliophytes de Méditerranée. Cartes de répartition d'après Green & Short (2003) actualisées.

Halophila stipulacea (Forsskal) Ascherson

Espèce d'affinité tropicale, originaire de la Mer Rouge et introduite en Méditerranée via le Canal de Suez. Elle est présente dans tout le bassin oriental, en mer ouverte, entre 1 et 35 m de profondeur.

Ses feuilles de petite taille (3 à 6 cm de long et 3 à 8 mm de large) sont regroupées en faisceaux foliaires, ses rhizomes essentiellement horizontaux sont fins et clairs.



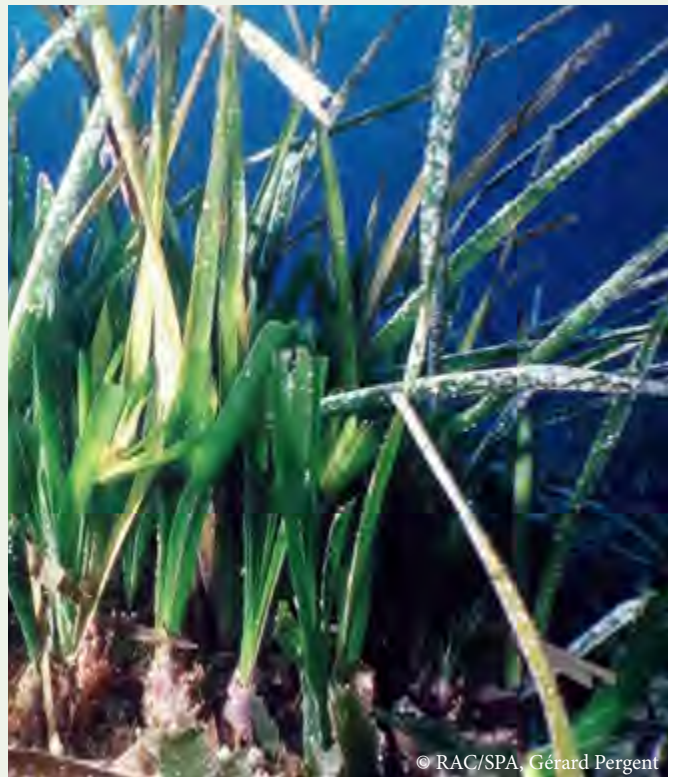
© Yassine Ramzi Sghaier



Posidonia oceanica (Linnaeus) Delile - La Posidonie

Espèce endémique de Méditerranée qui constitue de vastes herbiers entre 0 et 43 m de profondeur. Elle est présente dans tout le bassin méditerranéen à l'exception de l'extrême Sud Est, du haut Adriatique et du secteur de Gibraltar.

Ses feuilles, longues de 30 à 80 cm en moyenne pour 1 cm de large, sont regroupées en faisceaux foliaires ; ses rhizomes bruns et ses racines constituent une structure particulière : la matte.



© RAC/SPA, Gérard Pergent



Fig. 1 : Présentation des espèces de magnoliophytes de Méditerranée. Cartes de répartition d'après Green & Short (2003) actualisées (Suite).

Zostera marina Linnaeus - la zostère marine

Espèce à large répartition (Atlantique, Pacifique, Mer Noire), d'affinité froide, elle est essentiellement présente dans le Nord de la Méditerranée. Elle se développe en mer ouverte et dans les lagunes, entre 0 et 12 m de profondeur.

Ses feuilles à l'extrémité en oreillette (40 à 60 cm de long en moyenne et 4 à 8 mm de large) sont regroupées en faisceaux foliaires, ses rhizomes jaunes à bruns sont fins.



Zostera noltii Hornemann - La zostère naine

Espèce plus tempérée, elle est présente dans toute la Méditerranée et en Atlantique (de la Mauritanie à la Scandinavie) et en mer Noire. Elle se développe en mer ouverte et dans les lagunes, entre 0 et 3 m de profondeur, et tolère des exondations prolongées.

Ses feuilles à l'extrémité en oreillette (10 à 20 cm de long et 1 à 2 mm de large) sont regroupées en faisceaux foliaires, ses rhizomes jaunes clair à beiges, sont très fins.



Fig. 1 : Présentation des espèces de magnoliophytes de Méditerranée. Cartes de répartition d'après Green & Short (2003) actualisées (Suite).

2. Quelle démarche suivre ?

La démarche proposée pour réaliser la cartographie des herbiers de magnoliophytes marines en Méditerranée est proche de celle établie pour la cartographie des habitats marins dans le cadre du programme européen MESH (Mapping European Seabed Habitats /Cartographie des habitats benthiques européens ; Projet MESH, 2008).

Les différentes actions à mener (Fig. 2) sont détaillées ci-après et peuvent être regroupées en trois étapes principales :

- ◆ La planification initiale,
- ◆ Les levés proprement dits
- ◆ Le traitement et l'interprétation des données.

La planification initiale vise à identifier l'objectif de la démarche et permet de déterminer la surface à cartographier et la précision nécessaire pour atteindre l'objectif visé. Ces deux éléments sont fondamentaux pour déterminer les outils qui seront utilisés lors de la phase ultérieure et évaluer l'effort (et donc le coût humain, matériel et financier) nécessaire à la production de la carte. C'est la phase-clé pour la réussite de l'ensemble de la démarche cartographique.

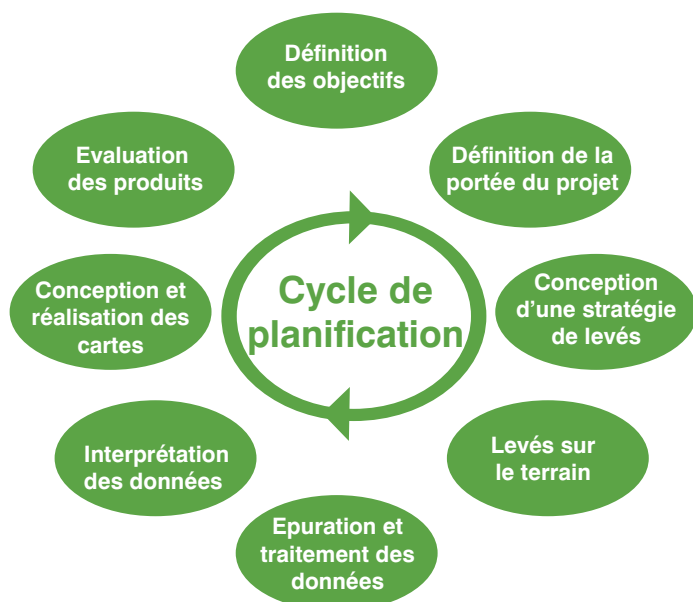


Fig. 2 : Cycle de planification d'un programme de cartographie des habitats (d'après Projet MESH, 2008)

La phase de levés constitue la phase pratique d'acquisition des données. C'est souvent la phase la plus coûteuse car elle requiert généralement des interventions in situ qui s'accompagnent de multiples contraintes (disponibilité des personnes et des moyens techniques, compétences, conditions météorologiques..) qui doivent être satisfaites pour obtenir des données fiables et reproductibles. Aussi doit-elle toujours être précédée par une phase d'inventaire des données déjà disponibles, sur le secteur étudié, afin de pouvoir être réduite ou mieux ciblée.

La phase de traitement et d'interprétation des données est sans doute la plus complexe car elle nécessite des connaissances et de l'expérience, afin que les données acquises soient utilisables. Une évaluation des produits obtenus est impérative afin de s'assurer de la cohérence et de la validité des résultats acquis.

a) Quelle précision pour quelle surface à cartographier ?

La sélection d'une échelle appropriée est une étape critique de la phase de planification (Mc Kenzie *et al.*, 2001). Bien qu'il n'y ait aucune impossibilité technique à utiliser une précision élevée sur de grandes surfaces (ou inversement), il existe généralement une relation inverse entre la précision utilisée et la surface à cartographier (Mc Kenzie *et al.*, 2001) une approche globale, voire une probabilité de répartition d'un habitat ou une identification de ses limites d'extension. Ce type d'approche s'applique à des études nationales ou sous-régionales et la surface minimale cartographiée est de 25m² (Pergent *et al.*, 1995a). A l'inverse, les objectifs cartographiques qui concernent des surfaces réduites nécessitent souvent un niveau de précision beaucoup plus élevé (surface minimale inférieure ou égale au mètre-carré ; Pergent *et al.*, 1995a). Ce qui est alors recherché c'est une localisation très précise de l'habitat dans un objectif de contrôle ou de suivi temporel. Ce type d'approche intéresse des zones-tests ou des sites remarquables qu'il convient de surveiller de façon très précise. Comme le souligne le Projet MESH (2008), la plupart des activités de gestion de l'environnement et de planification de l'espace marin requièrent un assortiment de cartes d'habitats situées entre ces deux extrêmes.

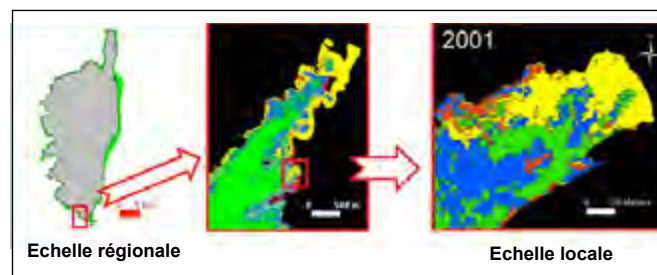


Fig. 3 : Echelle et précision d'une carte

b) Quels outils disponibles pour les levés cartographiques ?

En moins d'un siècle les techniques de levés cartographiques se sont fortement diversifiées et plusieurs ont été appliquées avec succès aux herbiers de magnoliophytes marines (voir synthèse in Walker, 1989 ; Pergent *et al.*, 1995a ; McKenzie *et al.*, 2001 ; Dekker *et al.*, 2006 ; Projet POSIDONIA, 2007). En effet, dans la mesure où la cartographie de ces herbiers concerne les petits fonds (0 – 50 m), elle permet de faire appel aussi bien à des techniques d'imageries optiques (images satellitaires, multi ou hyper spectrales, photographies aériennes) qu'acoustiques (sonar à balayage latéral, sondeurs mono ou multifaisceaux). L'emploi simultané de plusieurs instruments permet le plus souvent d'optimiser les résultats dans la mesure où les informations fournies sont différentes mais peuvent être complémentaires (Tab. 1).

Tab.1: Synthèse relative aux principaux outils de levés utilisés pour la cartographie des magnoliophytes marines. Lorsque cela est possible la tranche bathymétrique et la surface d'utilisation, la précision, l'aire cartographiée par heure, l'intérêt principal ou les limites d'utilisations sont indiquées avec les références bibliographiques correspondantes.

Outil de levé	Profondeur	Surface à cartographier	Précision géométrique	Aire cartographiée en km ² /heure
Images satellitaires	De 0 à -20 m mais adapté surtout à la tranche de 0 à -10 m	A partir de quelques km ² mais surtout adaptés aux grandes surfaces (supérieures à 100 km ²)	A partir de 0.5 m	Plus de 100 (Kenny <i>et al.</i> , 2003)
Images multispectrales et/ou hyperspectrales	De 0 à -25 m (Mumby & Edwards, 2002) mais adapté aux tranches superficielles (jusqu'à -15 m; Gagnon <i>et al.</i> , 2008)	CASI utilisé sur des surfaces de 50 km ² jusqu'à à 5000 km ² (Mumby & Edwards 2002)	A partir de 1 m (Mumby <i>et al.</i> , 2003)	
Photographies aériennes	De 0 à -20 m mais adapté surtout à la tranche de 0 à -10 m	Adaptée aux petites surfaces (10 km ² ; in Diaz <i>et al.</i> , 2004) mais peut être utilisée pour des surfaces supérieures à 100 km ²	A partir de 0.3 m (Frederiksen <i>et al.</i> , 2003)	Plus de 10 (Kenny <i>et al.</i> , 2003)
Sonar latéral	Au-delà de -8 m (Clabaut <i>et al.</i> 2006)	Peut être utilisé pour de grande surface mais adapté à des surfaces moyennes (quelques dizaines de km ²)	A partir de 0.1 m (Kenny <i>et al.</i> , 2003)	0.8 à 3.5 (Kenny <i>et al.</i> , 2003)
Sondeur acoustique sondeur acoustique mono-faisceau	Au-delà de -10 m (Riegl & Purkis, 2005)		A partir de 0.5 m (Riegl & Purkis, 2005)	1.5 (Kenny <i>et al.</i> , 2003)
Sondeur multifaisceaux	De -2 m à -8 m (Komatsu <i>et al.</i> , 2003)		A partir de 1m (Kenny <i>et al.</i> , 2003)	0.2 (Komatsu <i>et al.</i> , 2003)

Intérêt	Limite
<p>Utilisable partout sans autorisation, précision géométrique élevée. Possibilité de trouver des images en libre accès à résolution faible mais qui restent utiles pour les zones superficielles.</p>	<p>Nécessite des bonnes conditions météorologiques (absence de nuages, et de vent). Possibilité de confusion entre peuplements de tonalité proche (e.g. herbier sur roche et peuplements photophiles sur roche). Erreur d'interprétation liée aux variations bathymétriques (un même herbier peut apparaître dans des tonalités différentes suivant qu'il est à -3 m ou à -10 m).</p>
<p>Très haute résolution spectrale qui offre la possibilité de discriminer des espèces de magnoliophytes (Dekker <i>et al.</i>, 2006). Possibilité d'acquérir des données par mauvais temps.</p>	<p>Procédures d'acquisition et de traitement complexes qui requièrent la présence de spécialistes. Nécessité d'acquérir données-terrains et données spectrales en même temps et de disposer de nombreuses données pour valider les observations. Difficulté d'identification en cas de peuplements très fragmentés (Dekker <i>et al.</i>, 2006).</p>
<p>Possibilité d'adapter la précision de l'image à l'objectif recherché (Pergent <i>et al.</i>, 1995a) Interprétation manuelle possible, directe et aisée. Importante bibliothèque d'images qui permet l'accès à des séries chronologiques. Bonne identification des limites entre peuplements</p>	<p>Même limite que l'imagerie satellitaire. Des difficultés de corrections géométriques et de fortes déformations si la verticalité n'est pas respectée ou si l'image concerne une aire très réduite (prise de vue à très faible altitude). Autorisations pour les prises de vues difficiles à obtenir dans certains pays.</p>
<p>Représentation réaliste des fonds permettant une bonne identification des limites de faciès et des herbiers assez denses. Rapidité d'exécution.</p>	<p>Perte de définition en bordure d'image, qui conduit à prévoir un léger recouvrement entre profils. Importantes variations de l'amplitude du signal (niveaux de gris) qui peut entraîner des erreurs d'interprétation (un même peuplement peut apparaître dans des niveaux de gris différents ; Kenny <i>et al.</i>, 2003)</p>
<p>Bon géo référencement.</p>	<p>Faible discrimination entre habitats et fiabilité plus réduite que les techniques satellitaires.</p>
<p>Possibilité d'obtenir une image en 3 dimensions des herbiers et d'appréhender des informations de biomasse par unité de surface.</p>	<p>Masse très importante de données nécessitant des systèmes informatiques pour le traitement et l'archivage très performants. Traitement des données complexe.</p>

Tab.1: Synthèse relative aux principaux outils de levés utilisés pour la cartographie des magnoliophytes marines (suite).

Outil de levé	Profondeur	Surface à cartographier	Précision géométrique	Aire cartographiée en km ² /heure
Transect ou carré permanent	Tranche bathymétrique facilement accessible en plongée en scaphandre (0-20 m) mais surtout adapté à la tranche de 0 à -10 m	Surfaces inférieures au km ² , généralement 25 à 100 m ² pour les carrés permanents (Pergent <i>et al.</i> , 1995a)	A partir de 0.1 m	0.01
Caméra vidéo	Toute la tranche bathymétrique de distribution des herbiers	Adapté à des petites surfaces inférieures au km ²	A partir de 0.1 m (Kenny <i>et al.</i> , 2003)	0.2 (in Diaz <i>et al.</i> , 2004)
Téléométrie-laser	Tranche bathymétrique facilement accessible en plongée en scaphandre autonome (0-20 m)	Adapté à des petites surfaces inférieures au km ²	Quelques centimètres (Descamp <i>et al.</i> , 2005)	0.01
GIB	Tranche bathymétrique facilement accessible en plongée en scaphandre autonome (0-20 m)	Adapté à des petites surfaces inférieures au km ²		



Intérêt	Limite
<p>Très grande précision quant à l'identification des petites structures (touffes d'herbier) et la localisation des limites des peuplements.</p>	<p>Temps de travail très élevé ou nécessitant de nombreux observateurs.</p>
<p>Facilité de mise en œuvre et possibilité d'enregistrer les images du fond et de les interpréter à postériori.</p>	<p>Temps d'acquisition des données et de dépouillement très long. Erreur de positionnement lié à l'écart entre la position du bateau et la caméra lorsqu'elle est tractée (Projet POSIDONIA, 2007).</p>
<p>Localisation très précise des limites de peuplements ou de structures remarquables. Possibilité de suivi au cours du temps.</p>	<p>Portée limitée à 100m par rapport à la base ce qui ne permet pas de travailler sur de grandes surfaces. Nécessité de points repérables sur le fond pour positionner la base si un suivi temporel est envisagé Possibilité de perturbation du signal acoustique par des variations importantes de température ou de salinité. Appareillage nécessitant une formation spécifique (Descamp <i>et al.</i>, 2005).</p>
<p>Même caractéristiques que la télémétrie acoustique mais portée supérieure (1.5 km).</p>	<p>Technique relativement lourde à mettre en œuvre (appareillage important, équipe de plongeurs et matériel afférent ; Projet POSIDONIA, 2007).</p>



A l'issue du levé, il convient d'organiser les données acquises (nature des données, objectif de l'acquisition, organisme producteur, méthode utilisée, site étudié et date d'acquisition), afin d'en permettre une réutilisation ultérieure et de les archiver de manière appropriée pour qu'elles soient aisément consultables, ne se détériorent pas avec le temps et puissent être facilement intégrées à des données semblables provenant d'autres sources (Projet MESH, 2008).

1) Les données optiques

Les images satellitaires sont issues des satellites en orbite autour de la terre. L'acquisition de données est continue et il est aujourd'hui possible d'acheter ces données qui peuvent avoir une précision importante (Tab. 2).

Tab. 2 : Types de satellites et précisions des capteurs utilisés pour la cartographie des magnoliophytes marines. - absence de donnée

Satellite	Précision en panchromatique	Référence bibliographique relative aux magnoliophytes marines
Landsat 7	15 m	Cerdeira-Estrada <i>et al.</i> , 2008
SPOT 5	2.5 m	Pasqualini <i>et al.</i> , 2005
IKONOS (HR)	1.0 m	Mumby & Edwards, 2002
QuickBird	0.7 m	Projet POSIDONIA, 2007
Geoeyes	0.5 m	-

Il est également possible de demander une programmation spécifique du satellite (passage programmé sur un secteur identifié avec des préconisations spécifiques) mais cela se traduit par un coût plus élevé.

Les données brutes doivent subir une correction géométrique préalable afin de compenser les erreurs imputables aux méthodes d'acquisition des clichés (e.g. erreurs de parallaxe, inclinaison du satellite...) avant d'être utilisées, aussi il convient d'acquérir des images déjà géoréférencées même si leur coût est plus élevé que celui de la donnée brute.

Au regard des modifications du spectre lumineux en fonction de la profondeur, il convient de réserver ces techniques pour les tranches bathymétriques superficielles (Tab. 1). On peut considérer, en eau claire que :

- ◆ le canal bleu permet de voir jusqu'à environ 20 à 25 mètres de fond
- ◆ le canal vert jusqu'à 15 à 20 mètres
- ◆ le canal rouge jusqu'à 5 à 7 mètres
- ◆ le canal proche infra rouge (PIR) quelques dizaines de centimètres (Projet POSIDONIA, 2007), et l'expérience en Méditerranée montre que pour des types de fonds bien différenciés (e.g. substrat meuble/herbier) elles peuvent être employées sans difficulté jusqu'à une vingtaine de mètres de profondeur (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2009b).

L'imagerie multi spectrale ou hyper spectrale est basée sur l'acquisition simultanée d'images composées de nombreuses bandes spectrales (généralement 100 ou plus) étroites et contiguës. Il existe une grande variété de capteurs aéroportés (CASI, Deaedralus Airborne Thematic Mapper ; Godet *et al.*, 2009) qui fournissent des informations en temps réel et dans des conditions défavorables d'éclairage (Tab. 1). La possibilité de créer des bibliothèques de réponses spectrales spécifiques auxquelles comparer les valeurs mesurées offre la possibilité d'appréhender la couverture végétale voire de différencier les espèces qui la compose (Ciraolo *et al.*, 2006 ; Dekker *et al.*, 2006).

Les photographies aériennes, acquises à partir de multiples engins (e.g. avions, drones, ULM...), peuvent présenter des caractéristiques techniques variables (e.g. altitude de prise de vue, verticalité, qualité de l'optique...). Bien que d'un coût plus élevé, les prises de vues, réalisées à partir d'avion équipé de système de contrôle de l'altitude et de la verticalité et utilisant des négatifs de grande taille (24x24), permettent une meilleure exploitation des résultats (e.g. précision géométrique). A titre indicatif sur une photographie au 1/25 000 la surface couverte est de 5,7 km x 5,7 km (Denis *et al.*, 2003). Du fait des progrès réalisés, au cours de ces dernières décennies, tant au niveau des prises de vues (e.g. qualité du film, filtres, objectifs...) que de leur traitement ultérieur (e.g. numérisation, géo-référencement), les photographies aériennes constituent aujourd'hui l'une des méthodes de levés préférées pour la cartographie des herbiers de magnoliophytes marines (Mc Kenzie *et al.*, 2001 ; Projet POSIDONIA, 2007).

2) Les données acoustiques

Le sonar fournit des images du fond à travers l'émission et la réception d'ultrasons. Parmi les principales technologies de cartographies acoustiques des fonds Kenny *et al.* (2003) distinguent : (1) les systèmes à larges faisceaux acoustiques comme le sonar à balayage latéral, (2) les sondeurs à faisceau unique (e.g. RoxAnn®QTC-View®), (3) les systèmes bathymétriques à faisceaux étroits multiples et (4) les sondeurs multifaisceaux (Fig. 4).

Le sonar à balayage latéral se compose d'un enregistreur fixe et d'un engin remorqué appelé « poisson » qui émet le signal acoustique. Les images obtenues, ou sonogrammes, indiquent la répartition et les limites des différentes entités sur une surface de 100 à 200 m de part et d'autre du trajet parcouru (Clabaut *et al.*, 2006 ; Tab. 1). La précision du document cartographique final dépend en partie des moyens de positionnement utilisés par le bateau (e.g. radiolocalisation ou positionnement par satellite). L'existence d'un atlas de sonogrammes (Clabaut *et al.*, 2006) peut aider à l'interprétation des données.

Le sondeur acoustique à faisceau unique est basé sur l'émission en simultané de deux fréquences séparées de plusieurs octaves (38 kHz et 200 kHz), ce qui permet d'obtenir des informations de caractérisation des fonds. La réponse acoustique du sondeur est différente selon que le son se réfléchit sur une zone couverte de végétation ou non (Projet POSIDONIA, 2007).

Le sondeur multifaisceaux (Fig. 4) permet d'obtenir de manière précise et rapide : (i) des relevés topographiques du relief sous-marin (bathymétrie), (ii) des images sonar présentant la réflectivité locale du fond, et donc sa nature (imagerie). L'instrument mesure simultanément la profondeur selon plusieurs directions, déterminées par les faisceaux de réception du système. Ces faisceaux forment une fauchée perpendiculaire à l'axe du navire. On explore ainsi le fond sur une large bande (de l'ordre de 5 à 7 fois la profondeur), avec une très grande résolution (Projet POSIDONIA, 2007) Cela permet d'obtenir des images en 3 dimensions des fonds et donc de visualiser les herbiers mais également d'en apprécier la biomasse (Komatsu *et al.*, 2003).

3) Les prélèvements et les observations in situ

Les prélèvements et les observations sur le terrain fournissent des données discrètes (échantillonnage de points distincts régulièrement répartis dans une zone d'étude). Elles sont indispensables pour valider les informations continues (couvertures surfaciques complètes sur des portions des secteurs d'étude ou le long de parcours) recueillies par les différents instruments de levés et doivent être suffisamment nombreuses et réparties de façon appropriée au regard de la précision recherchée et de l'hétérogénéité des habitats. Dans le cadre de la cartographie des herbiers à *Cymodocea nodosa*, à *Posidonia oceanica*, à *Zostera marina* ou à *Z. noltii*, les prélèvements destructifs (bennes, carottiers, chaluts, dragues) doivent être prohibés au regard du caractère protégé de ces espèces (PNUE-PAM, 2009) et les prélèvements directs à la main doivent être autant que possibles limités.

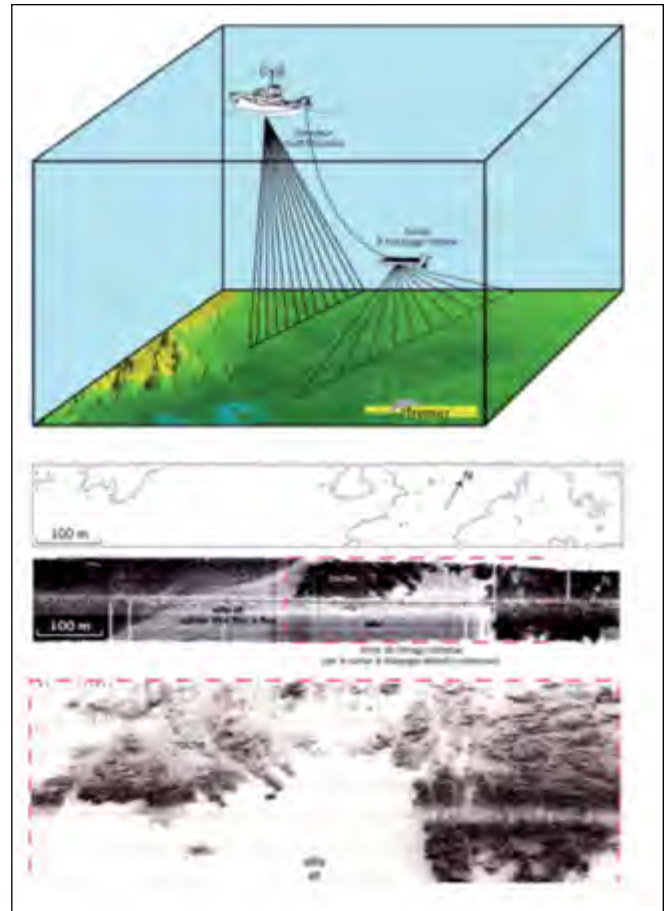


Fig. 4 : Principe de fonctionnement du sonar multifaisceaux et exemples d'enregistrement bathymétrique (sondeur multifaisceaux), et images acoustiques (sondeur multifaisceaux et sonar à balayage latéral) ; www.ifremer.fr.

Les observations peuvent être réalisées depuis la surface (e.g. seau de calfat), par immersion d'observateurs dans le milieu (plongée) ou au moyen de techniques d'imageries sous-marines comme la photographie et la vidéo. Les appareils photographiques et les caméras peuvent être montés sur un bâti vertical, un traîneau ou un véhicule téléguidé (ROV). Les caméras sur bâti vertical sont immergées sur le côté du navire pendant que celui-ci dérive ou avance très lentement (à moins de 1 nœud), les traîneaux sont remorqués à l'arrière d'un navire, et les ROV disposent de système de propulsions propres et sont téléguidés depuis la surface (Projet MESH, 2008).

L'utilisation de caméras vidéo (système tracté ou ROV) permet lors des campagnes d'acquisition de visualiser les images à l'écran en temps réel, et d'identifier ou de localiser les changements de faciès et tout autre élément caractéristique des fonds. Suite aux opérations maritimes, les images sont revues pour obtenir une restitution cartographique par S.I.G. de chacun des trajets réalisés (Projet POSIDONIA, 2007).

Afin de faciliter et d'améliorer les résultats acquis par ces caméras des modules d'acquisition conjoints intégrant la profondeur, l'image des fonds et le positionnement géographique ont été développés (e.g. système TRITONE ou MOBIDIC ; Projet POSIDONIA, 2007)

Les observations in situ peuvent en outre constituer des techniques de levé à part entière lorsqu'elles sont utilisées le long de lignes (transect) ou sur de petites surfaces (carré permanent) précisément matérialisés sur le fond, ou enfin pour suivre les limites d'un peuplement.

Les transects consistent, à parcourir des lignes matérialisées sur le fond par des rubans gradués, tendus à partir de points fixes à la côte en suivant un cap précis (Boudouresque *et al.*, 1980 in Pergent *et al.* 1995a). Chaque modification des peuplements et types de fond sur une surface de 1 à 2 m de part et d'autre de la ligne est notée. Le report des informations permet d'établir une carte précise du secteur étudié (Tab. 1).

La possibilité de délimiter les limites d'un herbier peut également donner lieu à une carte de distribution. Ainsi la télémétrie-laser apparaît comme une technique utile pour un levé cartographique très précis sur de petites surfaces (Descamp *et al.*, 2005). Le système GIB (GPS Intelligent Buoys), qui se compose de quatre bouées avec des hydrophones et GPS et d'un émetteur acoustique sous-marin est assez comparable. Les bouées mesurent les temps d'arrivée d'un signal acoustique dont l'émission est synchrone du temps GPS. Connaissant l'instant d'émission de ces signaux et la vitesse de propagation du son dans l'eau, on peut en déduire directement les distances entre le pinger et les 4 bouées. La profondeur est donnée par capteur de pression. Pour optimiser les opérations de cartographie de l'herbier le pinger peut être fixé sur un scooter sous-marin conduit par un plongeur. La distance maximale du pinger par rapport au centre du polygone formé par les 4 bouées peut alors être de 1 500 m environ (Projet POSIDONIA, 2007).

Le suivi en plongée libre avec un GPS différentiel peut également être envisagé pour la localisation de la limite supérieure des herbiers. Le plongeur suit précisément le contour de la limite et le DGPS enregistre en continu les coordonnées géographiques du plongeur. Le report cartographique se fait par simple intégration sous SIG de la route suivie. La vitesse d'acquisition est de l'ordre de 2-3 km/h, la précision de la détection peut être submétrique (Projet POSIDONIA, 2007).

c) Quelles méthodes d'analyse pour l'interprétation des données ?

Le projet MESH (2008) identifie trois étapes préalables à la production d'une carte d'habitats :

- ◆ Traitement, analyse et classification de la donnée biologique
- ◆ Sélection des couches physiques les plus appropriées (e.g. substrat, bathymétrie, hydrodynamisme)
- ◆ Intégration et modélisation des données par mise en correspondance des classes d'habitats biologiques et des couches physiques puis regroupement des correspondances semblables, interprétation directe des images acoustiques et optiques, en faisant appel au « dire » d'experts ou modélisation statistique.

La carte qui est ensuite produite doit faire l'objet d'une évaluation quant à son exactitude, c'est-à-dire sa capacité à représenter le monde tel qu'il est dans la réalité, sa précision et donc sa fiabilité.

Lors de l'étape de traitement d'analyse et de classification, il conviendra de se référer à la liste de référence des types d'habitats de Méditerranée (PNUE-PAM-CAR/ASP, 1999), adoptée par les Parties Contractantes à la Convention de Barcelone lors de leur 11ème réunion ordinaire. Cette liste identifie des habitats « herbier » spécifiques qui apparaissent également en annexe à la Directive Habitat (Directive 92/43/CEE du Conseil du 21 mai 1992) et doivent être pris en considération dans le cadre des programmes Natura 2000 (Fig. 5).

Une description précise des habitats de référence et les critères permettant leur identification sont également disponibles (Bellan-Santini *et al.*, 2004). Au regard de cette classification les habitats qui pourront apparaître sur la carte sont :

- ◆ Les herbiers à *Cymodocea nodosa*
- ◆ Les herbiers à *Halophila stipulacea*
- ◆ Les herbiers à *Posidonia oceanica*
- ◆ Les herbiers à *Zostera marina*
- ◆ Les herbiers à *Zostera noltii*
- ◆ Les herbiers mixtes (mélange des espèces précédentes)

Pour ce qui concerne les herbiers à *Posidonia oceanica*, il est souhaitable d'identifier les herbiers discontinus (sur roche ou sur sable), les mattes mortes et les monuments naturels comme :

- ◆ Les herbiers tigrés
- ◆ Les récifs barrières et plateformes récifales
- ◆ Les atolls (micro ou macro-atolls)



© RAC/SPA, Renaud DUPUY DE LA GRANDRIVE



| © Gérard Pergent



| © Sandrine Ruitton

I. SUPRALITTORAL

I. 1. VASES

I. 2. SABLES

I. 2. 1. Biocénose des sables supralittoraux

I. 2. 1. 5. Faciès des phanérogames échouées (partie supérieure)

I. 3. CAILLOUTIS ET GALETS

I. 4. FONDS DURS ET ROCHES

II. MEDIOLITTORAL

II. 1. VASES, VASES SABLEUSES ET SABLES

II. 2. SABLES

II. 3. CAILLOUTIS ET GALETS

II. 3. 1. Biocénose du détritique médiolittoral

II. 3. 1. 1. Faciès des banquettes de feuilles mortes de *Posidonia oceanica* et autres phanérogames

II. 4. FONDS DURS ET ROCHES

III. INFRALITTORAL

III. 1. VASES SABLEUSES, SABLES, GRAVIERS ET ROCHES EN MILIEU EURYHALIN ET EURYTHERME

III. 1. 1. Biocénose euryhaline et eurytherme

III. 1. 1. 4. Association à *Zostera noltii* en milieu euryhalin et eurytherme

III. 1. 1. 5. Association à *Zostera marina* en milieu euryhalin et eurytherme.

III. 2. SABLES FINS PLUS OU MOINS ENVASES

III. 2. 1. Biocénose des sables fins bien de haut niveau

III. 2. 2. Biocénose des sables fins bien calibrés

III. 2. 2. 1. Association à *Cymodocea nodosa* sur sables fins bien calibrés

III. 2. 2. 2. Association à *Halophila stipulacea*

III. 2. 3. Biocénose des sables vaseux superficiels de mode calme

III. 2. 3. 4. Association à *Cymodocea nodosa* sur sables vaseux superficiels de mode calme

III. 2. 3. 5. Association à *Zostera noltii* sur sables vaseux superficiels de mode calme

III. 3. SABLES GROSSIERS PLUS OU MOINS ENVASES

III. 4. CAILLOUTIS ET GALETS

III. 5. HERBIER A *POSIDONIA OCEANICA*

III. 5. 1. Herbier à *Posidonia oceanica* (= Association à *Posidonia oceanica*)

III. 5. 1. 1. Ecomorphose de l'herbier tigré

III. 5. 1. 2. Ecomorphose du récif barrière de l'herbier

III. 5. 1. 3. Faciès de matte morte de *Posidonia oceanica* sans epiflore important

Fig.5 : Extrait de la liste de référence des habitats de Méditerranée (PNUE-PAM-CAR/ASP, 1999), seuls les habitats en rapport avec les magnoliophytes marines sont indiquées.

Dans la mesure où ces formations sont généralement de tailles réduites, elles ne pourront être identifiées que dans le cadre de cartographie à précision élevée (métrique).

Si la sélection des couches physiques peut apparaître comme une démarche intéressante dans un cadre général de cartographie des habitats marins, afin de réduire le temps de traitement, elle s'avère peu utilisable pour les herbiers de Méditerranée dans la mesure où aucun des paramètres physiques classiques (e.g. substrat, profondeur, hydrodynamisme, ou salinité) n'est réellement discriminant pour prévoir la distribution des espèces (Fig. 6).

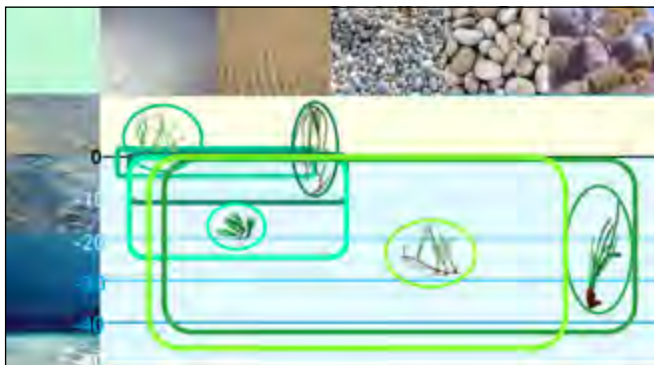


Fig. 6 : Distribution des espèces de magnoliophytes marines en fonction de la nature du substrat et de la profondeur en Méditerranée.

L'étape d'intégration et de modélisation des données sera différente en fonction des outils de levé utilisés et de la stratégie d'acquisition adoptée. En effet, du fait de leur rapidité d'acquisition, les techniques aériennes permettent habituellement de couvrir entièrement le littoral et les zones intertidales de petits fonds que l'on souhaite cartographier, ce qui réduit fortement la part d'interpolation. A l'inverse les levés à partir de navires, souvent limités par des considérations de temps et de coûts, ne permettent que rarement d'obtenir une couverture totale du site. Une couverture inférieure à 100 % se traduit automatiquement par l'incapacité à réaliser des cartes à haute résolution et la nécessité de recourir à des techniques d'interpolation pour produire à partir de levés partiels une carte à résolution plus faible (Projet MESH, 2008 ; Fig. 7).

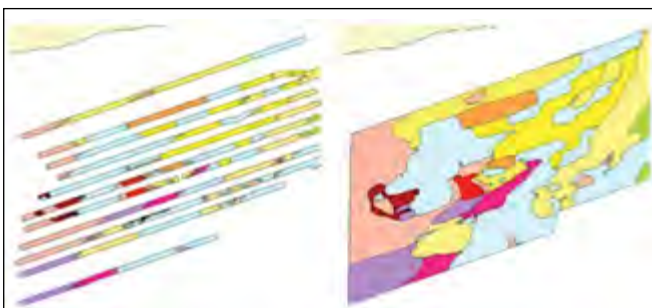


Fig. 7 : Exemple de levé à couverture partielle (à gauche) et de carte produite par interpolation (à droite). Le territoire faisant l'objet du levé a une largeur d'environ 20 km (Projet MESH, 2008).

Une stratégie de levés « imbriqués » qui combine une couverture partielle d'un grand territoire et une couverture plus détaillée de certaines zones présentant un intérêt particulier peut être un compromis intéressant.

Ainsi dans l'optique d'une carte potentielle de distribution des herbiers, il peut s'avérer utile de ne cartographier avec précision que les limites d'extension (supérieures et inférieures) du peuplement, la présence entre ces deux limites pouvant être réduite à des investigations ponctuelles laissant une large part à l'interpolation (Pasqualini *et al.*, 1998). Le traitement et l'analyse numérique des données (qu'elles soient optiques ou acoustiques) permet ensuite sur la base d'observations in situ de créer des parcelles d'entraînement qui associent des tonalités de gris, des faciès ou des textures à un type de peuplement et de généraliser cette information à l'ensemble de l'image permettant ainsi la production d'une carte, qui doit au minimum permettre d'identifier les substrats meubles, les substrats durs et les herbiers de magnoliophytes. Des traitements spécifiques (e.g. analyse de la rugosité, filtrage et seuillage) peuvent permettre d'accéder à des informations complémentaires comme le recouvrement de l'herbier ou la présence de traces anthropiques (Pasqualini *et al.*, 1999).

Afin de faciliter la comparaison des sites, il est souhaitable d'adopter pour chaque type de peuplement une représentation graphique unique (Fig. 8). Lorsque la précision du rendu cartographique le permet, il est possible de figurer des herbiers discontinus, caractérisés par un recouvrement inférieur à 50% (la couleur des spots permettant d'identifier l'espèce concernée), ou les deux espèces principales, constituant un herbier mixte. Pour les herbiers tigrés à *Posidonia oceanica* et les atolls aucun figuré n'est envisagé dans la mesure où il s'agit de formes typiques (bandes, structures circulaires) aisément identifiables.

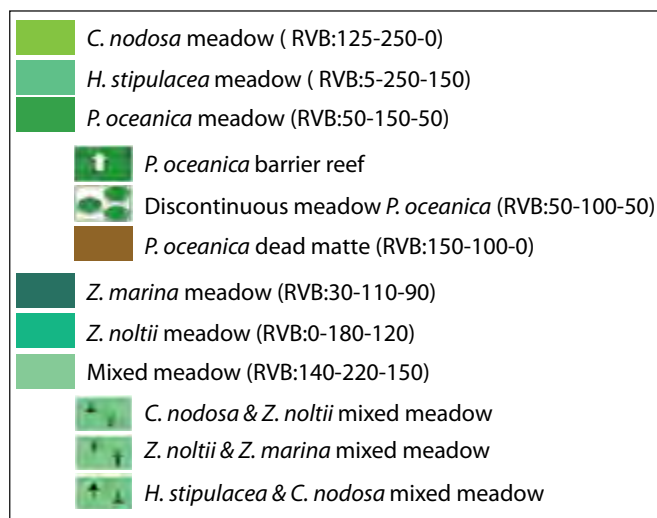


Fig. 8 : Représentation graphique des principales formations à magnoliophytes marines. RVB : valeurs en rouge vert et bleu pour chaque type d'herbier.

L'intégration des résultats dans un SIG (Système d'Information Géographique) est à privilégier afin d'en faciliter la consultation ultérieure et l'exploitation.

Ainsi il est possible d'appréhender par comparaison avec des données antérieures (données bibliographiques) les modifications de certains peuplements au cours du temps (Mc Kenzy *et al.*, 2001 ; Barsanti *et al.*, 2007).

Enfin il est également souhaitable de s'interroger sur la fiabilité de la carte produite. Pour ce qui concerne les herbiers de

magnoliophytes, plusieurs échelles d'évaluations ont d'ores et déjà été proposées et peuvent s'avérer utiles.

Ainsi Denis *et al.* (2003) proposent un indice de fiabilité des données cartographiques bibliographiques basées sur l'échelle de la carte (note sur 5 ; Fig. 9), le mode de positionnement (note sur 5 ; Fig. 9) et la méthode d'acquisition de l'observation (note sur 10 ; Tab. 3).

Valeur de l'indice	0	1	2	3	4	5
Echelle de la carte (e)						
$\geq 1/500\ 000$	↑					
$1/100\ 000 < e \leq 1/500\ 000$		↑				
$1/50\ 000 < e \leq 1/100\ 000$			↑			
$1/25\ 000 < E \leq 1/50\ 000$				↑		
$1/5\ 000 < E \leq 1/25\ 000$					↑	
$E \leq 1/5\ 000$						↑
Mode de positionnement						
Aucun positionnement	↑					
Photographies $\leq 1/2000$ sans correction	↑					
Photographies $\geq 1/2000$ sans correction		↑				
Photographies avec correction selon trait de côte référencé				→ Selon la qualité du référentiel		
Photographies avec correction selon données terrain relevée au GPS non différentiel					↑	
Photographies avec correction selon données terrain relevée au GPS non différentiel						↑

Fig. 9 : Critères d'attribution de la note correspondant au paramètre « échelle de la carte » et au paramètre « mode de positionnement » de l'indice de fiabilité des cartes anciennes (d'après Denis *et al.*, 2003 modifié).

L'indice de fiabilité (de 0 à 20) peut varier d'un point à un autre de la carte en fonction de la bathymétrie ou de la technique employée. De la même manière, Pasqualini (1997) propose une échelle de fiabilité relative au traitement d'image de photographies aériennes (Tab. 4), qui peut également être appliquée aux images satellitaires, et une autre relative au traitement des sonogrammes (Tab. 5). Une fiabilité inférieure ou égale à 50 % doit amener l'auteur soit à tenter d'améliorer cette fiabilité (augmentation

du nombre de parcelles d'entraînement lors du traitement de l'image, par exemple) soit à adapter l'échelle de rendu. De la même façon, bien que cela ne soit quasiment jamais mentionné, il semble important de fournir en complément de la carte une information sur la répartition, le nombre ou le pourcentage des données acquises afin de faire la part de ce qui est interpolation et de ce qui est données-terrain proprement-dit.

Tab. 3 : Critères d'attribution de la note correspondant au paramètre « mode d'acquisition des données » de l'indice de fiabilité des cartes anciennes (Denis *et al.*, 2003).

PROFONDEUR DE 0 À 5 M						
Mode d'acquisition	Sonar	Prélèvement, observations ponctuelles, balisages, etc.		Images satellites	Photographies aériennes ou images satellites + vérités-terrain	Photographies aériennes + vérités terrain
Note (/10)	0	0 à 6 selon la maille (M)		6	8	10
		$M \geq 1000$ m	0			
		$1000 \text{ m} > M \geq 500$ m	1			
		$500 \text{ m} > M \geq 250$ m	2			
		$250 \text{ m} > M \geq 100$ m	3			
		$100 \text{ m} > M \geq 50$ m	4			
		$50 \text{ m} > M \geq 20$ m	5			
		$20 \text{ m} > M$	6			
PROFONDEUR DE 5 À 15 M						
Mode d'acquisition	Prélèvement, observations ponctuelles, balisages, etc.	Images satellites	Photographies aériennes ou images satellites + vérités-terrain	Sonar	Photographies aériennes et/ou sonar + vérités terrain	
Note (/10)	0 à 6 selon la maille (M)	4	6	8	10	
PROFONDEUR DE 15 À 40 M						
Mode d'acquisition	Photographies aériennes	Images satellites	Prélèvement, observations ponctuelles, balisages, etc.	Sonar	Sonar + vérités terrain	
Note (/10)	0	0	0 à 6 selon la maille (M)	8	10	

Tab. 4 : Critères d'attribution de l'indice de fiabilité des cartes réalisées par traitement d'images à partir de photographies aériennes. * : Critère subdivisé en deux éléments, chacun étant pondéré d'un coefficient de 0.5 (Pasqualini, 1997).

ÉCHELLE DE FIABILITÉ	3 points	2 points	1 point	0 point
CRITÈRES				
Site étudié				
Topographie : pente	Faible et constante	Faible et irrégulière	Forte et constante	Forte et irrégulière
Tranche bathymétrique	0 à 5 m	0 à 10 m	0 à 20 m	0 à plus de 20 m
Turbidité de l'eau : Visualisation des peuplements et types de fonds	100 % de la tranche bathymétrique étudiée	75 % de la tranche bathymétrique étudiée	50 % de la tranche bathymétrique étudiée	< à 50 % de la tranche bathymétrique étudiée
Nature des peuplements et types de fonds	Très différente	Différente	Proche	Très proche
Prises de vue				
Qualité	Très bonne	Bonne	Moyenne	Mauvaise
Effets de surface : réflexion spéculaire, plan de vague	Pas d'effet de surface	Effet de surface éloigné du site	Effet de surface proche du site	Effet de surface au niveau du site
Numérisation				
Taille du pixel	Pixel \leq 2 m	2 m < Pixel \leq 5 m	5 m < Pixel \leq 10 m	Pixel > 10 m
Correction géométrique				
*Points d'amers Nombre Distribution	Nombre \geq 20 Dans 4 directions	20 > Nombre \geq 10 Dans 3 directions	10 > Nombre \geq 4 Dans 2 directions	Nombre < 4 Dans 1 direction
Echelle du référentiel / Echelle de l'image	Référentiel > image	Référentiel = image	Référentiel < image	Référentiel << image
Données-terrain				
Surface couverte par les données-terrain / Surface d'étude	Surface \geq 10 % de la surface d'étude	10 % > Surface \geq 5 % de la surface d'étude	5 % > Surface \geq 1 % de la surface d'étude	Surface < 1 % de la surface d'étude
Classification				
Nombre de polygones par peuplement ou type de fond	Nombre > 30	30 \geq Nombre > 15	15 \geq Nombre > 5	Nombre < 5
Total	33			

Tab. 5 : Critères d'attribution de l'indice de fiabilité des cartes réalisées par traitement d'images à partir de photographies aériennes. * : Critère subdivisé en deux éléments, chacun étant pondéré d'un coefficient de 0.5 (Pasqualini, 1997).

ÉCHELLE DE FIABILITÉ	3 points	2 points	1 point	0 point
CRITÈRES				
Site étudié				
Nature des peuplements et types de fonds	Très différente	Différente	Proche	Très proche
Topographie : pente	Faible et constante	Faible et irrégulière	Forte et constante	Forte et irrégulière
Acquisition des sonogrammes				
Qualité	Très bonne	Bonne	Moyenne	Mauvaise
Présence d'artéfacts	Pas d'artéfact	Quelques artéfacts sur les bordures du sonogramme	Quelques artéfacts sur la totalité du sonogramme	Beaucoup d'artéfacts sur la totalité du sonogramme
Positionnement des sonogrammes				
Précision	Précision = 1 m	1 m < Précision ≤ 10 m	10 m < Précision ≤ 20 m	Précision > 20 m
Recouvrement des profils sonar				
Surface prospectée au sonar / Surface d'étude	100 % de la surface d'étude	Plus de 50 % de la surface d'étude	Plus de 25 % de la surface d'étude	Moins de 25 % de la surface d'étude
Données-terrain				
Surface couverte par les données-terrain / Surface d'étude	Surface ≥ 10 % de la surface d'étude	10 % > Surface ≥ 5 % de la surface d'étude	5 % > Surface ≥ 1 % de la surface d'étude	Surface < 1 % de la surface d'étude
Précision de l'interprétation				
Interprétation manuelle (Echelle des sonogrammes)	1/500	1/1 000	1/2 000	1/4 000
ou Traitement d'images (Numérisation)	Pixel ≤ 1 m	1 m < Pixel ≤ 2 m	2 m < Pixel ≤ 3 m	Pixel > 3 m
TOTAL	24			

3. Etudes de cas

Les études de cas, résumées ci-après, ne constituent pas des solutions « clés en main » pour les gestionnaires et décideurs souhaitant cartographier les herbiers de magnoliophytes, dans la mesure où la réalisation d'une carte est toujours le résultat d'un compromis entre :

- ◆ la surface à traiter (pays, région, site),
- ◆ la précision souhaitée, au regard de la surface mais également des objectifs du levé cartographique et des moyens disponibles,
- ◆ la tranche bathymétrique concernée,
- ◆ les moyens techniques disponibles, les compétences nécessaires pour les mettre en œuvre, le temps de réalisation et le budget disponible,
- ◆ les contraintes réglementaires (e.g. autorisation de survol, restriction de navigation),
- ◆ l'usage ultérieur des données (e.g. intégration dans un SIG, suivi temporel prévu, comparaison avec d'autres données cartographiques existantes ou programmées).

Néanmoins ils constituent des réalisations pratiques, menées en Méditerranée et pour lesquelles un coût de réalisation peut être fourni à titre d'information. En effet, bien que plusieurs auteurs aient tenté d'apprécier le coût économique, relatif à l'utilisation de l'une ou l'autre des techniques de levé (Mumby *et al.*, 1999; Denis *et al.*, 2003 ; Phinn *et al.*, 2008 ; Godet *et al.*, 2009), les valeurs obtenues s'avèrent difficilement transposables à d'autres sites.

a) Distribution des herbiers à *Posidonia oceanica* le long du littoral de la Corse (Pasqualini, 1997)

Objectif : Gestion et planification d'un territoire - Disposer d'une carte de répartition générale des herbiers à *P. oceanica* et des principaux types de fonds le long du littoral de la Corse.

Surface à cartographier : Ensemble du linéaire côtier (1000 km).

Tranche bathymétrique : 0 à -40 m.

Précision attendue : de 10 à 50 m en linéaire.

Contraintes réglementaires : Présence de plusieurs aires protégées et d'une base militaire.

Outils de levés :

- ◆ Tranche superficielle (0 à -15 m) : 650 photographies aériennes au 1/20 000 + données-terrain.
- ◆ Tranche profonde (20 à -40 m) : 2 campagnes océanographiques de sonar à balayage latéral (soit une trentaine de jours de missions et 1200 km de profils) + données-terrain.

Traitement des données :

Photographies aériennes (24 x 24) numérisées avec un scanner A3 en 16,8 Millions de couleur, avec un pixel de 5 m (102 dpi). Traitement des images avec le logiciel Multiscope (©Matra CapSystem). Classification supervisée. Référentiel géographique : BD-Ortho (©IGN). Sonogrammes traitement manuel pour la position de la limite inférieure, et par traitement d'image pour le recouvrement et la présence de traces anthropiques. Référentiel géographique : route du navire – GPS différentiel.

Temps de réalisation : 36 hommes/mois – travail d'un étudiant en thèse + encadrement.

Coût : 130 000 €.

Résultats :

Identification des substrats meubles, des substrats durs, des herbiers à *P. oceanica* continus et des mosaïques d'herbier (herbier dégradé à faible recouvrement ou herbiers mixtes à *P. oceanica* et autres magnoliophytes).

Levé d'une carte de répartition des principaux peuplements et types de fonds et d'une carte de fiabilité pour l'ensemble du littoral (Fig. 10).

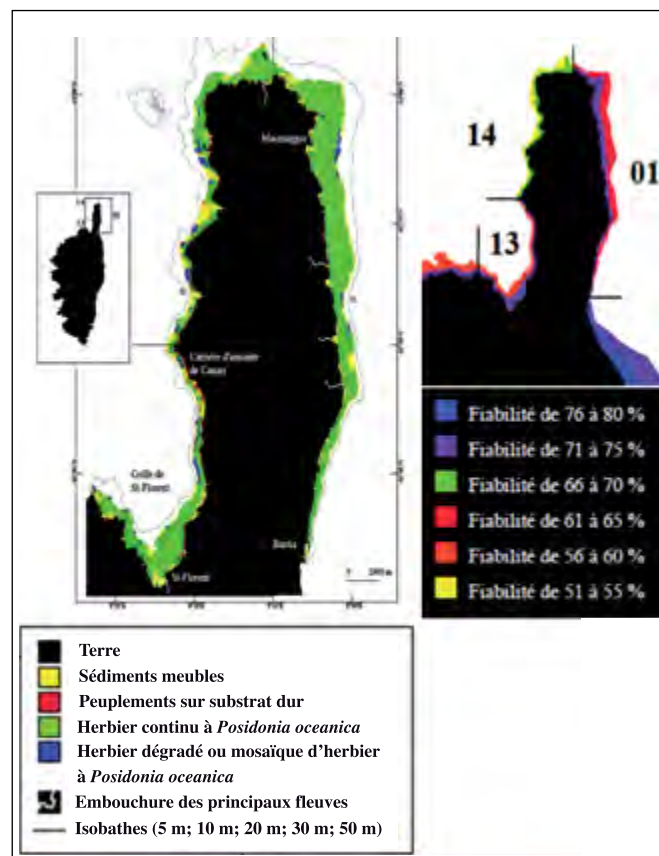


Fig. 10 : Carte des principaux peuplements et types de fonds (à gauche) et carte de fiabilité (à droite) du Cap Corse (Pasqualini, 1997)

b) Cartographie de la limite supérieure des herbiers de Tunisie (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2009b)

Objectif : Gestion et aménagement d'un territoire - Disposer d'une carte des limites supérieures des herbiers de magnoliophytes assez précise dans une optique de surveillance à moyen terme des pressions anthropiques

Surface à cartographier : Secteur entre Port El Kantaoui et Monastir (25 km).

Tranche bathymétrique : 0 à -15 m.

Précision attendue : de 5 à 10 m en linéaire.

Contraintes réglementaires : Autorisations administratives.

Outils de levés :

Images satellites SPOT 5 en 2.5 m et GoogleEarth + observations de la surface (sceau de calfat) et en plongée libre.

Traitement des données :

Traitement des images avec le logiciel ENVI IV®. Classification supervisée. Référentiel géographique : Points GPS de suivi de la limite.

Temps de réalisation : 8 hommes/jours.

Coût : 6 000 €

Résultats :

Identification des impacts naturels et anthropiques, des substrats meubles, des substrats durs, des herbiers à *C. nodosa* et à *P. oceanica*. Réalisation d'une carte de référence (Fig. 11).

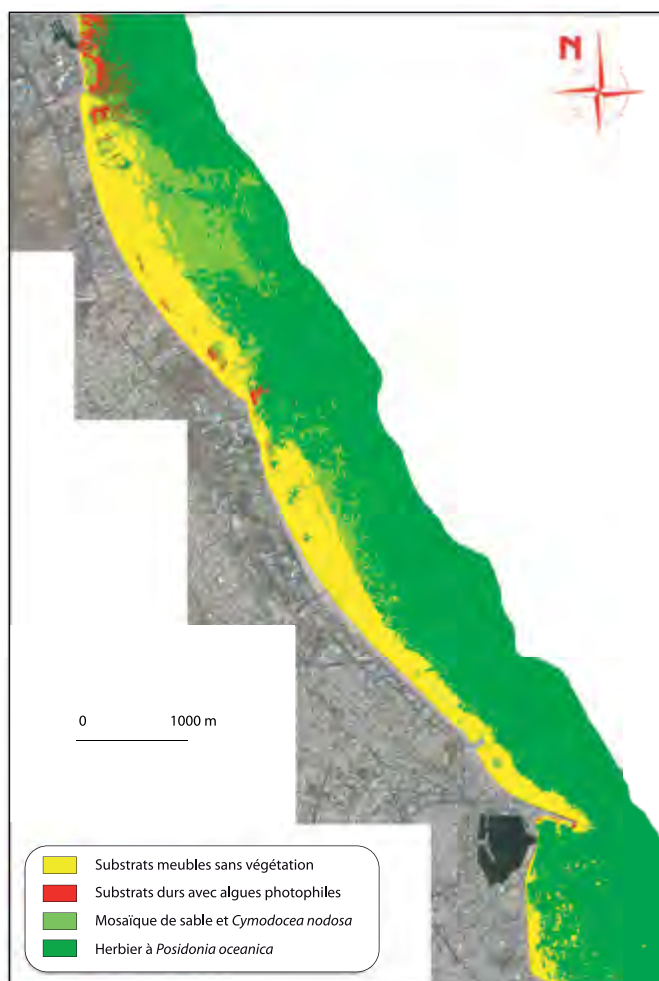


Fig. 11 : Carte des principaux peuplements et types de fonds du littoral vers Port El Kantaoui (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2009c)

c) Cartographie des herbiers de magnoliophytes au niveau d'installations aquacoles aux îles Baléares (Delgado *et al.*, 1999)

Objectif : Suivi de l'impact d'une activité anthropique - Disposer d'une carte précise des fonds au niveau d'installations aquacoles implantées sur des herbiers dans une optique d'évaluation des impacts.

Surface à cartographier : Transects de 100 m au niveau de la zone d'implantation des structures aquacoles (< 2000 m²).

Tranche bathymétrique : de -5 à -8 m.

Précision attendue : de 1 à 2 m en linéaire.

Contraintes réglementaires : Autorisations de l'exploitant.

Outils de levés :

Transects parcourus en scaphandre autonome + prélèvements d'échantillons.

Traitement des données :

Report manuel des données (Fig. 12).

Temps de réalisation : 2 hommes/jours par an, avec un suivi sur plusieurs années.

Coût : 5 000 €.

Résultats :

Identification des substrats meubles, des herbiers à *C. nodosa* et à *P. oceanica* et de leur état de santé (Fig. 13). Visualisation de l'impact de l'activité aquacole sur les herbiers, sur plusieurs années.

d) Cartographie des herbiers de magnoliophytes en vue de l'installation de mouillages organisés en Corse (Salivas-Decaux *et al.*, 2008)

Objectif : Réduction de l'impact d'une activité anthropique - Disposer d'une carte précise des herbiers de façon à dresser une carte de sensibilité des peuplements vis-à-vis des mouillages forains et de proposer l'implantation de mouillages organisés sur les secteurs peu sensibles.

Surface à cartographier : Baie de 0.03 km².

Tranche bathymétrique : de 0 à -15 m.

Précision attendue : de 1 à 2 m en linéaire.

Contraintes réglementaires : Aucune.

Outils de levés :

Photographies aériennes au 1/5 000 + données-terrain depuis la surface (seau de calfat) et en scaphandre autonome.

Traitement des données :

Photographies aériennes (24 x 24) numérisées avec un scanner A3 en 16,8 Millions de couleur, avec un pixel de 1 m (127 dpi). Traitement des images avec le logiciel ENVI IV®.

Temps de réalisation : 10 hommes/jours.

Coût : 4 000 €.

Résultats :

Identification des substrats meubles, des herbiers à *C. nodosa* et à *P. oceanica* et de leur état de santé (herbiers dégradés et mattes mortes) (Fig. 13). Réalisation d'une carte de sensibilité aux mouillages et proposition d'un plan d'implantation des mouillages organisés.

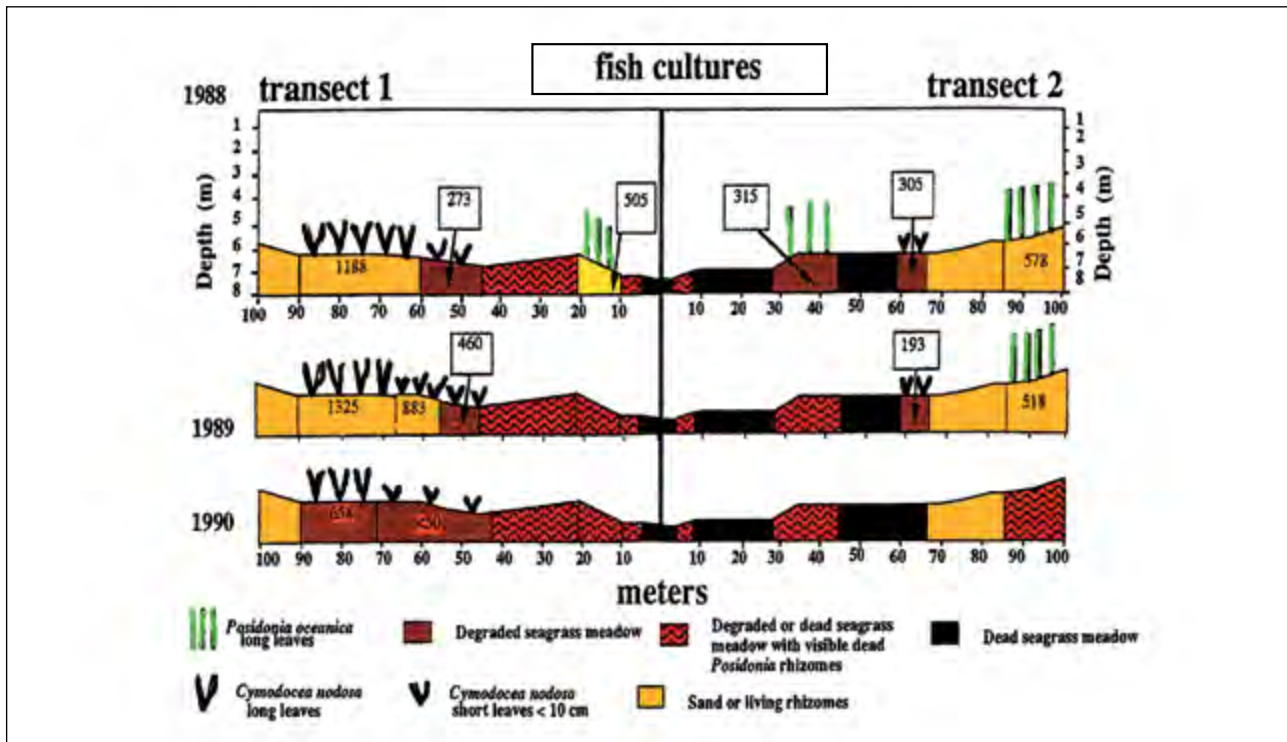


Fig. 12 : Représentation des peuplements et types de fonds au niveau des installations aquacoles et évolution de 1988, 1989 à 1990 (Delgado *et al.*, 1999)

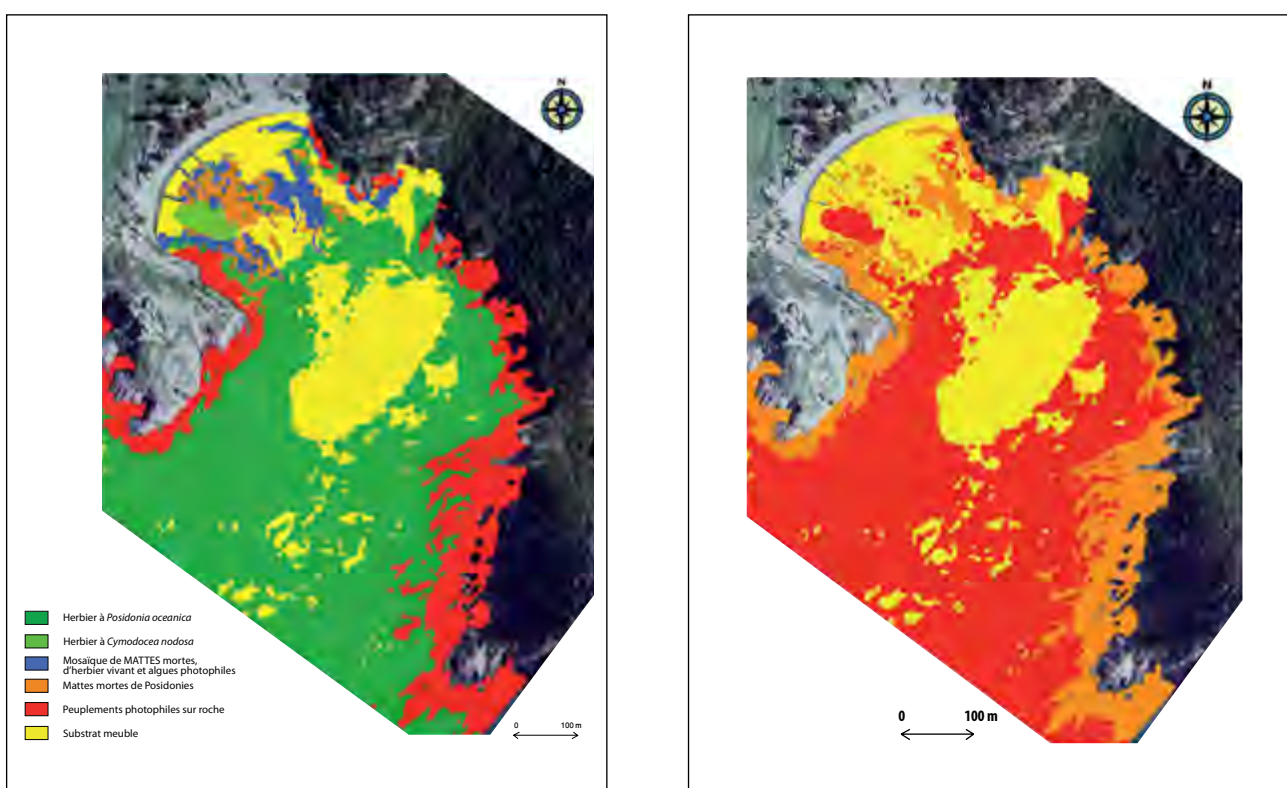


Fig. 13 : Carte des principaux peuplements et types de fonds de la Baie de Girolata (à gauche et carte de sensibilité aux mouillages (à droite). L'implantation des mouillages devra être envisagée sur les secteurs jaunes –Salivas-Decaux *et al.*, 2008).

Propositions de Lignes Directrices pour la surveillance des herbiers de magnoliophytes en Méditerranée

1. Problématique

La surveillance des magnoliophytes marines s'impose aujourd'hui comme une démarche nécessaire, voire obligatoire, pour de nombreux pays méditerranéens dans la mesure où :

- ◆ quatre des cinq espèces présentes en Méditerranée (*C. nodosa*, *P. oceanica*, *Z. marina* et *Z. noltii*) figurent à l'Annexe 2 (Liste des espèces en danger ou menacées) du Protocole relatif aux Aires Spécialement Protégées et à la Diversité Biologique (Décision de la 16ème réunion ordinaire des Parties contractantes, Marrakech, 3-5 Novembre 2009 ; PNUE-PAM, 2009),
- ◆ trois (*C. nodosa*, *P. oceanica* et *Z. marina*) à l'Annexe 1 (Espèces de flore strictement protégées) de la Convention de Berne pour ce qui est de la zone géographique méditerranéenne,
- ◆ les herbiers de magnoliophytes marines constituent l'un des habitats naturels prioritaires de la Directive européenne N°92/43 (EEC, 1992).

Cette « reconnaissance » réglementaire impose, en outre, des mesures de gestion efficaces permettant de s'assurer que ces habitats, de même que les espèces qui les constituent, sont et se maintiennent dans un état satisfaisant pour assumer leurs services propres.

2. Quelle démarche suivre ?

La démarche visant à mettre en place un système de surveillance des herbiers de magnoliophytes marines est comparable à celle identifiée pour la cartographie avec les étapes de :

- ◆ Planification initiale.
- ◆ Mise en place du système de surveillance.
- ◆ Suivi temporel et analyse.

La planification initiale vise à définir le ou les objectifs de la surveillance, et au regard de ces derniers à déterminer la durée, identifier les sites à surveiller, choisir les paramètres qui seront suivis avec leurs modalités d'acquisition (stratégie d'échantillonnage) et évaluer les besoins nécessaires, tant en moyens humains, techniques que financiers, pour en assurer la mise en place et la pérennité. C'est donc une phase qui ne doit pas être minimisée.

La phase de mise en place constitue la phase opérationnelle proprement dite. Elle permet la mise en place des structures nécessaires à la surveillance (e.g. repères fixes) et peut s'avérer coûteuse (e.g. moyens à la mer, équipements, moyens humains), en particulier lorsque les conditions météorologiques sont difficiles.

Elle doit donc être envisagée à une saison favorable d'autant que, en fonction des paramètres choisis pour le suivi, les retours ultérieurs devront être effectués à la même période. C'est une phase qui peut être assez longue, si le nombre de sites à surveiller est important.

La phase de suivi temporel et d'analyse peut sembler facile dans la mesure où, l'acquisition des données est effectuée en routine et, ne présente pas de difficultés majeures, si les phases précédentes ont été correctement menées (e.g. évaluation des besoins).

Néanmoins, elle constitue souvent la clé du système de surveillance proprement-dit puisqu'elle permet :

- ◆ d'interpréter les données acquises,
- ◆ d'en démontrer la validité et l'intérêt,
- ◆ de vérifier que les objectifs de la surveillance sont atteints.

C'est une phase qui peut s'avérer complexe dans la mesure où l'analyse des données requiert des compétences scientifiques avérées et que pour être utile elle doit être envisagée au moins sur du moyen terme.



© Sandrine Ruitton

a) Pourquoi et comment surveiller ?

La surveillance des magnoliophytes marines vise généralement à :

- ◆ Mettre en place un suivi à visée patrimoniale et conservatoire. L'objectif est de s'assurer que les herbiers en tant qu'habitats prioritaires sont dans un état de conservation satisfaisant et d'identifier aussi précocement que possible toute dégradation de ces habitats prioritaires ou toute modification dans leur répartition.
- ◆ Initier une surveillance globale de la qualité du milieu. Les magnoliophytes sont alors utilisées au regard de leur caractère d'indicateur ou d'« élément de qualité biologique » (selon la Directive Européenne Cadre sur l'eau, DCE/2000/60 CE). Le « bon état de l'herbier » permet de mesurer l'efficacité des politiques locales ou régionales en matière de gestion de l'environnement littoral (e.g. amélioration du niveau d'épuration des eaux, réduction des apports en contaminants ; Boudouresque *et al.*, 2006).

- ◆ Exercer un contrôle dans le cadre d'un aménagement. Ce type de surveillance vise à établir un état « zéro » avant travaux, puis à suivre l'état de santé de l'herbier lors de la phase de réalisation de l'aménagement ou à l'issue de celui-ci pour en vérifier l'impact.

Ces objectifs pouvant être conjugués, comme dans le cadre du Réseaux de surveillance Posidonies, initié en Région Provence-Alpes Côte d'Azur depuis 1984, où l'objectif est à la fois la conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*, mais

aussi leur utilisation en tant qu'indicateur global de la qualité des eaux marines (Boudouresque *et al.*, 2000). C'est le, ou les objectifs choisis qui permettent ensuite de paramétrer les autres étapes (e.g. durée, sites à surveiller, paramètres à mesurer, pas d'échantillonnage ; Tab. 6).

De manière générale, et quel que soit l'objectif affiché, il est judicieux de privilégier dans un premier temps un petit nombre de sites, facilement accessibles qui pourront être régulièrement suivis (Pergent & Pergent-Martini, 1995).

Tab. 6 : Critères de la surveillance en fonction des objectifs.

Objectif de la surveillance	Sites à étudier	Paramètres à prendre en compte	Durée de la surveillance et pas de temps d'acquisition des données
Suivi patrimonial	Suivi à faire au niveau d'un site peu soumis aux perturbations anthropiques ou site de référence (e.g. Aires Protégées), à même de renseigner sur l'évolution naturelle du milieu (Pergent & Pergent-Martini, 1995).	Limites d'extension géographique de l'herbier. Paramètres de l'état de santé de l'herbier (e.g. recouvrement, densité, morcellement).	Suivi à réaliser sur du moyen à long terme (minimum 10 ans). Acquisition des données au moins annuellement pour les espèces non persistantes voire tous les deux à trois ans pour les espèces pérennes (Boudouresque <i>et al.</i> , 2000).
Surveillance de la qualité du milieu	Identifier les pressions anthropiques susceptibles d'affecter la qualité du milieu et initier la surveillance dans au moins deux sites, un site de référence et un site soumis aux pressions anthropiques les plus représentatives du littoral étudié (Pergent & Pergent-Martini, 1995).	Paramètres de l'herbier à même de renseigner sur la qualité du milieu (e.g : turbidité : profondeur de la limite inférieure ; enrichissement en nutriments : teneur en azote des feuilles ; contamination chimique : teneur en métaux-traces de la plante).	Suivi à réaliser sur du moyen-terme (cinq à huit ans au moins). L'acquisition des données est variable en fonction de l'espèce considérée (de un à trois ans).
Contrôle de l'impact d'un aménagement	Suivi à faire au moins au niveau du site soumis à aménagement.	Paramètres spécifiques à définir en fonction des conséquences probables de l'aménagement.	Suivi à court terme (généralement un à deux ans). Initié avant les travaux (état « zéro »), il peut être poursuivi pendant, ou juste après ceux-ci, un contrôle devant être effectué un an après la fin des travaux. Pas d'acquisition des données généralement réduit (mensuel voire ponctuel avant et après aménagement).

Les sites choisis doivent i) être représentatifs de la portion de côte étudiée (nature du substrat), ii) couvrir l'éventail le plus complet possible des situations, et iii) regrouper des zones sensibles et des zones stables ou zones de référence. Ce réseau pourra ensuite, au regard de l'expérience des acteurs et des moyens disponibles, être étendu à un nombre plus important de sites.

La prise en compte des magnoliophytes marines comme élément de qualité biologique, dans le cadre de la DCE, s'est traduit par une augmentation de la diversité des descripteurs à même d'appréhender l'état de santé d'un herbier et donc des paramètres qui peuvent être mesurés (Pergent-Martini *et al.*, 2005 ; Foden & Brazier, 2007 ; Romero *et al.*, 2007 ; Orfanidis *et al.*, 2010). Si parmi les descripteurs les plus courants (Tab. 7) certains bénéficient d'une méthode standardisée (en particulier pour *P. oceanica* ; Pergent-Martini *et al.*, 2005), il existe encore beaucoup de disparités dans l'acquisition des données malgré les efforts pour proposer une approche commune (Short & Coles, 2001 ; Buia *et al.*, 2004 ; Lopez Y Royo *et al.*, 2010a).

L'évaluation des besoins nécessaires pour assurer la mise en place et la pérennité du système constitue l'étape ultime de la phase de planification mais également la plus cruciale. En effet s'assurer de la pérennité du système requiert :

- ◆ d'identifier les partenaires, les compétences et les moyens disponibles,
- ◆ de planifier les modalités du partenariat (qui fait quoi ? quand ? et comment ?),
- ◆ d'assurer la formation des intervenants pour les amener à mettre en place des procédures standardisées à même de garantir la validité des résultats, et de permettre des comparaisons au cours du temps pour un site donné mais aussi d'un site à l'autre,
- ◆ de coopter un coordinateur régional ou national en fonction du nombre de sites concernés par la surveillance et de leur distribution géographique,
- ◆ de budgétiser les financements minimums nécessaires au fonctionnement du réseau (salaire du personnel permanent, frais d'achat et de fonctionnement des équipements, frais d'acquisition, de traitement et d'analyses des données).



© Sandrine Ruitton

Tab. 7 : Synthèse des principaux descripteurs (1) utilisés pour la surveillance des magnoliophytes marines. Lorsque cela est possible la méthode de mesure (2), la réponse attendue en cas d'augmentation de la pression anthropique et les principaux facteurs à même d'affecter le descripteur (3), le caractère destructif de l'acquisition de la donnée (4), le ou les espèces ciblées (5), l'intérêt (6) ou les limites d'utilisations (7) sont indiquées avec les références bibliographiques correspondantes. Les espèces ciblées sont : Cn - *Cymodocea nodosa*, Hs - *Halophila stipulacea*, Po - *Posidonia oceanica*, Zm - *Zostera marina*, Zn - *Zostera noltii*.

1 - Descripteur	2 - Méthode de mesure	3 - Réponse attendue / facteurs de dégradation	4 - Caract.destruc
Information au niveau de la population			
Extension de l'herbier (en surface).	Cartographie de l'herbier (Cf. Partie I du présent document) et/ou identification de la position des limites (Foden & Brazier, 2007).	Diminution Aménagements littoraux Turbidité Atteintes mécaniques	Non
Position bathymétrique de la limite supérieure de l'herbier (en m).	Cartographie très précise de la limite d'extension de l'herbier vers la surface (Cf. Partie I du présent document) ou mise en place de repères fixes (e.g. transects permanents, plots, système acoustique) et mesure de la profondeur.	Augmentation Aménagements littoraux	Non
Position bathymétrique de la limite inférieure de l'herbier (en m).	Cartographie très précise de la limite d'extension de l'herbier en profondeur (Cf. Partie I du présent document) ou enregistrement de la mise en place de repères fixes (e.g. transects permanents, balisages, système acoustique) et mesure de la profondeur.	Diminution Turbidité	Non
Type de la limite inférieure de l'herbier.	Observations in situ.	Changement Turbidité Atteintes mécaniques (e.g. arts trainants)	Non
Densité (nombre de faisceaux. m ⁻²).	Dénombrement des faisceaux à l'intérieur d'un quadrat (dimension et profondeur fixées). La taille du quadrat est fonction de l'espèce considérée (Po voir in Pergent-Martini <i>et al.</i> , 2005) et de la densité supposée de l'herbier (Duarte & Kirkman, 2001).	Diminution Turbidité Atteintes mécaniques (e.g. ancrage)	Non

5 - Espèce ciblée	6 - Intérêt	7 - Limites
Toutes	<p>Descripteur intégrateur. Utilisable partout au regard de la multiplicité des techniques disponibles et sur l'ensemble de la tranche bathymétrique de répartition des herbiers.</p>	<p>Pour les espèces à croissance lente (Po) impossibilité d'observer des augmentations de surface en l'absence de repères prépositionnés et temps de réponse très long (plusieurs années). Obligation de travailler toujours à la saison où la distribution est maximale pour les espèces à croissance saisonnière marquée (généralement en été).</p>
Toutes	<p>Paramètre facile à mesurer. Echelle d'interprétation disponible pour Po (Pergent <i>et al.</i>, 2008).</p>	<p>Pour Cn, Hs et Zn, forte variabilité saisonnière qui implique une surveillance trimestrielle ou des observations pratiquées à la même saison pour tous les sites suivis. Risque de disparition des repères fixes en cas de forte fréquentation du site.</p>
Toutes	<p>Paramètre facile à mesurer et ne nécessitant pas de compétence particulière, en dehors de la plongée en scaphandre autonome, sauf en cas de recours au système acoustique. Echelle d'interprétation disponible (Po : Pergent <i>et al.</i>, 2008).</p>	<p>Pour Cn, Hs et Zn, forte variabilité saisonnière qui implique une surveillance trimestrielle ou des observations pratiquées à la même saison pour tous les sites suivis. Au-delà de 30 m de profondeur, acquisition difficile et onéreuse (limitation du temps d'immersion, besoin en personnel expérimenté en plongée et nombreuses interventions) Risque de disparition des repères fixes (e.g. arts trainants). Pour les espèces à croissance lente (Po) temps nécessaire pour visualiser une progression de la limite long (plusieurs années).</p>
Po	<p>Paramètre bien étudié avec plusieurs types décrits et des échelles d'interprétation (Boudouresque & Meinesz, 1982 ; Pergent, 2007 ; Montefalcone, 2009).</p>	<p>Bonne connaissance des herbiers à Po nécessaire pour l'identification de certains types de limites. Acquisition difficile et onéreuse lorsque la profondeur est élevée (> 30 m).</p>
Toutes	<p>Paramètre facile à mesurer et peu coûteux Peut s'appliquer sur l'ensemble de la tranche bathymétrique de répartition des herbiers. Echelle d'interprétation disponible pour Po (Pergent <i>et al.</i>, 2008 ; Annexe C).</p>	<p>Forte variabilité en fonction de la profondeur. Temps d'acquisition important pour des densités supérieures à 800 faisceaux /m². Nécessité de répliques ou d'échantillonner une surface minimale pour appréhender l'hétérogénéité de l'herbier. Risque d'erreur important si : a) manipulateur inexpérimenté, b) densité élevée, c) espèce de petite taille. Dans ce dernier cas, le comptage in situ peut être remplacé par un prélèvement sur une surface donnée et un dénombrement en laboratoire (technique destructive).</p>

Tab. 7 : Synthèse des principaux descripteurs (1) utilisés pour la surveillance des magnoliophytes marines (Suite)

1 - Descripteur	2 - Méthode de mesure	3 - Réponse attendue / facteurs de dégradation	4 - Caract.destruc
Recouvrement (en %)	Pourcentage moyen de surface occupée (en projection verticale) par l'herbier par rapport à la surface étudiée. Les techniques pour mesurer ce paramètre sont très diverses : (mesure in situ par plongeur ou en laboratoire à partir de photographies ou de vidéo sous-marines, surface d'observation variable (0.16 à 625 m ²), matérialisée par un quadrat ou une plaque translucide ; Pergent-Martini <i>et al.</i> , 2005 ; Boudouresque <i>et al.</i> , 2006 ; Romero <i>et al.</i> , 2007).	Diminution / Turbidité	Non
Pourcentage de rhizomes plagiotropes (en %)	Dénombrement des rhizomes plagiotropes sur une surface donnée (qui peut être matérialisée par un quadrat)	Augmentation / Atteintes mécaniques (ancrage, engins de pêche)	Non
Présence de chenaux inter-mattes et de mattes mortes	Cartographie très précise du site (Cf. Partie I du présent document, carré permanent) et/ou observations in situ. Le pourcentage de mattes mortes et d'herbier vivant peut servir d'indicateur de perturbation ($CI = L/(L+D)$; CI: index de conservation, L: surface d'herbier, D :surface de mattes mortes; Moreno <i>et al.</i> , 2001 in Boudouresque <i>et al.</i> , 2006).	Augmentation / Atteintes mécaniques (ancrage, engins de pêche)	Non
Information au niveau de la plante			
Surface foliaire (cm ² . faisceau), et autres caractères phénologiques	Dénombrement et mesure de la longueur et de la largeur des différents types de feuilles des faisceaux (Po : Giraud, 1979 ; Cn : Orfanidis <i>et al.</i> 2010).	Surface foliaire(Po) - Diminution / Surpatûrage et Impacts anthropiques Longueur des feuilles (Po & Cn) - Augmentation / enrichissement en nutriments.	Oui

	5 - Espèce ciblée	6 - Intérêt	7 - Limites
	Toutes	<p>Rapidité d'acquisition. Lorsque l'évaluation est réalisée à partir de données photographiques, possibilité de comparaison au cours du temps et réduction de la variabilité due au manipulateur Applicable à l'ensemble de la tranche bathymétrique de répartition des herbiers. Peut être estimé sur de vastes surfaces à partir de photographies aériennes ou de sonogrammes (sonar à balayage latéral).</p>	<p>Forte variabilité saisonnière et forte variabilité bathymétrique (e.g. Pour Po recouvrement de 100 % en limite supérieure à 40 % en limite inférieure pour un herbier sain ; in Boudouresque <i>et al.</i>, 2006). Les multiples méthodes utilisées ne permettent pas toujours la comparaison des résultats, d'autant que les surfaces d'observations sont très diverses et que le recouvrement a une distribution fractale (Romero, comm. pers.). Nécessité d'adapter le plan d'échantillonnage pour intégrer la variabilité spatiale.</p>
	Cn, Po	<p>Paramètre facile à observer, rapide et peu coûteux dans les faibles profondeurs (0 à 20 m). Echelle d'interprétation disponible pour Po (Charbonnel <i>et al.</i>, 2000 in Boudouresque <i>et al.</i>, 2006).</p>	
	Po	<p>Paramètre facile à observer Possibilité de quantification des surfaces au regard des techniques cartographiques utilisées.</p>	<p>Les mattes mortes sont des composants naturels intrinsèques à certains types d'herbiers (e.g. herbier tigré) et ne traduisent pas systématiquement une régression des herbiers en réponse à des pressions anthropiques (Boudouresque <i>et al.</i>, 2006).</p>
	Toutes	<p>Paramètre très facile à mesurer et peu coûteux Possibilité d'effectuer la mesure de longueur des feuilles adultes de rang 1 ou 2 (feuilles les plus externes) in situ ce qui évite la destruction de la plante ; Lopez Y Royo <i>et al.</i>, 2010b).</p>	<p>Forte variabilité saisonnière. Forte variabilité individuelle qui nécessite de réaliser les mesures sur un nombre suffisant de faisceaux.</p>

Tab. 7 : Synthèse des principaux descripteurs (1) utilisés pour la surveillance des magnoliophytes marines (Suite)

1 - Descripteur	2 - Méthode de mesure	3 - Réponse attendue / facteurs de dégradation	4 - Caract.destruc
Nécroses sur les feuilles (en %)	Pourcentage de feuilles présentant des nécroses, par observation au laboratoire (Romero <i>et al.</i> , 2007).	Augmentation Enrichissement en contaminants	Oui
Etat des apex	Pourcentage de feuilles dont l'apex est cassé	Augmentation surpatûrage	Non
Production foliaire (en mg poids sec. fais.-1 .an ⁻¹)	Chez Po : possibilité, grâce à la lépidochronologie, de connaître le nombre de feuilles produites par an qu'elle soit actuelle ou passée (Pergent, 1990). Autres espèces : mesure de l'allongement des feuilles par marquage ou en utilisant la relation longueur des bases / croissance foliaire (Zm ; Gaeckle <i>et al.</i> , 2006).	Diminution Déficit en nutriments, augmentation de la compétition	Oui& Non (Zm)
Production de rhizomes (en mg poids sec. fais.-1 .an ⁻¹)	Chez Po : possibilité, grâce à la lépidochronologie, de connaître le taux de croissance ou la biomasse par an.	Augmentation Accumulation sédimentaire suite à des aménagements littoraux	Oui
Déchaussement ou enfouissement des rhizomes	Mesure du niveau de déchaussement (ou d'enfouissement) des rhizomes mesurés in situ (valeur en mm) ou pourcentage de faisceaux enfouis ou déchaussés sur une surface donnée.	Augmentation de l'enfouissement Accumulation sédimentaire suite à des aménagements littoraux, le rejet d'effluents urbains ou la présence de fermes marines, les rejets de dragage Augmentation du déchaussement Déficit sédimentaire suite à des aménagements littoraux	Non
Epiphytes des feuilles (en mg poids sec. fais.- ¹ ou % poids sec. fais.- ⁻¹)	Plusieurs mesures peuvent être réalisées : évaluation de la biomasse (en µg faisceau ⁻¹ , après grattage, séchage et pesée), de la teneur en Azote (en % poids sec ; mesure par analyseur élémentaire CHN ; Romero <i>et al.</i> , 2007).	Augmentation Enrichissement en nutriments, apports fluviaux (Fernandez-Torquemada <i>et al.</i> , 2008)	Oui

	5 - Espèce ciblée	6 - Intérêt	7 - Limites
	Po	Paramètre très facile à mesurer et peu couteux.	Les nécroses sont très rares dans certains secteurs de Méditerranée (e.g. Littoral de la Corse).
	Po	Paramètre très facile à mesurer et peu couteux.	Peu utilisable en cas de fort hydrodynamisme et sur les feuilles âgées.
	Toutes	Pour Po la lépidochronologie permet de travailler sur l'ensemble de la tranche bathymétrique et une échelle d'interprétation est disponible (Pergent <i>et al.</i> , 2008). Pour Zm la relation longueur des bases et croissance foliaire permet d'envisager une mesure in situ non destructive.	Pour les autres espèces, paramètre long à acquérir et nécessitant un suivi mensuel ou au moins au quatre saisons (Gaeckle <i>et al.</i> , 2006).
	Po	Paramètre indépendant de la saison.	Interprétation parfois difficile dans la mesure où une augmentation de la production de rhizome peut être observée dans des sites de référence en l'absence d'impact anthropique.
	Toutes	Déchaussement ou d'enfouissement sont faciles à mesurer in situ, non destructif et peu couteux. Paramètre indépendant de la saison.	
	Toutes	Paramètre très facile à mesurer et peu couteux (biomasse). Echelle d'interprétation disponible (Morri, 1991 in Pergent-Martini <i>et al.</i> , 2005).	Paramètre présentant de fortes variations saisonnières et spatiales. Paramètre nécessitant un équipement analytique spécifique (teneur en azote).

Tab. 7 : Synthèse des principaux descripteurs (1) utilisés pour la surveillance des magnoliophytes marines (Suite)

1 - Descripteur	2 - Méthode de mesure	3 - Réponse attendue / facteurs de dégradation	4 - Caract.destruc
Information au niveau physiologique ou cellulaire			
Teneur en Azote et Phosphore de la plante (en % poids sec)	Dosage par spectromètre de masse et torche à plasma dans différents tissus de la plante après minéralisation acide (e.g. rhizomes de Po ; Romero <i>et al.</i> , 2007).	Augmentation Enrichissement en nutriments	Oui
Teneur en carbohydrates (en % poids sec)	Dosage par spectrophotométrie après extraction alcoolique dans différents tissus de la plante (e.g. rhizomes de Po ; Alcoverro <i>et al.</i> , 1999, 2001b in Romero <i>et al.</i> , 2007).	Diminution Impact anthropique	Oui
Teneur en métaux-traces (en µg.g-1)	Dosage par spectrométrie dans différents tissus de la plante après minéralisation acide (Salivas-Decaux, 2009).	Augmentation Enrichissement en contaminants métalliques	Oui
Rapport isotopique en Azote (d ¹⁵ N en ‰)	Dosage par spectromètre de masse dans différents tissus de la plante après minéralisation acide (e.g. rhizomes de Po ; Romero <i>et al.</i> , 2007).	Augmentation Enrichissement en nutriments issus des fermes marines et effluents urbains Diminution Enrichissement en nutriments issus des fertilisants	Oui
Rapport isotopique en Soufre (d ³⁴ S en ‰)	Dosage par spectromètre de masse dans différents tissus de la plante (e.g. rhizomes de Po ; Romero <i>et al.</i> , 2007).	Diminution Impact anthropique	Oui

5 - Espèce ciblée	6 - Intérêt	7 - Limites
Toutes	Temps de réponse aux modifications environnementales court.	Paramètre très couteux, nécessitant un appareillage analytique et des compétences spécifiques.
Toutes	Temps de réponse aux modifications environnementales court.	Paramètre couteux, nécessitant un appareillage analytique et des compétences spécifiques.
Toutes	Temps de réponse aux modifications environnementales court.	Paramètre couteux, nécessitant un appareillage analytique et des compétences spécifiques.
Po	Temps de réponse aux modifications environnementales court.	Paramètre très couteux, nécessitant un appareillage analytique et des compétences spécifiques.
Po	Temps de réponse aux modifications environnementales court.	Paramètre très couteux, nécessitant un appareillage analytique et des compétences spécifiques.

b) Quels systèmes de surveillance ?

La mise en place du système de surveillance débute avec la phase d'acquisition des données. Aussi les observations et les prélèvements, effectués lors des phases d'acquisition ou de validations des données des levés cartographiques, peuvent constituer l'ébauche d'un système de surveillance (Kenny *et al.*, 2003) même s'il ne saurait s'y limiter, et ce d'autant que la cartographie peut constituer un outil de la surveillance (Tab. 7 ; Boudouresque *et al.*, 2006).

A l'échelon géographique régional, il existe aujourd'hui deux grands types de systèmes de surveillance : le système de surveillance des magnoliophytes marines (SeagrassNet), établi au niveau mondial, au début des années 2000 et qui concerne l'ensemble des espèces de magnoliophytes marines (Short *et al.*, 2002) et le réseau de surveillance « Posidonies » (RSP), initié en Méditerranée au début des années 80 (Boudouresque *et al.*, 2006), qui est spécifique à l'espèce *Posidonia oceanica* mais peut être adapté aux autres espèces de Méditerranée et au genre *Posidonia* dans son ensemble. Le RSP est aujourd'hui utilisé, avec une certaine variabilité d'un pays à l'autre, voire d'une région à l'autre d'un même état (Buia *et al.* 2004 ; Boudouresque *et al.*, 2006 ; Romero *et al.*, 2007 ; Fernandez-Torquemada *et al.* 2008 ; Lopez Y Royo, 2010a), dans au moins neuf pays méditerranéens et plus de 350 sites. Suite aux travaux menés dans le cadre du Programme Interreg IIIB MEDOCC « Mise en cohérence, développement, harmonisation et validation de méthodes d'évaluation de la qualité du milieu littoral par le suivi de l'herbier de *Posidonia oceanica*, et au programme « MedPosidonia », mis en œuvre par le CAR/ASP, une approche actualisée et standardisée du RSP a été testée et validée (PNUF-PAM-CAR/ASP, 2009b). Les principales différences relevées entre ces deux grands systèmes sont que :

- ◆ dans le cadre du SeagrassNet la surveillance est effectuée le long de trois transects permanents, parallèles à la côte, positionnés respectivement (i) dans la partie la plus superficielle de l'herbier, (ii) dans la partie la plus profonde et (iii) à une profondeur intermédiaire entre ces deux positions. Les descripteurs choisis (Short *et al.*, 2002 ; Tab. 8) sont mesurés sur des points précis et fixes le long de chacun des transects, tous les trois mois.
- ◆ dans le cadre de la surveillance « Posidonies », les mesures sont réalisées (i) au niveau de repères fixes, placés le long de la limite inférieure de l'herbier, (ii) au niveau d'une portion de la limite supérieure et (iii) à une profondeur intermédiaire fixe de -15 m. Les descripteurs (Tab. 8) ne sont mesurés qu'une fois tous les trois ans, si après contrôle visuel aucune modification n'est enregistrée dans la position géographique des limites.

Si le SeagrassNet offre la possibilité de comparer les données obtenues en Méditerranée à celles relevées dans d'autres régions du globe, puisqu'il dispose d'une couverture mondiale avec plus de 80 sites répartis dans 26 pays (www.seagrassnet.org), il s'avère peu adapté pour les espèces de grandes tailles (genre *Posidonia*), et pour les herbiers dont la limite inférieure se situe au-delà de 25 m de profondeur et n'a été mis en place que sur un seul site de Méditerranée (Pergent *et al.*, 2007).

En outre au regard des descripteurs mesurés, il renseigne essentiellement sur l'état de santé de l'herbier considéré. Le système de surveillance « Posidonie », du fait de la multiplicité des descripteurs identifiés (Tab. 7) permet de comparer les différents herbiers de Méditerranée, mais aussi d'évaluer à la fois la vitalité de la plante et la qualité du milieu dans lequel elle se développe (l'espèce étant alors utilisée en tant que bioindicateur global). En outre le suivi s'avère moins contraignant avec des observations beaucoup plus espacées dans le temps.



Tab. 8 : Nature des paramètres mesurés dans le cadre du SeagrassNet , du RSP Corse (Pergent *et al.*, 2007) et du programme MedPosidonia (Pergent *et al.* 2009). – paramètre non pris en compte.

Paramètres	SeagrassNet	RSP	MedPosidonia
Lumière	X	-	-
Température	X	-	X
Salinité	X	-	-
Limite inférieure	Profondeur	Profondeur, type et cartographie	Profondeur, type, cartographie
Limite supérieure	Profondeur	Profondeur, type et cartographie	Cartographie
Densité	12 mesures le long du transect	Mesure au niveau de chacune des 11 balises	Mesure au niveau de chacune des 11 balises
% rhizomes plagiotropes	-	Mesure au niveau de chacune des 11 balises	Mesure au niveau de chacune des 11 balises
Déchaussement	-	Mesure au niveau de chacune des 11 balises	Mesure au niveau de chacune des 11 balises
Recouvrement	12 mesures le long du transect	Le long du balisage (50m) à l'aide d'une vidéo	Mesure au niveau de chacune des 11 balises
Analyse phénologique	12 mesures le long du transect	Sur 20 faisceaux	Sur 20 faisceaux
Analyse lépidochronologique	-	Sur 10 faisceaux	Sur 10 faisceaux
Etat des apex	-	Sur 20 faisceaux	Sur 20 faisceaux
Biomasse (g. poids sec)	Feuilles	-	-
Nécromasse	Rhizome et écailles	-	-
Granulométrie du sédiment	-	1 mesure	1 mesure
% Matière organique du sédiment	-	1 mesure	1 mesure
Teneur en métaux-traces	-	-	Ag & Hg



© RAC/SPA, Mathieu FOULQUIE

D'autres techniques, intermédiaires entre ces deux méthodes (transects permanents avec suivi saisonnier, relevés acoustiques), peuvent être utilisées dans des situations particulières comme les suivis en milieux lagunaires (Pasqualini *et al.*, 2006) ou l'étude d'herbiers « reliques » (Descamp *et al.*, 2009).

Il est important de souligner que :

- ◆ Plus que la technique choisie, ce sont les paramètres mesurés (Tab. 7 & 8), qui conditionnent la nature de la surveillance (e.g. suivi de la contamination chimique du milieu, du rejet en mer d'une station d'épuration, évaluation générale de l'état de santé de l'herbier) ;
- ◆ Quels que soient les paramètres choisis, une attention particulière doit être portée à la validité des mesures effectuées (protocole d'acquisition, précision de la mesure, reproductibilité, adéquation des paramètres aux attendus de la surveillance ; Lopez Y Royo *et al.*, 2010a).

c) Comment interpréter les données de la surveillance?

L'interprétation des données de la surveillance peut être réalisée soit à dire d'experts, soit par comparaison des données mesurées avec les données disponibles dans la littérature, de façon directe ou au moyen d'échelles. En effet la multiplication des études consacrées à *Posidonia oceanica* (plus de 1000 publications indexées dans le Web of Science) s'est traduit, par l'établissement, au cours des dernières décennies, d'un nombre croissant d'échelles d'interprétations des paramètres les plus

couramment utilisés pour la surveillance de cette espèce (e.g. Giraud, 1977 ; Meinesz & Laurent, 1978 ; Pergent *et al.*, 1995b ; Pergent-Martini *et al.*, 1999 ; Montefalcone *et al.*, 2006 ; Salivas-Decaux *et al.*, in press ; Tab. 7).

La mise en œuvre de la Directive Cadre Eau, dans les pays européens a entraîné :

- ◆ Une adaptation de certaines des échelles (e.g. densité in Pergent-Martini *et al.*, 1999) avec la création de cinq classes (mauvais, médiocre, normal, bon et très bon ; Annexe 3) ;
- ◆ La mise en place d'indices synthétiques à même de fournir à partir d'un panel de paramètres différents (Buia *et al.*, 2004 ; Pergent *et al.*, 2007 ; Romero *et al.*, 2007 ; Fernandez-Torquemada *et al.*, 2008 ; Gobert *et al.*, 2009 ; Lopez Y Royo *et al.*, 2009 ; Montefalcone, 2009), une évaluation globale de la qualité des masses d'eaux basées sur l'élément de qualité biologique « magnoliophyte marine ». Ce panel doit être basé sur un nombre suffisant de paramètres pour éviter des erreurs d'évaluation mais suffisamment réduits pour éviter un coût excessif en terme de temps d'acquisition comme de budget (Fernandez-Torquemada *et al.* 2008).

Il apparaît difficile en l'état actuel des connaissances de privilégier l'un ou l'autre de ces indices synthétiques dans la mesure où il n'a pas été possible de les confronter sur un site unique. Néanmoins, les essais d'intercalibration entre les indices POMI

(Romero *et al.*, 2007) et POSID (Pergent *et al.*, 2008) ont montré la cohérence de l'ordre de classement des cinq sites étudiés (les sites corses montrant un classement supérieur aux sites de Catalogne). De même l'application de l'indice BIPO à 9 sites de Méditerranée fourni un classement identique des sites de Catalogne que celui obtenu avec l'indice POMI (Lopez Y Royo *et al.*, 2010c). Enfin, l'emploi conjoint des indices POSID et BIPO, dans le cadre du programme « MedPosidonia », a également fourni un classement similaire des herbiers étudiés (Pergent *et al.*, 2009).

L'intérêt des indices POMI (Romero *et al.*, 2007) et POSID (Pergent *et al.*, 2007) réside dans le fait qu'ils sont établis sur

la base de plusieurs paramètres (respectivement 14 et 8) qui intègrent les différents niveaux d'organisation (de la population au niveau cellulaire) et donc des temps de réponse qui peuvent être rapides et renseignent sur la structure de l'herbier et de la matre, la structure de la plante et l'impact des activités humaines par le biais de l'enrichissement en nutriments et de l'accumulation des métaux-traces.

L'indice BIPO, étant basé uniquement sur des paramètres non destructifs (Lopez Y Royo *et al.*, 2010b), s'avère particulièrement adapté à la surveillance d'espèces ou d'espaces protégés.



| © Unidad de Biología Marina, University of Alicante (Spain)

CONCLUSION

Les démarches proposées pour la cartographie comme pour la surveillance des herbiers de magnoliophytes marines sont donc similaires (Fig. 14 & 15) et se déclinent en trois étapes :

- ◆ Planification,
- ◆ Mise en œuvre et acquisition des données,
- ◆ Analyse, interprétation et archivage des données.

DÉMARCHE À SUIVRE POUR LA CARTOGRAPHIE DES HERBIERS DE MAGNOLIOPHYTES MARINES

Planification initiale

- ◆ Définir les objectifs cartographiques (e.g. inventaire patrimonial, étude d'impact, connaissance, suivi temporel).
- ◆ Déterminer la surface à cartographier et la précision nécessaire.
- ◆ Identifier les outils à utiliser et la stratégie de levé.
- ◆ Evaluer les besoins nécessaires (humains, matériels et financiers).

Levés proprement dits

- ◆ Acquérir les données nécessaires avec des outils complémentaires : méthodes optiques et/ou observation ponctuelles pour la tranche superficielle (0 à - 15 m) méthodes acoustiques et/ou observations ponctuelles pour la tranche inférieure (au-delà de - 15 m).
- ◆ Valider les données acquises avec des observations in situ géolocalisées, suffisamment nombreuses et réparties de façon appropriée (e.g. précision recherchée, hétérogénéité des habitats).
- ◆ Archiver précisément les données (quelles données, pourquoi, par qui, comment, où ?).

Traitement et interprétation des données

- ◆ Traiter et classer les données (e.g. liste de référence des habitats marins de Méditerranée).
- ◆ Interpréter les données (e.g. interprétation directe, dires d'experts ou modélisation statistique sur la base des observations disponibles).
- ◆ Etablir la carte en utilisant des figurés standardisés
- ◆ Evaluer la fiabilité des résultats (e.g. qualité des données bibliographique utilisées, adéquation des techniques de levés, % de surface réellement inventoriée par rapport à la zone cartographiée, précision du positionnement, hétérogénéité de l'habitat..).

Fig. 14 : Synthèse de la démarche proposée pour la cartographie

DÉMARCHE À SUIVRE POUR LA MISE EN PLACE D'UN SYSTÈME DE SURVEILLANCE DES HERBIERS DE MAGNOLIOPHYTES MARINES

Planification initiale

- ◆ Définir les objectifs de la surveillance (e.g. contrôle dans le cadre d'un aménagement du milieu, surveillance à visée réglementaire, suivi temporel et tendance à visée patrimoniale et conservatoire).
- ◆ Localiser les sites à surveiller.
- ◆ Identifier les outils à utiliser et la stratégie de levé.
- ◆ Identifier les paramètres à prendre en compte, en ciblant différents niveaux d'organisation (e.g. population, individu, cellule) et établir la stratégie d'échantillonnage.

Mise en place du système de surveillance

- ◆ Positionner les structures permettant d'assurer une surveillance au cours du temps (e.g. repères fixes, balisages, transects...).
- ◆ Acquérir les paramètres choisis, lors de la phase initiale, et établir l'état de référence ou état initial pour chacun des sites surveillés.
- ◆ Effectuer des retours sur sites réguliers, en accord avec la stratégie de surveillance, et renseigner les paramètres choisis.

Traitement et interprétation des données

- ◆ Analyser les mesures effectuées in situ et les archiver
- ◆ Interpréter les données (e.g. dires d'experts, interprétation directe par comparaison avec les données de la littérature ou au regard des grilles d'interprétation ou des indices existants).
- ◆ Vérifier que les résultats obtenus répondent aux objectifs de la surveillance (fiabilité et reproductibilité des résultats, validité des interprétations et cohérence avec les observations effectuées).

Fig. 15 : Synthèse de la démarche proposée pour la surveillance

Il n'existe pas de méthodes idéales pour la cartographie ou de paramètre universel pour la surveillance des herbiers de magnoliophytes marines mais une grande diversité d'outils performants et complémentaires. Ils doivent être choisis en fonction des objectifs de la démarche, de ou des espèces présentes et du contexte local.

Pour ce qui concerne les cartographies, une intégration dans un Système d'Informations Géoréférencées, librement consultable (comme le MedGIS mis en œuvre par le CAR/ASP), est recommandée et doit être encouragée, de façon à ce que les données acquises soient accessibles à un large public et puissent bénéficier à un maximum d'utilisateurs.

De même en matière d'efficacité de la surveillance, il convient de privilégier le suivi au cours du temps quitte à limiter le nombre de sites surveillés et le nombre de paramètres pris en compte. Ce dernier doit être suffisant pour éviter des erreurs d'interprétation mais suffisamment réduit pour garantir la permanence du suivi. De même la nature du paramètre est moins importante que la reproductibilité, la fiabilité et la précision de la méthode utilisée pour son acquisition.

BIBLIOGRAPHIE

- Barsanti M., Delbono I., Ferretti O., Peirano A., Bianchi C.N., Morri C., 2007. Measuring change of Mediterranean coastal biodiversity: diachronic mapping of the meadow of the seagrass *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson in the Gulf of Tigullio (Ligurian Sea, NW Mediterranean). *Hydrobiologia*, 580 : 35-41
- Bellan-Santini D., Bellan G., Bitar G., Harmelin J.G., Pergent G., 2002. Handbook for interpreting types of marine habitat for the selection of sites to be included in the national inventories of natural sites of conservation interest. *RAC/SPA edit., UNEP publ.* : 217p.
- Boudouresque C.F., Charbonnel E., Coppo S., Le Direach L., Ruitton S., 2006. Les méthodes de surveillance des herbiers à *Posidonia oceanica*. In « Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica* », Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L. eds., *RAMOGE Publ.*, Monaco : 132-140.
- Boudouresque C.F., Charbonnel E., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Cadiou G., Bertrand M.C., Foret P., Ragazzi M., Rico-Raimondino V., 2000. A monitoring network based on the seagrass *Posidonia oceanica* in the northwestern Mediterranean Sea. *Biol. mar. medit.*, 7(2) : 328-331.
- Boudouresque C.F., Meinesz A., 1982. Découverte de l'herbier de Posidonie. *Cah. Parc nation. Port-Cros*, 4: 1-79.
- Buia M.C., Gambi M.C., Dappiano M., 2004. Seagrass systems. In: Gambi M.C., Dappiano M. eds. *Mediterranean marine benthos: a manual of methods for its sampling and study. Biol. mar. Medit.* 11(suppl. 1): 133-183.
- Cerdeira-Estrada S., Lorenzo-Sanchez S., Areces-Mallea A., Martinez-Bayon C., 2008. Mapping of the spatial distribution of benthic habitats in the Gulf of Batabano using Landsat-7 images. *Ciencias Marinas*, 34(2) : 213-222.
- Ciraolo G., Cox E., La Loggia G., Maltese A., 2006. The classification of submerged vegetation using hyperspectral MIVIS data. *Annals of Geophysics*, 49(1) : 287-294.
- Clabaut P., Augris C., Morvan L., Pasqualini V., Pergent G., Pergent-Martini C., 2006. Les fonds marins de Corse. Cartographie biomorpho-sédimentaire par sonar à balayage latéral - Atlas de sonogrammes. *Rapport Ifremer & Univ. Corse*, N°GM 06-01 : 78 p.
- Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., van der Belt M., 1997. The value of the World's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387 : 253-260.
- Dekker A., Brando V., Anstee J., 2006. Remote sensing of seagrass ecosystems : Use of spaceborne and airborne sensors. In "Seagrasses: biology, ecology and conservation" Larkum A.W.D., Orth R.J. and Duarte C.M. Eds., *Springer Publ., Dordrecht* : 347-35.
- Delgado O., Ruiz J., Pérez M., Romero J., Ballesteros E., 1999. Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean bay: seagrass decline after organic loading cessation. *Oceanol. Acta*, 22(1) : 109-117.
- Denis J., Hervé G., Deneux F., Sauzade D., Bonhomme P., Bernard G., Boudouresque C.F., Leriche A., Charbonnel E., Le Direac'h L., 2003. Guide méthodologique pour la cartographie des biocénoses marines. Volet N°1 : l'herbier à *Posidonia oceanica*. Guide méthodologique. Agence de l'Eau, Région Provence Alpes-Côte d'Azur et DIREN PACA. IFREMER, GIS Posidonie & Centre d'Océanologie de Marseille, *GIS Posidonie publ.* : 1-93.
- Descamp P., Holon F., Ballesta L., 2009. Microcartographie par télémétrie acoustique de 9 herbiers de posidonie pour le suivi de la qualité des masses d'eau côtières méditerranéennes françaises dans le cadre de la DCE. Contrat L'OEil Andromède/ Agence de l'Eau, CRLR, CRPACA. *Andromède publ.*, Montpellier :1-59pp. + annexes.
- Descamp P., Pergent G., Ballesta L., Foulquié M., 2005. Underwater acoustic positioning systems as tool for *Posidonia oceanica* beds survey. *C.R. Biologies*, 328 : 75-80.
- Diaz R.J., Solan M., Valente R.M., 2004 . A review of approaches for classifying benthic habitats and evaluating habitat quality. *Journal of Environmental Management*, 73 : 165-181.
- Duarte C.M., Kirkman H., 2001. Methods for the measurement of seagrass abundance and depth distribution. In "Global Seagrass Research Methods", F.T. Short & R.G. Coles edits, *Elsevier publ.*, Amsterdam : 141-153.
- EEC, 1992. Council Directive 92/43/EEC on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. *Official Journal of the European Communities*. No L 206 of 22 July 1992.
- Fernandez-Torquemada Y., Diaz-Valdes M., Colilla F., Luna B., Sanchez-Lizaso J.L., Ramos-Espla A.A., 2008. Descriptors from *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows in coastal waters of Valencia, Spain, in the context of the EU Water Framework Directive. *Ices Journal of Marine Science*, 65(8) : 1492-1497.
- Foden J., Brazier D.P., 2007. Angiosperms (seagrass) within the EU water framework directive: A UK perspective. *Marine Pollution Bulletin*, 55 (1-6) : 181-195.
- Frederiksen M., Krause-Jensen D., Holmer M., Laursen J.S., 2004. Longterm changes in area distribution of eelgrass (*Zostera marina*) in Danish coastal waters. *Aquatic Botany*, 78 : 167-181.
- Gaeckle J.L., Short F.T., Ibarra-Obando S.E., Meling-Lopez A.E., 2006. Sheath length as a monitoring tool for calculating leaf growth in eelgrass (*Zostera marina* L.). *Aquatic Botany*, 84(3) : 226-232.
- Gagnon P., Scheibling R. E., Jones W., Tully D., 2008. The role of digital bathymetry in mapping shallow marine vegetation from hyperspectral image data. *International Journal of Remote Sensing*, 29(3) : 879-904.
- Giraud G., 1977. Essai de classement des herbiers de *Posidonia oceanica* (Linné) Delile. *Bot. Mar.*, 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.
- Gobert S., Sartoretto S., Rico-Raimondino V., Andral B., Chery A., Lejeune P., Boissery P., 2009. Assessment of the ecological status of Mediterranean French coastal waters as required by the Water Framework Directive using the *Posidonia oceanica* Rapid Easy Index: PREI. *Marine Pollution Bulletin*.

- Godet L., Fournier J., Toupoint N., Olivier F., 2009. Mapping and monitoring intertidal benthic habitats: a review of techniques and a proposal for a new visual methodology for the European coasts. *Progress in Physical Geography*, 33(3) : 378-402.
- Green E., Short F., 2003. World Atlas of Seagrass.
- Kenny A.J., Cato I., Desprez M., Fader G., Schuttenhelm R.T.E., Side J., 2003. An overview of seabed-mapping technologies in the context of marine habitat classification. *Ices Journal of Marine Science*, 60(2) : 411-418.
- Komatsu T., Igarashi C., Tatsukawa K., Sultana S., Matsuoka Y., Harada S., 2003. Use of multi-beam sonar to map seagrass beds in Otsuchi Bay on the Sanriku Coast of Japan. *Aquatic Living Resources*, 16(3) : 223-230.
- Lopez y Royo C., Casazza G., Pergent-Martini C., Pergent G., 2010b. A biotic index using the seagrass *Posidonia oceanica* (BiPo), to evaluate ecological status of coastal waters. *Ecological Indicators*, 10(2) : 380-389.
- Lopez y Royo C., Pergent G., Alcoverro T., Buia M.C., Casazza G., Martínez-Crego B., Pérez M., Silvestre F., Romero J., 2010c. The seagrass *Posidonia oceanica* as indicator of coastal water quality: Experimental intercalibration of classification systems. *Ecological indicators*.
- Lopez y Royo C., Pergent G., Pergent-Martini C., Casazza G., 2010a. Seagrass (*Posidonia oceanica*) monitoring in western Mediterranean: implications for management and conservation. *Environ Monit Assess.*, 171:365-380.
- Lopez y Royo C., Silvestri C., Salivas-Decaux M., Pergent G., Casazza G., 2009. Application of an angiosperm-based classification system (BiPo) to Mediterranean coastal waters: using spatial analysis and data on metal contamination of plants in identifying sources of pressure. *Hydrobiologia*.
- McKenzie L.J., Finkbeiner M.A., Kirkman H., 2001. Methods for mapping sea grass distribution. In : "Global Seagrass Research Methods" Short F.T. and Coles R.G. Eds., Elsevier Scientific Publishers B.V., Amsterdam : 101-122.
- Meinesz A., Laurent R., 1978. Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-maritimes (France). Campagne Poséidon 1976. *Botanica marina*, 21 (8) : 513-526.
- Montefalcone M., 2009. Ecosystem health assessment using the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: A review. *Ecological Indicators*, 9: 595-604
- Montefalcone M., Bianchi C.N., Morri C., Peirano A., Albertelli G., 2006. Lower limit typology and functioning of six *Posidonia oceanica* meadows in the Ligurian sea (nw Mediterranean). In "Proceedings of the Mediterranean Seagrass Workshop 2006 », M.C. Gambi, J.A. Borg, M.C. Buia, G. Di Carlo, C. Pergent-Martini, G. Pergent, G. Procaccini eds. *Biologia Marina Mediterranea*, 13 (4) : 262-266.
- Mumby P.J., Edwards A.J., 2002. Mapping marine environments with IKONOS imagery: enhanced spatial resolution can deliver greater thematic accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 82(2-3) : 248-257.
- Mumby P.J., Green E.P., Edwards A.J., Clark C.D., 1999. The cost-effectiveness of remote sensing for tropical coastal resources assessment and management. *Journal of Environmental Management*, 55 : 157-166.
- Orfanidis S., Papathanasiou V., Gounaris S., Theodosiou Th., 2010. Size distribution approaches for monitoring and conservation of coastal Cymodocea habitats. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20(2) : 177-188.
- Paillard M., Gravez V., Clabaut P., Walker P., Blanc J., Boudouresque C.F., Belsher T., Ursheler F., Poydenot F., Sinnassamy J., Augris C., Peyronnet J., Kessler M., Augustin J., Le Drezen E., Prudhomme C., Raillard J., Pergent G., Hoareau A., Charbonnel E., 1993. Cartographie de l'herbier de Posidonie et des fonds marins environnants de Toulon à Hyères (Var - France). Reconnaissance par sonar latéral et photographie aérienne. Notice de présentation. *Ifremer & Gis Posidonie Publ.* : 1-36.
- Pasqualini V., 1997. Caractérisation des peuplements et types de fonds le long du littoral corse (Méditerranée, France). Thèse Doctorat « Ecologie marine », Université de Corse : 1-172.
- Pasqualini V., Pergent-Martini C., Fernandez C., Pergent G., 1997. The use of aerial teledetection for benthic cartography : Advantages and reliability. *International Journal Remote Sensing*, 18 (5) : 1167-1177.
- 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). *Estuarine Coastal Shelf Science*, 47 : 359-367.
- Pasqualini V., Pergent-Martini C., Fernandez C., Ferrat L., Tomaszewski J.E., Pergent G., 2006. Wetland monitoring : Aquatic plant changes in two Corsican coastal lagoons (Western Mediterranean Sea). *Aquatic Conservation*, 16(1) : 43-60.
- Pasqualini V., Pergent-Martini C., Pergent G., 1999. Environmental impacts identification along the Corsican coast (Mediterranean sea) using image processing. *Aquatic Botany*, 65 : 311-320.
- Pasqualini V., Pergent-Martini C., Pergent G., Agreil M., Skoufas G., Sourbes L., Tsirika A., 2005. Use of SPOT 5 for mapping seagrasses : an application to *Posidonia oceanica*. *Remote Sensing Environment*, 94 : 39-45.
- Pergent G., 1990. Lepidochronological analysis of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile: a standardized approach. *Aquat. Bot.* 37: 39-54.
- Pergent G., 2006 . Le rôle des herbiers à *Posidonia oceanica*. In « Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica* », Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L. eds., RAMOGE Publ., Monaco : 25-31.
- Pergent G., 2007. Protocole pour la mise en place d'une surveillance des herbiers de Posidonies. Programme « MedPosidonia » / CAR/ASP - Fondation d'entreprise TOTAL pour la Biodiversité et la Mer ; Mémoire d'Accord N°21/2007/RAC/SPA/ MedPosidonia Nautilus-Okianos: 24p + Annexes.
- Pergent G., Chessa L., Cossu A., Gazale V., Pasqualini V., Pergent-Martini C., 1995a. Aménagement du littoral : Apport de la cartographie benthique. *Res Mediterranea*, 2 : 45-57.
- Pergent G., Leonardini R., Lopez Y Royo C., Mimault B., Pergent-Martini C., 2008. Mise en œuvre d'un Réseau de Surveillance Posidonies le long du littoral de la Corse – Rapport de synthèse 2004-2008. Contrat Office de l'Environnement de la Corse et GIS Posidonie Centre de Corse, *GIS Posidonie Publ.*, Corte : 1 - 273.

Pergent G., Pergent-Martini C., 1995. Mise en œuvre d'un réseau de surveillance de la végétation marine en Méditerranée - Synthèse. Contrat RACSPA N°10/94 : 1-25 + 10p. Annexes.

Pergent G., Pergent-Martini C., Boudouresque C.F., 1995b. 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., Pergent-Martini C., Casalta B., Lopez y Royo C., Mimault B., Salivas-Decaux M., Short F., 2007. Comparison of three seagrass monitoring systems: SeagrassNet, «Posidonia» programme and RSP. Proceedings of the third Mediterranean symposium on marine vegetation (Marseille, 27-29 March 2007). C. Pergent-Martini, S. El Asmi, C. Le Ravallec edits., *RAC/SPA publ.*, Tunis: 141-150.

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., Piazzini L., Pirrotta M., Relini G., Romero J., Sanchez-Lizaso J.L., Semroud R., Shembri P., Shili A., Tomasello A., Velimirov B., 2005. Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: use and application. *Ecological Indicators*, 5: 213-230.

Pergent-Martini C., 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.

Phinn S., Roelfsema C., Dekker A., Brando V., Anstee J., 2008. Mapping seagrass species, cover and biomass in shallow waters: An assessment of satellite multi-spectral and airborne hyper-spectral imaging systems in Moreton Bay (Australia). *Remote Sensing of Environment*, 112(8) : 3413-3425.

PNUE-PAM, 2009. Rapport de la Seizième réunion ordinaire des Parties contractantes à la Convention sur la protection du milieu marin et du littoral de la Méditerranée et à ses Protocoles. Document de travail, Marrakech - Maroc, 3 - 5 novembre 2009, *PAM Publ.*, UNEP(DEPI)/MED IG.19/8 : 1-22 + ann.

PNUE-PAM-CAR/ASP, 1999. Plan d'action relatif à la conservation de la végétation marine de Méditerranée. *CAR/ASP Publ.*, Tunis : 1-47.

PNUE-PAM-CAR/ASP, 2005. Rapport d'évaluation de la mise en œuvre du plan d'action pour la conservation de la végétation marine en mer Méditerranée. Document de travail pour la septième réunion des points focaux nationaux pour les ASP, Séville - Espagne, 31 Mai - 3 juin 2005, *CAR/ASP Publ.*, UNEP(DEC)/MED WG.268/6 : 1-51 *+ Ann.

PNUE-PAM-CAR/ASP, 2007. Rapport sur l'Etat d'Avancement des Activités du CAR/ASP. Document de travail pour la huitième réunion des points focaux nationaux pour les ASP, Palerme - Italie, 6-9 juin 2007, *CAR/ASP Publ.*, UNEP(DEPI)/MED WG.308/4 Rev.1 : 1-29.

PNUE-PAM-CAR/ASP, 2009a. Etat des connaissances relatif à la répartition des herbiers de magnoliophytes marines en Méditerranée. Leonardini R., Pergent G., Boudouresque C.F. eds. Document d'information pour la neuvième réunion des points focaux nationaux pour les ASP, Floriana - Malte, 3 - 6 juin 2009, *CAR/ASP Publ.*, UNEP(DEPI)/MED WG.331/Inf.5: 1-376.

PNUE-PAM-CAR/ASP, 2009b. Rapport sur le projet MedPosidonia. Rais C., Pergent G., Dupuy de la Grandrive R., Djellouli A. eds. Document d'information pour la neuvième réunion des points focaux nationaux pour les ASP, Floriana - Malte, 3 - 6 juin 2009, *CAR/ASP Publ.*, UNEP(DEPI)/MED WG.331/Inf.11: 1-107 + ann.

PNUE-PAM-Plan Bleu, 2009. Etat de l'environnement et du développement en Méditerranée. *PNUE/PAM-Plan Bleu publ.*, Athènes : 212p.

Projet MESH, 2008. Guide de cartographie des habitats marins. RST - DYNECO/AG/07-21/JP - *Ifremer*, Centre de Brest : 74p.

Projet POSIDONIA, 2007. Rapport final d'activité du groupe de travail « Cartographie ». Programme Interreg IIIB MEDOCC « Mise en cohérence, développement, harmonisation et validation de méthodes d'évaluation de la qualité du milieu littoral par le suivi de l'herbier de *Posidonia oceanica*. *Ifremer, ARPAL, ENEA, GIS Posidonie, Osservatorio Liguria, BMC Studio & P. Clabaut Consultant edit.*, 1- 68 + Ann.

Richir J., Salivas-Decaux M., Lafabrie C., Lopez y Royo C., Gobert S., Pergent G., Pergent-Martini C., 2015. Bioassessment of trace element contamination of Mediterranean coastal waters using the seagrass *Posidonia oceanica*, *Journal of Environmental Management*, 150: 1-14.

Riegl B.M., Purkis S.J., 2005. Detection of shallow subtidal corals from IKONOS satellite and QTC View (50, 200 kHz) single-beam sonar data (Arabian Gulf; Dubai, UAE). *Remote Sensing of Environment*, 95(1) : 96-114.

Romero J., Martinez-Crego B., Alcoverro T., Pérez M., 2007. A multivariate index based on the seagrass *Posidonia oceanica* (POMI) to assess ecological status of coastal waters under the water framework directive (WFD). *Marine Pollution Bulletin*, 55 : 196-204.

Salivas-Decaux M., 2009. Caractérisation et valorisation des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile et à *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson dans le bassin méditerranéen. Thèse Doctorat «Ecologie marine », Université de Corse : 1-168.

Salivas-Decaux M., Alglave C., Leonardini R., Mimault B., Pergent G., 2008. Cartographie des principaux peuplements et types de fonds de la baie de Girolata - Projet d'installation des mouillages organisés. Contrat GIS Posidonie et Municipalité d'Osani : 1-22.

Salivas-Decaux M., Bonacorsi M., Pergent G., Pergent-Martini C., in press. Evaluation of the contamination of the mediterranean sea based on the accumulation of trace-metals by *Posidonia oceanica*. Proceedings of the fourth Mediterranean symposium on marine vegetation (Hammamet, 2-4 December 2010). S. El Asmi ed., *RAC/SPA publ.*, Tunis.

Short F., Coles R.G., 2001 *Global Seagrass Research Methods. Elsevier Science B.V. publ.*, Amsterdam : 1-473.

Short F., McKenzie L.J., Coles R.G., Vidler K.P., 2002. Seagrassnet - Manual for scientific monitoring of sea grass habitat. Queensland Department of Primary Industries, QFS, Cairns : 56 p.

Walker D.I., 1989. Methods for monitoring seagrass habitat. Rep. Workshop 20-22 June 1988 Melbourne, *VIMS Working paper* 18 : 1-26 + Ann.

ANNEXE 1- PRÉSENTATION INTRODUCTIVE À LA TABLE RONDE, ORGANISÉE PAR LE CAR/ ASP À HVAR (SEPTEMBRE 2009)

Context



3rd Mediterranean Symposium on marine végétation (Marseille 2007)

Creation of a tool-box for studying seagrasses

Proposition of guidelines for the mapping and the monitoring

Questionnaire

Mapping

- How the situation?
- Are there methods?
- For each, is it necessary to propose a standardization?
- Are they relevant for all the Mediterranean species?
- Are they applicable in each Mediterranean countries?
- Advantages and limits?

Monitoring

- How the situation is?
- Are there methods?
- For each, is it necessary to propose a standardization?
- Are they relevant for all the Mediterranean species?
- Are they applicable in each Mediterranean countries?
- Advantages and limits?

Mapping

Present situation ?



Main methods used



<http://www.ifremer.fr/posidonia/> <http://www.searchmesh.net/>

Is standardization useful or required ?

Monitoring

Present situation ?



Existing methods



Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: Use and application. E. Pergent-Martini & V. Leoni A., V. Pasqualini & G.D. Artizzzone B., E. Balestri c., R. Bedini d., A. Bellucio b., T. Belsber e., J. Borg f., C.F. Bourfaresque g., S. Boumiza h., J.M. Bouquenesu i., M.C. Buis j., S. Calvo k., J. Cochran l., E. Charbonnel g., F. Cinelli c., A. Corso m., G. Di Marco k., B. Durai n., P. Francour o., S. Gobert l., G. Legoin L.A. Meirez o., H. Mdensaar p., H.M. Mansour p., P. Panayotidis q., A. Peirani r., G. Pergent a., L. Piazza c., M. Pirrotta k., G. Reini s., J. Romero t., J.L. Sanchez-Lizaso u., R. Semroud h., P. Shembri f., A. Shili v., A. Tomasiello k., B. Valmirav w.



→ Is a Mediterranean Monitoring System possible ?

ANNEXE 2 - COMPTE RENDU DE LA TABLE RONDE, ORGANISÉE PAR LE CAR/ASP À HVAR (SEPTEMBRE 2009)

« Standardisation des méthodes de cartographie et de suivi des phanérogames marines dans la région Méditerranéenne »

Chairs: Christine Pergent-Martini & Aslam Djellouli

Rapporteur: Cecilia Lopez y Royo

The context

The RAC/SPA is responsible at regional level of the implementation of the conservation Action Plan of the Mediterranean marine vegetation. During the 3rd Mediterranean Symposium on marine vegetation, in Marseille, in March 2007, a general request was formulated: the development of a common tool-box for monitoring seagrass.

The RAC/SPA therefore proposes to develop, together, guidelines for the development of this common toolbox to map and monitor seagrasses at Mediterranean level.

For this purpose, and in the context of this roundtable, a basic questionnaire has been prepared:

Mapping

- ◆ How the situation?
- ◆ Are there methods?
- ◆ For each, is it necessary to propose a standardization?
- ◆ Are they relevant for all the Mediterranean species?
- ◆ Are they applicable in each Mediterranean countries?
- ◆ Advantages and limits?

Monitoring

- ◆ How the situation is?
- ◆ Are there methods?
- ◆ For each, is it necessary to propose a standardization?
- ◆ Are they relevant for all the Mediterranean species?
- ◆ Are they applicable in each Mediterranean countries?
- ◆ Advantages and limits?

Discussion

Mapping

The present situation has been illustrated in Christine Pergent Martini's presentation (morning session). There is a certain coverage in N Mediterranean, however is this sufficient?

A variety of methods have been adopted to map seagrass beds, which mainly include satellite images, aerial photography, Side Scan Sonars, ROVs, field measures, etc.

Concerning standardisation of mapping methods, two research projects have approached the subject:

- ◆ An Interreg project, which compares the different mapping methods in terms of aim, cost and reliability.
- ◆ The MESH programme, which developed guidelines on the ability in Europe to map seagrass, however information on the Mediterranean is scarce.

The issue of cost of mapping entire coastlines was raised. In this context, the reduction of areas to be mapped is inevitable, however it is essential to keep in mind the importance of following a rationale in the selection of areas (i.e. reference sites vs impacted sites).

In addition, although financial limitations are an important issue, these do not prevent laboratories and research institutes to agree on a common tool-box of methods.

No additional comments were made concerning mapping methods.

Monitoring

The present situation has been illustrated in different presentations during the morning session. Operational *P. oceanica* monitoring networks result in a good coverage of the NW Mediterranean, and have been developed in certain areas of the southern and eastern Mediterranean. However there are important geographical gaps, in which it would be interesting to develop additional monitoring networks.

Methods to monitor seagrass, in particular *P. oceanica*, are numerous and varied. A published paper clearly summarises the different descriptors and methods adopted around the Mediterranean (Pergent-Martini *et al.*, 2005).

Considering this variety of methods, is it possible to develop a common toolbox of methods and to develop a Mediterranean monitoring network?

In terms of standardisation of methods to measure descriptors, two aspects have to be considered:

- ◆ The definition of a descriptor and,
- ◆ The method to measure this descriptor.

Is it necessary to adopt a unique definition of common descriptors (e.g. cover)? A single common definition for each descriptor would be in line with the Mediterranean regional approach. However it is difficult to reach given different labs' expertise and habits.

Is it necessary to standardize methods to measure descriptors? A strong request was expressed by managers, for experts to reach standardization at least for the most commonly used descriptors.

The issue of number and type of descriptors to be used in a monitoring programme was also raised. The choice of descriptors has to clearly correspond to the objectives of the monitoring programme, in terms of type of information required, timeframe, etc.

Ideally the common toolbox of methods should contain protocols for a certain number of descriptors. Therefore, all or part of this toolbox will be included in the monitoring network (in relation to its objectives).

In addition, the experimental design with which you measure these parameters is essential too. The adoption of an inadequate experimental design could lead to data interpretation errors.

Proposals

- ◆ Fred Short: to create a hierarchy of parameters. A hierarchy of parameters that can be measured by all, according to the information they provide. This would allow to request financial support step by step, as well as to report results in a visible way to managers. However, the parameters included in the hierarchy should have a clearly defined protocol.
- ◆ As a clearly defined protocol has been defined for the MedPosidonia programme, can't this protocol be used as the basis to discuss the development of the common toolbox of methods to map and monitor seagrass in the Mediterranean?

Conclusions

The protocol of the MedPosidonia programme and the SeagrassNet manual, that are available online (RAC/SPA and SeagrassNet websites) could be used to build this common tool-box.

Christine Pergent-Martini is available to discuss this protocol further with all the scientific community.

ANNEXE 3 – GRILLES D'INTERPRÉTATION EN CINQ CLASSES DE QUELQUES DESCRIPTEURS DE L'HERBIER À *POSIDONIA OCEANICA*

Structure de l'herbier

Type de limite inférieure (UNEP-MAP-RAC/SPA, 2009b)

	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
L. inf.	Progressive	Sharp C+	Sharp C-	Sparse	Regressive

Type de limite	Caractéristiques principales
Progressive	Présence de rhizomes plagiotropes en avant de la limite
Franche – Fort recouvrement (F+)	Limite nette présentant un recouvrement supérieur à 25%
Franche – Faible recouvrement (F-)	Limite nette présentant un recouvrement inférieur à 25%
Clairsemée	Densité inf. à 100 faiscs./m ² , recouvrement inf. à 15%
Régressive	Présence de mattes mortes en avant de la limite

Profondeur de la limite inférieure (en m ; UNEP-MAP-RAC/SPA, 2009b)

	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
L. inf.	> 34.2	34.2 à 30.4	30.4 à 26.6	26.6 à 22.8	< 22.8

Recouvrement de l'herbier (en pourcentage ; UNEP-MAP-RAC/SPA, 2009b)

	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
L. inf.	> 35%	35% à 25%	25% à 15%	15% à 5%8	< 5%

Densité de l'herbier (nombre de faisceaux par m²)

Profondeur (m)	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
1	> 1133	1133 à 930	930 à 727	727 à 524	< 524
2	> 1067	1067 à 863	863 à 659	659 à 456	< 456
3	> 1005	1005 à 808	808 à 612	612 à 415	< 415
4	> 947	947 à 757	757 à 567	567 à 377	< 377
5	> 892	892 à 709	709 à 526	526 à 343	< 343
6	> 841	841 à 665	665 à 489	489 à 312	< 312
7	> 792	792 à 623	623 à 454	454 à 284	< 284
8	> 746	746 à 584	584 à 421	421 à 259	< 259
9	> 703	703 à 547	547 à 391	391 à 235	< 235
10	> 662	662 à 513	513 à 364	364 à 214	< 214
11	> 624	624 à 481	481 à 338	338 à 195	< 195
12	> 588	588 à 451	451 à 314	314 à 177	< 177
13	> 554	554 à 423	423 à 292	292 à 161	< 161
14	> 522	522 à 397	397 à 272	272 à 147	< 147
15	> 492	492 à 372	372 à 253	253 à 134	< 134
16	> 463	463 à 349	349 à 236	236 à 122	< 122
17	> 436	436 à 328	328 à 219	219 à 111	< 111
18	> 411	411 à 308	308 à 204	204 à 101	< 101
19	> 387	387 à 289	289 à 190	190 à 92	< 92
20	> 365	365 à 271	271 à 177	177 à 83	< 83
21	> 344	344 à 255	255 à 165	165 à 76	< 76
22	> 324	324 à 239	239 à 154	154 à 69	< 69
23	> 305	305 à 224	224 à 144	144 à 63	< 63
24	> 288	288 à 211	211 à 134	134 à 57	< 57
25	> 271	271 à 198	198 à 125	125 à 52	< 52
26	> 255	255 à 186	186 à 117	117 à 47	< 47
27	> 240	240 à 175	175 à 109	109 à 43	< 43
28	> 227	227 à 164	164 à 102	102 à 39	< 39
29	> 213	213 à 154	154 à 95	95 à 36	< 36
30	> 201	201 à 145	145 à 89	89 à 32	< 32
31	> 189	189 à 136	136 à 83	83 à 30	< 30
32	> 179	179 à 128	128 à 77	77 à 27	< 27
33	> 168	168 à 120	120 à 72	72 à 24	< 24
34	> 158	158 à 113	113 à 68	68 à 22	< 22
35	> 149	149 à 106	106 à 63	< 63	
36	> 141	141 à 100	100 à 59	< 59	
37	> 133	133 à 94	94 à 55	< 55	
38	> 125	125 à 88	88 à 52	< 52	
39	> 118	118 à 83	83 à 48	< 48	
40	> 111	111 à 78	78 à 45	< 45	

Rhizomes plagiotropes (en pourcentage ; UNEP-MAP-RAC/SPA, 2009b)

	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
L. inf .	> 70%	70% à 30%	< 30%		

Structure de la plante

Surface foliaire (en cm² par faisceau), entre Juin et Juillet (UNEP-MAP-RAC/SPA, 2009b)

	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
-15 m	> 362	362 à 292	292 à 221	221 à 150	< 150

Nombre de feuilles par an (UNEP-MAP-RAC/SPA, 2009b)

	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
-15 m	>9.0	8.9 à 8.0	7.9 à 7.0	6.9 à 6.0	<5.9

Vitesse de croissance des rhizomes (en mm par an ; UNEP-MAP-RAC/SPA, 2009b)

	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
-15 m	> 11	11 à 8	8 à 5	5 à 2	< 2

Enrichissement du milieu

Teneur en azote dans les feuilles adultes (en pourcentage, entre juin et juillet ; UNEP-MAP-RAC/SPA, 2009b)

	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
-15 m	< 1.9%	1.9% à 2.4%	2.4% à 3.0%	3.0% à 3.5%	> 3.5%

Matière organique du sédiment en pourcentage, fraction 0.063 mm ; (UNEP-MAP-RAC/SPA, 2009b)

	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
-15 m	< 2.5%	2.5% à 3.5%	3.5% à 4.6%	4.6% à 5.6%	> 5.6%

Contamination du milieu (Richir *et al.*, 2015.)

Concentration en Argent (mg par g poids sec), limbe des feuilles adultes, entre Juin et Juillet

	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
-15 m	<0.091	0.091 à 0.281	0.281 à 0.439	0.439 à 0.892	>0.892

Concentration en Cadmium (mg par g poids sec), limbe des feuilles adultes, entre Juin et Juillet

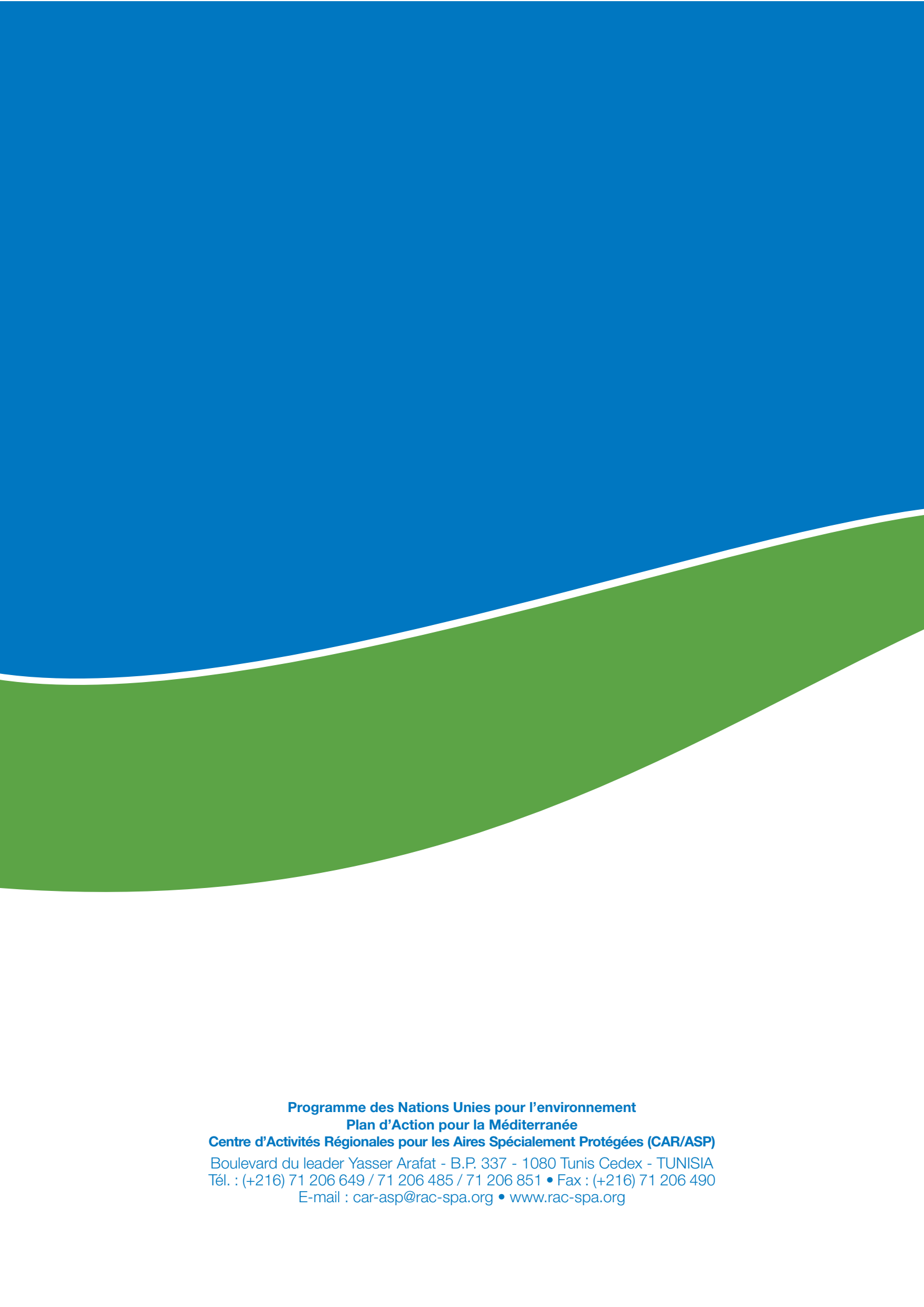
	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
-15 m	<1.42	1.42 à 2.07	2.07 à 2.57	2.57 à 3.65	>3.65

Concentration en Mercure (mg par g poids sec), limbe des feuilles adultes, , entre Juin et Juillet

	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
-15 m	<0.0455	0.0455 à 0.0611	0.0611 à 0.0727	0.0727 à 0.1035	>0.1035

Concentration en Plomb (mg par g poids sec), limbe des feuilles adultes, , entre Juin et Juillet

	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
-15 m	<1.03	1.03 à 1.54	1.54 à 2.19	2.19 à 4.84	>4.84



Programme des Nations Unies pour l'environnement
Plan d'Action pour la Méditerranée
Centre d'Activités Régionales pour les Aires Spécialement Protégées (CAR/ASP)
Boulevard du leader Yasser Arafat - B.P. 337 - 1080 Tunis Cedex - TUNISIA
Tél. : (+216) 71 206 649 / 71 206 485 / 71 206 851 • Fax : (+216) 71 206 490
E-mail : car-asp@rac-spa.org • www.rac-spa.org