



MISE EN COHERENCE DES METHODES DE SUIVIS DES HERBIERS DE POSIDONIES DES SITES NATURA 2000 MARINS DU LANGUEDOC-ROUSSILLON



© Sylvain Blouet / ADENA



Ce document a été coordonné par l'association ADENA et réalisé collégalement avec le CNRS/Université de Perpignan Via Domitia, la Réserve naturelle nationale marine de Cerbère Banyuls, la mission de préfiguration du Parc naturel marin du Golfe du Lion et le CEFREM

Tous ces partenaires ont réalisé ce rapport gracieusement.

Il a été rédigé avec le soutien de Fabrice Auscher pour la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement du Languedoc-Roussillon (DREAL L-R), de Laurent Moraguès pour l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée&Corse et de Boris Daniel pour l'Agence des Aires Marines Protégées (AAMP).

Mathieu Foulquié a contribué à la relecture du document.

La réactualisation de ce document est prévue tous les deux ans, soit à la fin de chacune des campagnes. Ce document doit donc être considéré comme une première version qui évoluera suite aux retours d'expériences de chacun des sites.

Ce document doit être cité de la façon suivante :

Blouet S., Lenfant P., Dupuy de la Grandrive R., Laffon J-F, Chéré E., Courp T., Gruselle MC., Ferrari B., Payrot J, 2011. Mise en cohérence des méthodes de suivis des herbiers de posidonies des sites Natura 2000 marins du Languedoc-Roussillon. Rapport ADENA-CNRS/EPHE/UPVD/CEFREM-CG66-AAMP,Fr 48p.

Sommaire

1	Objectifs de la démarche posidonies intersites	3
2	L'herbier de Posidonie, habitat de type prioritaire	5
2.1	Ecologie	5
2.2	Caractéristiques écologiques des herbiers de posidonies en Languedoc-Roussillon	6
2.2.1	Le littoral roussillonnais	7
2.2.2	Le littoral languedocien.....	8
2.3	Importance de l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	9
2.4	Les menaces.....	10
2.5	Protection légale de l'herbier de posidonies.....	11
2.6	Importance économique.....	12
3	Méthodologie de la démarche Posidonies intersites	13
3.1	Détermination de l'aire de répartition et superficie des herbiers	14
3.1.1	Cartographie à l'échelle du site Natura 2000.....	14
3.2	Cartographies à l'échelle de chaque herbier.....	20
3.2.1	Télémétrie acoustique	20
3.2.2	Micro-cartographie : carré permanent	21
3.3	Evaluation de l'état de conservation des herbiers.....	24
3.4	Structure générale de l'herbier.....	24
3.4.1	Substrat	24
3.4.2	Structures érosives et mattes mortes	25
3.4.3	Analyse des limites supérieures et inférieures de l'herbier.....	25
3.5	Caractérisation de la matte	27
3.5.1	Déchaussement.....	27
3.5.2	Compacité et structure de la matte	28
3.6	Analyses de l'état de vitalité de la plante	28
3.6.1	Mesures réalisées in situ (en plongée).....	28
3.6.2	Mesures réalisées en laboratoire.....	29
3.7	Identification et évaluation des « menaces » pesant sur les herbiers et risquant d'influer sur le bon état de conservation.....	31

Les perturbations physiques :	31
3.8 Statut de conservation de la faune et la flore associées aux herbiers Détermination de l'aire de répartition et superficie des herbiers	31
3.9 Présentation synthétique du suivi de l'herbier.....	32
3.10 Cohérence avec la Directive européenne Cadre sur l'Eau (DCE).....	33
3.11 Tableau de synthèse de la méthodologie proposée.....	34
4 Bibliographie.....	36
5 Annexes	44

Liste des figures

Figure 1 : Répartition de l'herbier de posidonies autour de la Méditerranée (d'après Pergent, com. pers, modifié).....	6
Figure 2: Herbier de posidonies en mosaïque (rouge), sur une zone de mattes mortes (Bleu) - site Posidonies du Cap d'Agde (Adena).....	7
Figure 3 : Présentation des différentes techniques d'acquisition pour l'évaluation de l'aire de répartition.	15
Figure 4 : Tableau synthétique des performances pour l'évaluation de l'aire de répartition des herbiers à posidonies.....	17
Figure 5 : Exemple de réponses impulsionnelles mesurées (Noel <i>et al</i> , 2005)	18
Figure 6 : Echographie 3D du fond dans l'aire marine agathoise (Noel <i>et al</i> , 2010). 19	
Figure 7: Exemple de profil Chirp SES-2000Compact d'innomar à travers un herbier, permettant de distinguer les feuilles des posidonies (en bleu) et la matte (en vert). (Claudio Lo Iacono <i>et al</i> . 2008).....	19
Figure 8: Principe du télémètre acoustique sous-marin (PLSM).....	21
Figure 9: Balisage d'un carré permanent sur l'herbier des Mattes au Cap d'Agde. Borne FENO TM en jaune.....	21
Figure 10 : Principe de la pose d'une borne FENO TM	22
Figure 11: Mise en place d'une balise dans l'herbier de posidonies (ADENA).	22
Figure 12: Superposition de planches photographiques verticales d'un carré permanent (ADENA).....	23
Figure 12: (Droite) Principe de mesure par triangulation- A, B, C correspondent aux distances entre les l'un des angles du carré et le point de positionnement. (Gauche) Plongeur effectuant des mesures (ADENA).	24
Figure 13: Exemple de contour (en jaune) délimitant le contour d'une micro-structure d'un herbier de type colline (Adena)- Site «Posidonies du Cap d'Agde ».....	27
Figure 14: Un rhizome plagiotrope de <i>Posidonia oceanica</i> , dont partent vers le haut une demi-douzaine	28
Figure 15: Mesure de la densité, avec un quadrat de 20 x 20 cm (Adena). Site Natura 2000 « Posidonies de la Côte palavasienne ».....	29
Figure 16: Présentation des sites Natura 2000 marins Région LR concernés par la mise en cohérence des méthodes de suivis des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>	35
Figure 17: Exemple d'une superposition de points RoxAnn classés sur de l'imagerie acoustique	44

1 Objectifs de la démarche posidonies intersites

En Languedoc-Roussillon, l'herbier de posidonies, dont l'intérêt écologique n'est plus à démontrer, est encore présent en quelques endroits bien identifiés du littoral (Blouet *et al.*, 2005, Lenfant *et al.*, 2004 ; Collart *et al.*, 2004). A l'image de la majeure partie des côtes méditerranéennes, ce littoral est de plus en plus soumis à des pressions anthropiques diverses (e.g. aménagements touristiques, rejets d'eaux usées insuffisamment épurées, destructions mécaniques par les engins de pêche, etc.) qui peuvent altérer l'état de conservation de l'herbier. Aussi est-il nécessaire, à l'exemple des régions Provence Alpes Côte d'Azur (PACA) et Corse, d'initier en Languedoc- Roussillon une surveillance adaptée de l'herbier de Posidonies et propres au besoin des gestionnaires de site Natura 2000. La mise en place de la démarche Posidonies intersites est le complément indispensable à l'ensemble des démarches de Méditerranée (Espagne et Italie pour la Méditerranée Nord Occidentale) et permettra de boucler cette surveillance à l'échelle de la façade méditerranéenne française dans son ensemble.

Ce projet de mise en cohérence et d'harmonisation des méthodes de suivis d'herbiers de posidonies au sein des sites Natura 2000 en Languedoc-Roussillon a pour objectifs :

- La surveillance à long terme de l'évolution de l'état de conservation des herbiers de posidonies le long de cette côte.
- Standardiser les méthodes de suivis au sein des trois sites Natura 2000 afin de pouvoir suivre l'évolution des herbiers à une échelle régionale, voire nationale et méditerranéenne. Enfin, les données issues de cette mise en commun pourront être discutées voire comparées aux autres suivis de surveillance des régions de PACA et Corse.
- L'élaboration à partir de la mise en commun d'expériences, de stratégies à adopter pour la surveillance des herbiers en Languedoc-Roussillon
- Définir les spécificités et la typicité propre des herbiers de cette côte afin que ces critères permettent d'apporter des éléments de réponse dans la mise en œuvre des politiques communes telles que la DCE.
- L'utilisation de l'herbier comme indicateur biologique de la qualité globale du milieu. L'herbier témoigne, par sa vitalité, sa progression ou sa régression, de cette qualité globale du milieu environnant. Ainsi, la régression d'un herbier de posidonies doit être considérée comme un indice de déséquilibre de l'écosystème (aménagements, pollutions biologiques ou chimiques, etc.).
- Permettre une sensibilisation au travers d'actions de communication

Aussi ce projet a-t-il été pensé en vue de permettre d'établir de meilleures méthodes de gestion au sein des sites Natura 2000 régionaux et de renforcer les échanges

d'expériences entre les opérateurs et/ou animateurs de sites.

L'intérêt de ce projet est de pouvoir disposer, sur une échelle à long terme, d'un outil de surveillance et de diagnostic performant sur l'état de conservation des herbiers de Posidonies (espèce protégée et habitat prioritaire de la Directive Habitats) et du milieu marin en général. Il permet ainsi de veiller à la qualité biologique globale du milieu marin et de pouvoir détecter toute altération de celui ci se matérialisant par une régression ou *a contrario*, toute amélioration se traduisant par une progression de l'herbier. Il doit aussi permettre de vérifier l'efficacité des progrès accomplis en matière d'épuration des eaux usées ainsi que des efforts en matière de contrôle des aménagements littoraux.

En définitive, ce projet propose une clé à l'usage des opérateurs mettant en relation les besoins identifiés en termes de gestion du milieu marin, les techniques de cartographie et de surveillance de l'herbier de posidonie et leurs coûts. Il aura pour conséquence une meilleure prise en compte de la gestion et de la conservation de l'herbier à posidonies dans la région Languedoc-Roussillon.

2 L'herbier de Posidonie, habitat de type prioritaire

2.1 Ecologie

La Posidonie, *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, est une magnoliophyte marine (plante à fleurs) endémique de la Mer Méditerranée. Elle constitue de vastes prairies sous-marines, appelées herbiers, qui se développent depuis la surface de l'eau jusqu'à 30 à 40 m de profondeur, selon la transparence des eaux. La formation des herbiers, leur dynamique et leur densité dépendent étroitement du milieu environnant : nature du substrat sur lequel les posidonies se fixent, force et direction des courants sous-marins, turbidité, profondeur, qualité des eaux, etc. (Molinier & Picard, 1952 ; Boudouresque & Meinesz, 1982).

Leur croissance est fonction de l'espace disponible, de la lumière et de l'importance des apports sédimentaires obligeant la plante à croître verticalement afin de lutter contre l'enfouissement. La vitesse de croissance de l'herbier est très lente, en moyenne de l'ordre de 3 à 6 cm par an pour les rhizomes plagiotropes¹ (Caye, 1980 ; Molenaar, 1992).

L'herbier édifie au cours du temps la matte, enchevêtrement complexe et extrêmement compact de rhizomes et de racines dont les interstices sont comblés par du sédiment. Ces mattes stabilisent les fonds meubles et peuvent atteindre une épaisseur de 8 m (Molinier & Picard, 1952), à raison d'un mètre par siècle. Lors de la mort de l'herbier de posidonie, ces mattes restent en place car elles sont peu putrescibles et sont alors dénommées "mattes mortes".

Selon les conditions du milieu, l'hydrodynamisme en particulier, la dynamique de croissance de la Posidonie peut conduire à des paysages et reliefs sous-marins particuliers : récifs-barrières qui émergent à marée basse (Molinier & Picard, 1952, Boudouresque & Meinesz, 1982), « herbiers tigrés », « herbiers de colline », « herbiers en escalier », « herbiers ondoyants » (Charbonnel *et al.*, 2000) ou encore herbiers en « tâches » ou en « mosaïque » qui caractérisent souvent le littoral du Languedoc-Roussillon.

Parmi les 5 espèces de magnoliophytes marines répertoriées en Méditerranée, la Posidonie est la plus développée et ses herbiers forment une ceinture quasi-continue tout autour de la Méditerranée (hors Méditerranée orientale), interrompue localement au niveau des estuaires, des grands fleuves et de leur zone d'épandage (Figure 1 :). En considérant que l'herbier occupe 1 à 2% des fonds de la Méditerranée (30% des fonds entre 0 et 50 m), sa surface peut être estimée à 35 - 37 000 km² (3.5 à 3.7 millions d'hectares, Rico-Raimondino, 1995 ; Pasqualini, 1997). Néanmoins, compte tenu de l'étroitesse du plateau continental, ces surfaces sont en fait relativement modestes, puisque 37000 km² correspondent à un carré de seulement 192 km de

¹ Tige souterraine qui croît horizontalement, par opposition aux rhizomes « orthotropes » croissant verticalement.

côté.

A l'échelle des côtes du Languedoc-Roussillon, la surface occupée par les herbiers, hors zones de matte morte, est très modeste puisqu'elle représente moins de 2 km².

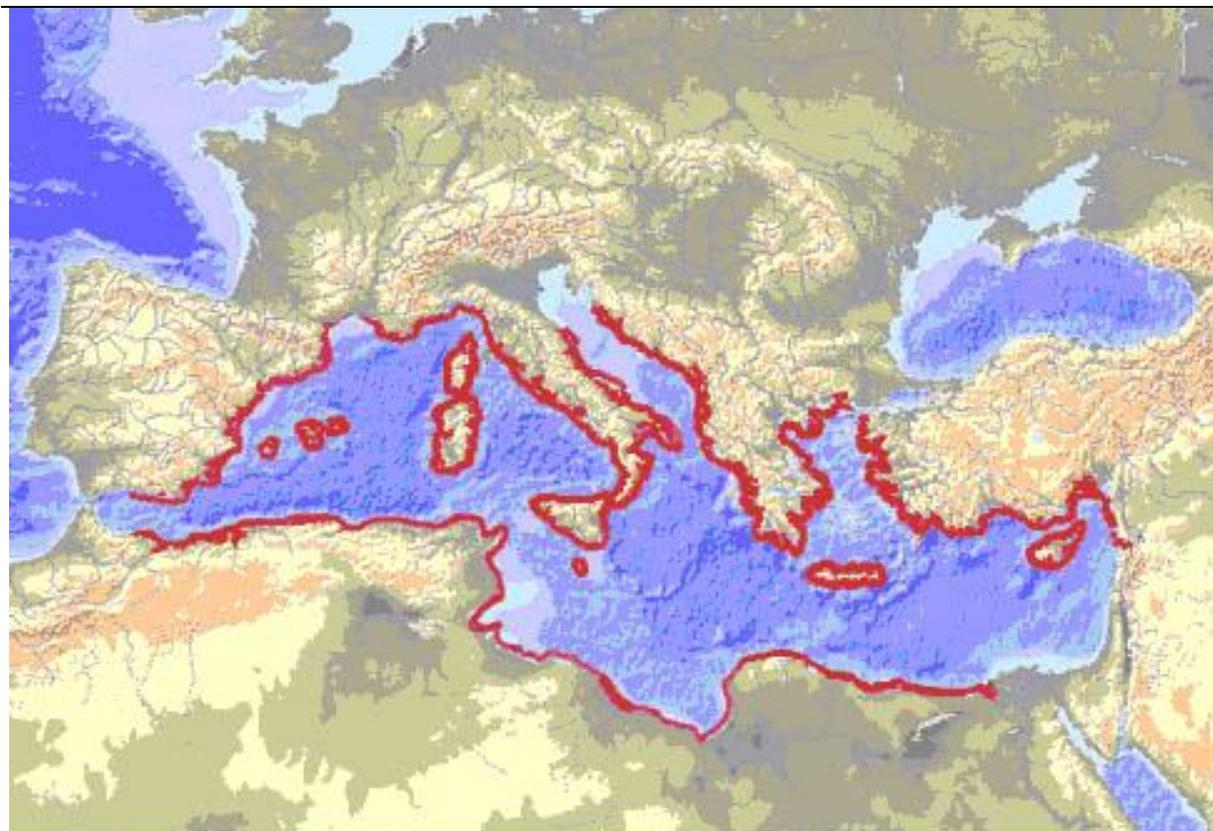


Figure 1 : Répartition de l'herbier de posidonies autour de la Méditerranée (d'après Pergent, com. pers, modifié).

2.2 Caractéristiques écologiques des herbiers de posidonies en Languedoc-Roussillon

Un état des lieux de la bibliographie concernant l'herbier de posidonies des côtes du Languedoc-Roussillon montre qu'ils ont été peu étudiés en comparaison des autres herbiers du littoral méditerranéen français. Si la première référence (Pruvot, 1894) date d'il y a plus d'un siècle, il a fallu attendre les années 1980 pour que les connaissances soient approfondies, cartographiées à l'appui (Cf. travaux de Pergent *et al.*, 1983, 1985 ; Pergent-Martini et Pergent, 1989).

Les conditions hydrologiques particulières, naturellement peu favorables au développement de la posidonie, rendent les herbiers du Golfe du Lion atypiques par rapport aux herbiers présents du reste de la méditerranée.

Les herbiers de la région Languedoc-Roussillon peuvent être considérés comme étant en limite de leur aire de distribution. La turbidité générale et récurrente des eaux contraint l'espèce à s'implanter dans les zones peu profondes (avec un maximum aux environ de 12m pour les herbiers du Languedoc et de 20m pour les

herbiers de la côte sud des Albères).

Les herbiers sont donc confinés dans des zones de faible profondeur et soumis à un hydrodynamisme fort, entraînant des « démantèlements » au sein de leur structure.

Il est ainsi observé pour l'ensemble de cette écorégion, des herbiers souvent discontinus pouvant former des mosaïques complexes, avec d'autres biocénoses, ou encore distribués en taches très éparées sans vraie limite inférieure ni supérieure (Figure 2).

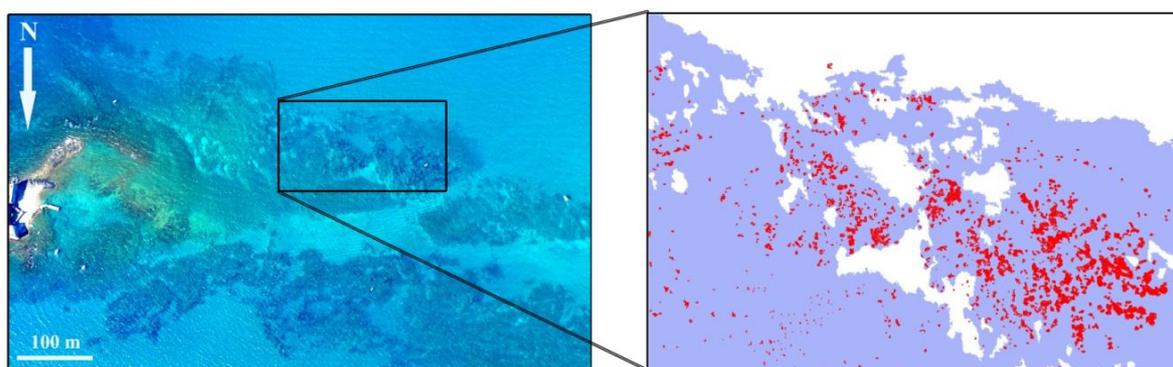


Figure 2: Herbier de posidonies en mosaïque (rouge), sur une zone de mattes mortes (Bleu) - site Posidonies du Cap d'Agde (Adena).

Sur le littoral du Languedoc-Roussillon, 2 grands ensembles à Posidonies ont été identifiés :

- Pour le littoral roussillonnais : les herbiers se trouvent sur la côte rocheuse des Albères, entre Cerbère et Argelès sur Mer.
- Pour le littoral languedocien : depuis Agde jusqu'à la Grande Motte.

2.2.1 Le littoral roussillonnais

L'étude la plus poussée concernant les herbiers du littoral roussillonnais, d'un point de vue inventaire et cartographique est celle menée par le laboratoire de l'EPHE de Perpignan (Lenfant *et al.*, 2004) pour le Conseil Général des Pyrénées Orientales, dans le cadre de l'inscription du site « Posidonies de la côte des Albères » au réseau Natura 2000. Les herbiers de posidonies ont ainsi été répertoriés et cartographiés à l'échelle 1/7 500^{ème}. Le type de formation en matte morte, en touffes denses, éparées ou isolées a, de plus, été détaillé.

Ce récent travail met en évidence des caractéristiques propres à l'herbier de posidonies de cette côte :

- Sur les 882 ha de fonds marins étudiés (dans une bande littorale de 500 m de large), l'ensemble des herbiers, matte morte comprise, occupe une surface d'environ 90 ha répartis sur 28 km de côte soit un carré de 0.95 km de côté, ce qui représente 10% du littoral étudié sur cette zone.

- Ces herbiers présentent souvent une structuration particulière «en mosaïque» qui est peu observée sur le reste des côtes françaises.
- Les Posidonies s'y trouvent implantées dans des conditions hydrologiques particulières, naturellement peu favorables à leur développement :
 - o La turbidité ambiante induit une remontée de la limite inférieure de l'herbier (- 20 m, au lieu de - 40 m pour certaines eaux plus transparentes de la région PACA ou Corse). Celui-ci ne peut se développer plus en profondeur par manque de lumière. L'herbier est donc confiné dans une limite inférieure relativement superficielle et une limite supérieure soumise au très fort hydrodynamisme caractéristique de ce secteur.
 - o Ce fort hydrodynamisme associé au déficit sédimentaire sur la côte rocheuse empêche l'herbier d'édifier une matre épaisse. C'est la raison pour laquelle il apparaît plutôt sous forme d'un placage sur roche, en mosaïque. Dès qu'il retrouve des conditions plus favorables, anses protégées et substrat sableux, l'herbier se développe de manière homogène sur de vastes étendues.

2.2.2 Le littoral languedocien

Les herbiers de posidonies du Languedoc ont fait l'objet d'une étude descriptive et comparative par le CEGEL (Collart *et al.*, 2004). Ce travail comporte une synthèse bibliographique des études réalisées depuis 1995 par cet organisme (cartographies, expertises réalisées en plongée et suivis annuels de l'état de santé des principales zones d'herbier).

Il en ressort que les herbiers du Languedoc présentent un certain nombre de particularités structurelles et dynamiques spécifiques :

- Structure morcelée constituée de taches de Posidonies vivantes de dimensions et de formes variables, disposées en mosaïque avec des zones de matre morte, des zones mobiles de sables et graviers coquilliers et des éléments rocheux (roches affleurantes, galets plats) ;
- Faible recouvrement des taches de Posidonies vivantes à l'intérieur des herbiers résiduels ;
- Fortes densités de faisceaux mesurées à l'intérieur des taches de Posidonies, particulièrement dans le secteur des Aresquiers.

Le suivi des herbiers à posidonies dans le secteur d'Agde est assuré par l'Adena, animateur du site Natura 2000 « Posidonies du Cap d'Agde ». C'est l'un des plus anciens suivis dans la région ayant une méthodologie standardisée. Les premières mesures datent de 2001. En 2009, un retour sur site faisant suite au suivi de 2005 montre une augmentation de la surface de recouvrement des herbiers dans le site de suivis au sein des carrés permanents. Ces résultats sont encourageants pour la suite et traduisent la bonne qualité du milieu et les efforts de gestion au sein de ce site.

Le site « Posidonies de la côte palavasienne » FR9101413 a déjà fait l'objet de cartographies dans le cadre d'études ponctuelles spécifiques à l'étude de l'herbier de posidonies (Avril *et al.*, 1984, Collard *et al.*, 2004) ou dans le cadre d'étude d'impact sur une zone limitée (Impact de la mise en place d'un émissaire, Créocéan, 2004). Les herbiers de la côte palavasienne ont fait aussi l'objet de plusieurs suivis ponctuels spécifiques par des bureaux d'étude tels que Créocéan, l'Œil d'Andromède et le Cegel. La cartographie la plus récente des herbiers a été réalisée en 2007 par l'Œil d'Andromède.

2.3 Importance de l'écosystème à *Posidonia oceanica*

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

- L'herbier de posidonies représente un pôle de biodiversité important : 20 à 25% des espèces animales et végétales connues en Méditerranée y sont observées, soit plusieurs milliers d'espèces (Boudouresque *et al.*, 1994). Ces espèces sont présentes de façon permanente ou temporaire et utilisent l'herbier comme zone de nutrition, de reproduction des adultes, de recrutement et de développement pour les juvéniles et d'abri nocturne ou journalier (Ledoyer, 1968 ; Harmelin-Vivien, 1983). La biodiversité est d'autant plus importante dans l'herbier que sa complexité structurale est élevée (longues feuilles, alternance herbier/roches, présence de structures érosives - tombants de matte, intermattes – et édification d'une matte).
- L'herbier intervient sur la qualité des eaux littorales, grâce à une importante production d'oxygène (jusqu'à 14 l/j/m² ; Bay, 1978) et sur leur transparence par le piégeage des particules en suspension (Blanc & Jeudy de Grissac, 1984).
- La production primaire de biomasse végétale, à la fois celle de la Posidonie elle-même et celle des épiphytes des feuilles, est très importante (Libes, 1984), comparable à celle d'une forêt tropicale ombrophile, soit plus de 20 tonnes/ha/an. Une grande partie de cette production (près de 40%) est exportée vers d'autres milieux, côtiers et profonds, sous forme de litière ou de banquettes de feuilles mortes (Boudouresque *et al.*, 1994, Rico-Raimondino, 1995). L'herbier de posidonies est un écosystème unique car il juxtapose une production végétale à recyclage lent (la posidonie) et rapide (algues épiphytes), ce qui explique son exceptionnelle richesse (Boudouresque, 1996). La production de biomasse animale est également très importante dans l'herbier (Kikuchi & Pérès, 1973 ; Kikuchi, 1980 ; Francour, 1990). Cette formidable production végétale et animale a pour effet d'attirer et de

concentrer une faune variée, en particulier des poissons, souvent d'intérêt économique pour la zone littorale concernée (Bell & Harmelin-Vivien, 1982 ; Francour, 1990 ; Harmelin-Vivien *et al.*, 1995).

- L'herbier joue également un rôle fondamental dans la protection hydrodynamique de la frange côtière et des plages, par atténuation de 50% de la puissance des vagues, de la houle et des courants. Les fonds sableux sont ainsi stabilisés par la fixation des sédiments dans le lacis des rhizomes constituant la matte (Boudouresque & Jeudy de Grissac, 1983 ; Jeudy de Grissac, 1984 ; Jeudy de Grissac & Boudouresque, 1985). Sans cette protection contre l'érosion, le profil d'équilibre des rivages sableux serait fortement modifié. D'ailleurs, de nombreuses communes littorales sont confrontées au problème d'érosion des plages, suite à la régression des herbiers situés au large, qui ne peuvent plus directement assumer ce rôle d'atténuation de l'hydrodynamisme. Des budgets conséquents sont ainsi annuellement consacrés par les communes à un apport régulier de sable pour compenser l'érosion systématique de leurs plages, ainsi qu'à la construction et la mise en place de structures lourdes du type digue et brise-lame

En résumé, l'ensemble des travaux scientifiques consacrés à l'herbier de posidonies, ainsi que les observations des différents services en charge de l'aménagement, de la gestion et de la protection du littoral, font apparaître que la préservation des herbiers est un élément majeur du maintien des équilibres littoraux, tant biologiques que physiques.

2.4 Les menaces

La vocation touristique, portuaire, urbaine et industrielle du littoral méditerranéen nord occidental, induit des nuisances diverses sur le milieu marin et en particulier sur l'herbier de posidonies. Au cours des dernières décennies, les scientifiques et les administrations concernés par la gestion et la protection des espaces littoraux ont pris conscience de la régression quasi-généralisée de l'herbier de posidonies sur cette partie du littoral Méditerranéen. En effet, son recul a été mis en évidence tout au long des côtes dans de nombreux secteurs de Méditerranée, essentiellement aux abords des agglomérations et des grands centres industriels et portuaires en France (Astier, 1984 ; Nieri *et al.*, 1988 ; Nieri, 1991 ; Picard, 1978 ; Boudouresque, 1996), en Espagne (Ramos-Espla *et al.*, 1994) et Italie (Bianchi & Peirano, 1995). Mais l'herbier régresse aussi dans des secteurs relativement éloignés des grands centres urbains, comme par exemple dans certains secteurs en Corse.

Cette régression de l'herbier de posidonie peut résulter de causes multiples (Boudouresque & Meinesz, 1982 ; Pérès, 1984) :

- Aménagements littoraux gagnés sur la mer et restructurations de la ligne de rivage,
- Pollutions des eaux par les rejets industriels (détergents, métaux lourds) et par les zones portuaires (relargage des peintures anti-fouling, eutrophisation des plans d'eaux),
- Apports continentaux et rejets pluviaux,

- Mouillages des ancres, forains ou organisés,
- Engins de pêche (chalutage),
- Aquaculture,
- Espèces introduites (*Caulerpa taxifolia*),
- Utilisation d'explosifs.

Ces régressions sont essentiellement liées aux activités humaines, mais des causes naturelles peuvent également intervenir, comme le surpâturage par des herbivores tels que l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* ou la saupe *Sarpa salpa* (Verlaque, 1987 ; Ferrari, 2006). Il convient d'insister sur le fait que même si les causes de régression ont cessé d'agir, la recolonisation naturelle par l'herbier des surfaces perdues est très lente. Par exemple, près de Marseille, une surface de 1,13 ha détruite par une bombe en 1942 n'est pas entièrement recolonisée 50 ans après (Pergent-Martini *et al.* 2002). Ainsi, les vastes régressions de l'herbier enregistrées en particulier au voisinage de zones urbaines et portuaires peuvent être considérées comme irréversibles à l'échelle humaine.

2.5 Protection légale de l'herbier de posidonies

L'importance écologique des herbiers de posidonies rend leur régression particulièrement préoccupante. C'est la raison pour laquelle la Posidonie apparaît sur les listes d'espèces menacées, bien que ce ne soit pas l'espèce en elle-même qui soit menacée mais l'écosystème qu'elle édifie (Boudouresque *et al.*, 1994). L'urgence d'une protection légale et d'une gestion raisonnée du domaine littoral a débouché sur plusieurs initiatives législatives au niveau national et communautaire :

- Arrêté de protection de la Posidonie en tant que plante (19 juillet 1988, J.O. du 09 août 1988), dans le cadre de la Loi du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature. Cet Arrêté stipule qu'il est interdit « de détruire, de colporter, de mettre en vente, de vendre ou d'acheter et d'utiliser tout ou partie » de la plante.
- Prise en considération de l'herbier de posidonies en tant que biotope dans le Décret d'application (n°89.694 du 20 septembre 1989) de la « Loi littoral » n°86.2 du 3 janvier 1986. Ce décret d'application impose notamment la réalisation d'une notice d'impact spécifique sur le milieu marin, et en particulier sur l'herbier de posidonies, pour tout projet d'aménagement littoral. De plus, la présence d'herbiers doit également être prise en compte dans les dossiers d'aménagement et les études d'impact (Loi sur l'eau n° 92.3 du 3 janvier 1992 ; Loi relative à la protection de la nature n°76.629 du 10 juillet 1976).
- La Directive de l'Union Européenne du 21 mai 1992 (92/43/CEE) sur la conservation des habitats naturels et de la faune et la flore sauvage (dénommée "Directive Habitats") inclut les herbiers de posidonies dans son Annexe 1 ("Natural habitat types of Community interest whose conservation requires the designation of special areas of conservation"), avec la mention "priority habitat type".

- La Posidonie apparaît dans les Annexes des Conventions de Barcelone et de Berne relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe, ratifiée par la France (Décret n°99-615 du 7 juillet 1999). Lors de la 11^{ème} réunion des parties contractantes à la Convention de Barcelone (octobre 1999), un projet de Plan d'Action pour la conservation de la végétation en Mer Méditerranée a été adopté, dans le but d'assurer notamment la conservation des herbiers de posidonies par l'élaboration de législations nationales, la réalisation d'inventaires cartographiques et la mise en place de Réseaux de Surveillance (Pergent-Martini *et al.*, 2000 ; Boudouresque *et al.*, 2000).
- Enfin, les herbiers marins sont pris en compte par l'Unesco, depuis la conférence de Rio en 1992 (Agenda 21) et les états participants à la Conférence sur la Sécurité et la Coopération en Europe (CSCE, Paris, 1991) se sont engagés à « adopter toutes les mesures appropriées pour la protection des peuplements de *Posidonia oceanica*.... et à contrôler et réglementer la pêche au chalut et les autres activités entraînant la destruction des Posidonies et de toutes les autres phanérogames marines ».

Hormis sa protection en France, l'herbier de posidonies, ainsi que l'ensemble des magnoliophytes marines sont également protégés en Espagne : Catalogne (Ordre du 31 juillet 1991) et Comunidad Valenciana (Ordre du 23 janvier 1992). D'autres pays tels que que l'Algérie, l'Italie, la Slovénie et la Turquie ont pris des dispositions juridiques de protection des herbiers de posidonies.

2.6 Importance économique

La protection et la gestion du patrimoine naturel que constituent les herbiers de posidonies représentent, outre un enjeu écologique majeur pour la préservation de la biodiversité et de l'intégrité des écosystèmes, un enjeu économique prioritaire. Ces herbiers sont en effet non seulement garants des ressources marines exploitées par la pêche professionnelle (petits métiers) mais également de la qualité globale du milieu marin littoral, et donc du maintien de la fréquentation touristique.

Une part importante de l'activité économique des régions côtières est, directement ou indirectement, axée sur le tourisme littoral : infrastructures balnéaires et portuaires, navigation de plaisance, plongée sous-marine, etc. Outre le critère de choix essentiel pour les vacanciers que constitue la qualité des eaux littorales, cette qualité est également primordiale pour la qualité de la vie des populations riveraines, chez qui la mer tient une très grande place. La surveillance de la qualité de ce milieu est donc indispensable.

3 Méthodologie de la démarche Posidonies intersites

Dans le cadre de la mise en place d'un suivi pluriannuel des herbiers identifiés dans les différents sites Natura 2000 du Languedoc-Roussillon mais également pour alimenter la démarche DCE, il a été demandé par les gestionnaires de sites, les collectivités territoriales (Conseil Régional LR, Conseil Général 66), les services de l'Etat concernés par ce suivi (DREAL) et les établissements publics (Agence de l'Eau et Agence des Aires Marines Protégées), un travail de réflexion pour proposer une méthodologie commune de suivi des herbiers de posidonies et tenant compte des dernières avancées technologiques. Lors de la présentation des différentes métriques à suivre, une présentation des nouvelles techniques sera faite.

La plupart des mesures qui vont être présentées sont simples à mettre en œuvre et peu coûteuses pour les gestionnaires (Boudouresque *et al.*, 1990). Certaines, comme la phénologie et la densité, utilisées depuis longtemps dans de nombreuses études en Méditerranée, permettent d'observer une évolution temporelle de l'intégrité de l'herbier. D'autres techniques nécessitent l'acquisition de matériel ou de la sous-traitance pour une expertise spécifique.

Les méthodes du suivi de l'état de conservation retenues dans ce travail d'harmonisation ont été déclinées selon les recommandations du Muséum d'histoire naturelle (Lepareur, 2011), afin :

- **D'évaluer l'aire de répartition et les surfaces occupées des herbiers de posidonies, ainsi que leur évolution au cours du temps (stabilité, augmentation, etc.)**
- **D'évaluer l'état de conservation des herbiers de posidonies : structures et fonctions spécifiques nécessaires au maintien à long terme de ces herbiers, ainsi que leur évolution au cours du temps**
- **D'identifier et évaluer les menaces risquant d'influer sur le bon état de conservation des herbiers et pouvoir prendre les mesures de gestion adaptées.**
- **Eventuellement évaluer le statut de conservation des espèces typiques (voire protégées) associées aux herbiers.**

3.1 Détermination de l'aire de répartition et superficie des herbiers

Afin de répondre aux critères concernant la répartition surfacique des herbiers, deux échelles de rendu ont été définies et différentes techniques peuvent être employées. Chacune des échelles proposées permettra d'identifier et de corrélérer au mieux l'état de conservation, les impacts, et les mesures de gestion.

Echelle définie :

- A l'échelle du site Natura 2000 : Cartographie de l'ensemble des herbiers au sein du site Natura 2000
 - o : méthode par fusion multi-capteurs
- A l'échelle de chaque herbier pour effectuer un suivi plus fin des zones particulières :
 - o Cartographies des zones sensibles (choisies pour leur risque potentiel d'évolution rapide) : Positionnement acoustique
 - o Micro-cartographies de zones de références (choisies car représentatives du site et suivies à haute fréquence) : carré permanent

Chacune des méthodes retenues permettra de caractériser **le degré de fragmentation des herbiers**. La méthode par fusion multicapteurs, le positionnement acoustique et le carré permanent sont autant de méthodologies de pointe permettant d'établir une représentation cartographique faisant apparaître le morcellement de l'herbier.

3.1.1 Cartographie à l'échelle du site Natura 2000

3.1.1.1 Les moyens de cartographie sous-marine

Les moyens de détection acoustique sous-marine restituent en premier lieu les propriétés acoustiques du substrat et fournissent un préalable à la cartographie des habitats. Certaines techniques permettent d'accéder à une connaissance exhaustive de la bathymétrie et de la réflectivité du fond ; c'est le cas pour la méthode dite de « fusion multicapteurs » qui consiste à utiliser plusieurs capteurs en même temps ou en temps différé sur une même cible.

Les Sondeurs Multi-Faisceaux (SMF), les Sonars à Balayage Latéral (SBL), d'une part et d'autres part les sondeurs monofaisceau qui n'enregistrent les caractéristiques du fond qu'à la verticale des capteurs comme c'est le cas avec les Systèmes Acoustiques de Classification Automatique des Fonds (SACLAF) ou encore la sismique UHR (Figure 3), peuvent être couplés ensemble dans ce type d'approche.

Dans cette chaîne d'instrumentation chaque capteur joue un rôle spécifique. En augmentant le nombre (et la nature) des capteurs, l'ensemble des informations collectées permet une meilleure compréhension du milieu exploré.

La précision théorique sur le fond varie en fonction de la fréquence et de la géométrie des émetteurs; de quelques décimètres (SBL), à 1 m (SMF) voire plusieurs mètres (SACLAF) (Annexe 1).

L'approche acoustique doit être validée par des techniques de « vérités terrain » qui permettent d'observer la surface et la nature des fonds, soit directement par vidéo ou par plongeur, soit indirectement par prélèvements à la benne.

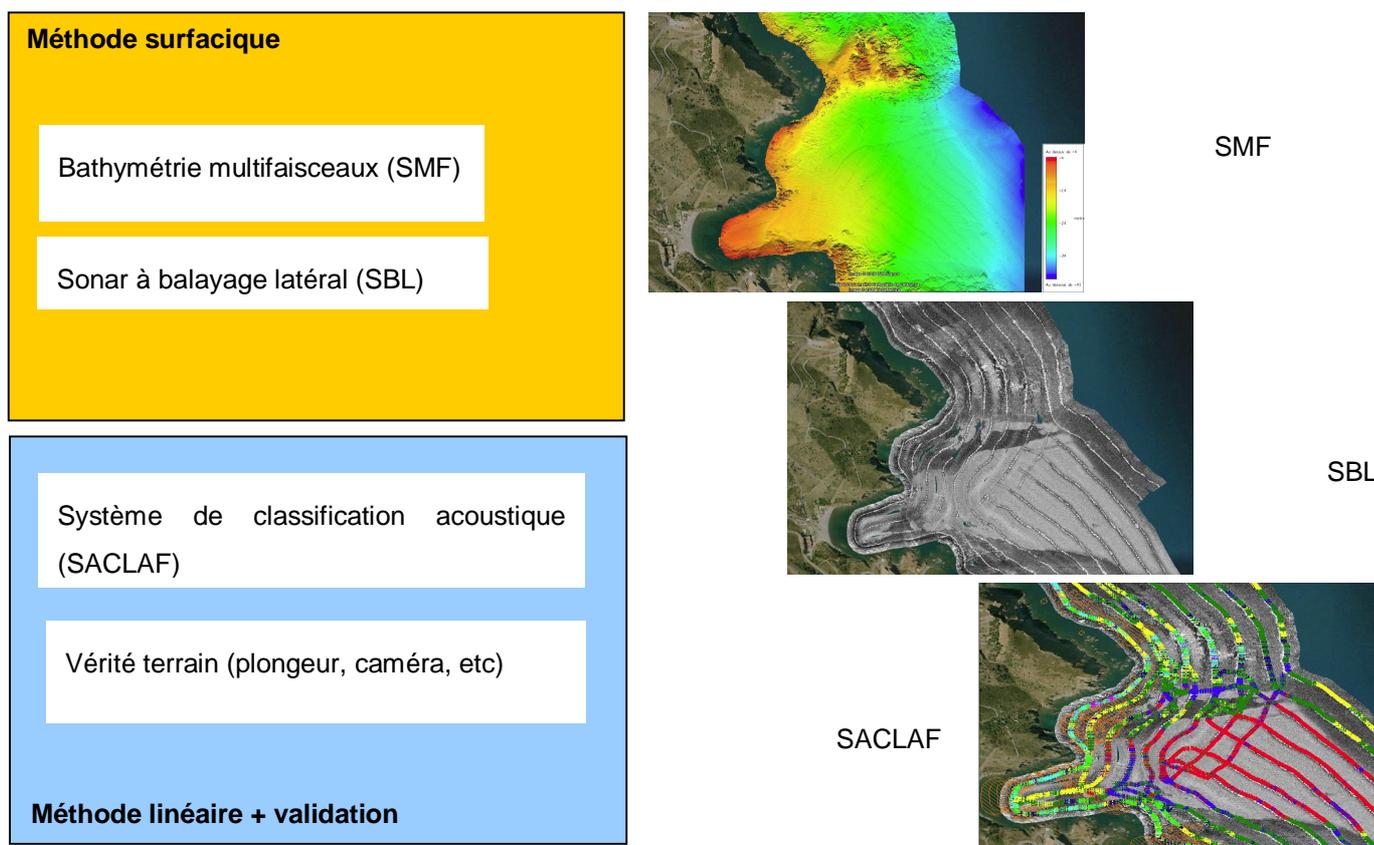


Figure 3 : Présentation des différentes techniques d'acquisition pour l'évaluation de l'aire de répartition.

La stratégie consistant à aborder la cartographie des habitats avec les méthodes acoustiques est complexe compte tenu de leur mise en œuvre et des moyens humains et matériels à engager. Chacun des systèmes, pris séparément, n'a pas la prétention de fournir l'ensemble des informations requises pour obtenir une cartographie pertinente des habitats.

Seule la **combinaison** de ces moyens permet d'accéder à un niveau de confiance suffisant pour définir, au final, les délimitations des peuplements benthiques (Figure 4). Les combinaisons des systèmes sont donc multiples mais demandent dans chacune des options choisies, le couplage **d'un système acoustique à un système d'observation directe du fond**. Sur ce principe fondamental, le choix et la combinaison des techniques dépendront :

- de la taille et de la complexité de la zone à explorer (échelle de profondeur, relief),
- de la résolution recherchée (précision décimétrique, métrique, décamétrique),
- du temps mission disponible,
- et des moyens financiers consacrés au projet.

Le choix des moyens acoustiques et du type d'embarcation est conditionné par la morphologie du fond et la bathymétrie, notamment dans la bande littorale. En région Languedoc-Roussillon, les herbiers s'échelonnent entre 3 et 20 m de fond, il est donc conseillé d'opérer avec une embarcation à faible tirant d'eau et facilement manœuvrable.

Autre avantage, outre la cartographie des herbiers, cette méthode permet d'établir une cartographie de l'ensemble des biocénoses sur les zones d'acquisitions et permet ainsi au gestionnaire une actualisation biocénotique de son site. A noter toutefois que des vérités terrains sont **toujours nécessaires** afin de calibrer la méthode avant le post traitement général des données

MISE EN COHERENCE DES METHODES DE SUIVIS DES HERBIERS A POSIDONIES AU SEIN DES SITES NATURA 2000 MARINS EN LANGUEDOC-ROUSSILLON.

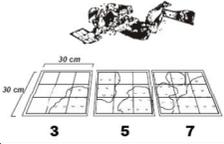
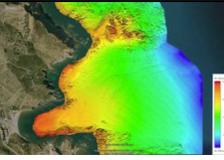
Méthodes	Images	Coût	Couverture	Géo-référencement	Profondeur	Identification herbier	Vitesse d'acquisition	Qualité de la donnée (mer agitée, courant..)
Plongeur				métrique (GPS)	Petits fonds			
Images aériennes					Petit fonds	Difficulté d'interprétation des niveaux de couleur		Turbidité, vent de surface
Sonar latéral (SBL)		Sonar+ centrale d'acquisition + logiciel		Positionnement déporté du sonar	Difficulté dans les petits fonds	Erreur d'interprétation des niveaux de gris ou à dire d'expert		
Système multifaisceaux (SMF)						Pas d'interprétation possible		Calibration (célérité, salinité, altitude du bateau)
Système automatisé de classification des fonds (SACLAF)			Verticale					Etat de la mer, changement de Cap...

Figure 4 : Tableau synthétique des performances pour l'évaluation de l'aire de répartition des herbiers à posidonies
Rouge : peu performant, Orange : moyennement performant, Vert : très performant (modifié selon Noel *et al*, 2005).

3.1.1.2 Exemple d'interprétation et de rendu cartographique par fusion multi capteurs (SMF, SBL, SACLAF, Sismique UHR)

Le principe de cette méthode est basé dans un premier temps sur l'imagerie sonar (SBL) et bathymétrique (SMF) afin de détourner à partir de cette image des zones de réponses acoustiques homogènes.

Ces zones sont ensuite validées par les vérités terrain de contrôle, puis classifiées de façon automatisées à l'aide d'un échosondeur (SACLAF), fonctionnant à différentes fréquences acoustiques. La réverbération des signaux acoustiques est propre à chaque biocénose et constitue une signature unique (Figure 5). Cette spécificité permet de différencier les signatures acoustiques des fonds et assure la faisabilité de la détection acoustique des herbiers.

Une des limites de cette méthode est la classification d'un herbier sur roche. La signature acoustique de la roche étant plus marquée que celle de l'herbier, il est actuellement impossible de faire le distinguo entre les deux.

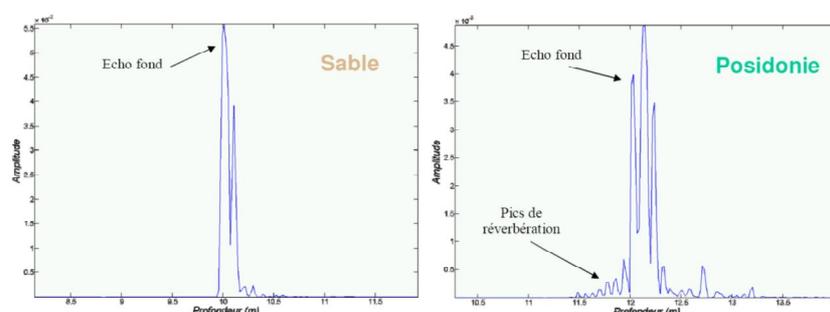


Figure 5 : Exemple de réponses impulsionnelles mesurées (Noel *et al*, 2005)

Le contrôle à l'aide de l'échosondeur (SACLAF) constitue un atout indispensable dans l'interprétation de l'imagerie sonar réduisant par la même occasion le nombre de vérités terrain. En effet, l'interprétation des imageries sonars est très complexe et peu comporter des erreurs. Certaines nuances de gris peuvent être sensiblement différentes d'un profil à l'autre, notamment lorsqu'ils n'ont pas la même orientation. La variation de l'amplitude du signal, pour une même zone ou un même type de fond, pose des problèmes au moment de sa classification. Parfois des variations sédimentaires telles que l'augmentation progressive de la teneur en vase dans un sédiment sableux ou la présence d'un herbier avec une canopée aplanie, ne sont pas ou mal perçues sur les enregistrements de l'imagerie du sonar. Le contrôle à l'aide de l'échosondeur (SACLAF) facilite ainsi l'interprétation des données

Le rendu bathymétrique permet aussi dans certains cas de visualiser après modélisation en 3D le relief sous-marin. Dans certains cas, quand la canopée des herbiers est suffisamment importante, il est possible de distinguer les zones sableuses des zones à herbiers (Figure 6).

La mise en œuvre de cette méthode est donc à privilégier en période estivale (mai à septembre), période durant laquelle la longueur des feuilles est la plus importante.

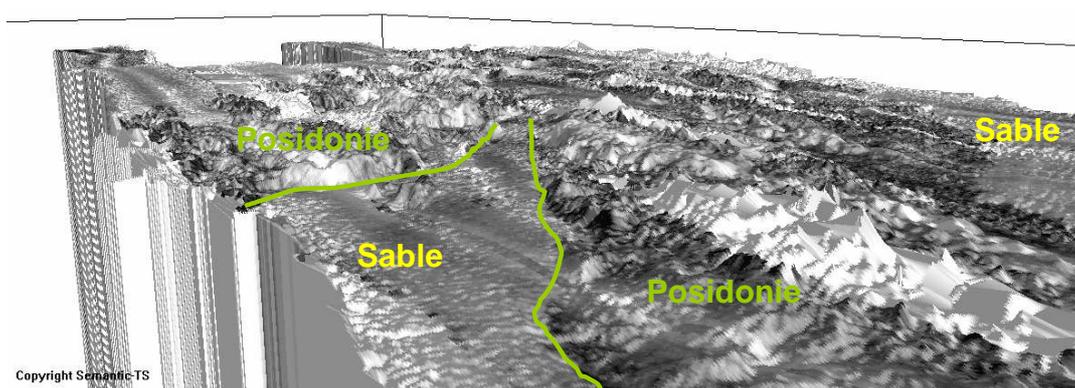


Figure 6 : Echographie 3D du fond dans l'aire marine agathoise (Noel et al, 2010)

La sismique UHR se place en complément des techniques décrites précédemment. La prospection sismique permet d'imager la structure de l'herbier et le type de substrat sur lequel il se développe.

Basée sur l'utilisation d'une source acoustique ayant une résolution verticale centimétrique et d'une pénétration dans les sédiments de plusieurs mètres (en fonction de la nature des sédiments), cette méthode permet de distinguer les faisceaux de feuilles, l'épaisseur de la matte et la nature du substrat.

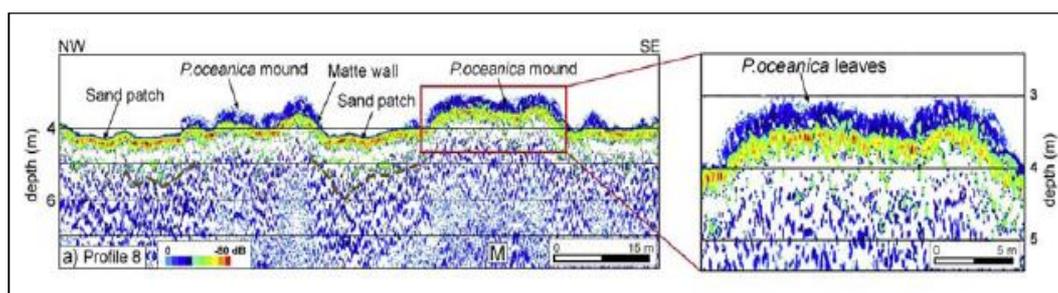


Figure 7: Exemple de profil Chirp SES-2000Compact d'innomar à travers un herbier, permettant de distinguer les feuilles des posidonies (en bleu) et la matte (en vert). (Claudio Lo Iacono et al. 2008).

En conclusion, trois facteurs importants sont donc à considérer pour choisir les systèmes acoustiques (SMF, SBL, SACLAF, Sismique UHR) les plus appropriés pour la cartographie des herbiers :

- la taille de la zone,
- la gamme de profondeur,
- l'échelle de détectabilité des « objets » recherchés

Etant donné les moyens importants qui sont nécessaires pour réaliser des cartographies à l'aide de fusion multicapteurs, il paraît intéressant de proposer une campagne la première année de la mise en place du suivi puis lors de l'évaluation du DOCOB au bout de 6 ans.

3.2 Cartographies à l'échelle de chaque herbier

Etant donné le pas de temps préconisé pour la méthode par fusion multi capteurs, il paraît indispensable de suivre plus régulièrement les évolutions potentielles au sein des différents herbiers. Or, contrairement aux herbiers présents en région Provence Alpes Côte d'Azur (PACA), ceux du Languedoc-Roussillon ont une morphologie dite en "mosaïque". Cette configuration permet difficilement l'utilisation de métriques, couramment utilisées en PACA, telles que la profondeur ou le type de limite inférieure et supérieure. Pour réaliser ce type de suivi à l'échelle de l'herbier plusieurs techniques peuvent être employées.

3.2.1 Télémétrie acoustique

L'objectif est de suivre de façon assez rapide l'évolution de zones sensibles de chaque herbier tous les 2 ans par des cartographies d'environ 500 m² (carré de 20m x 25m s'enfonçant dans l'herbier) en incluant lorsque cela est possible la limite inférieure de l'herbier tout en prolongeant la cartographie au cœur de l'herbier.

Cette cartographie peut être réalisée à l'aide d'un système de positionnement local subaquatique basé sur un principe d'interférométrie acoustique 3D (ex : AQUA-METRE D100 (PLSM)), (Descamp *et al.*, 2009). La portée est de 150 mètres de rayon. C'est un système simple à mettre en œuvre, complètement autonome (indépendant de la surface). La préparation de la plongée ainsi que la récupération des mesures se font par l'intermédiaire d'un PC et d'une liaison infrarouge. Le système est auto-calibrant et ne nécessite pas de sonde de célérité (mesure de la célérité acoustique lors de l'initialisation). Le positionneur acoustique est composé des éléments suivants : une base de mesure (origine du repère cartésien) montée à l'extrémité d'un mât, associée à un cadre interférométrique (correction de la non verticalité) et un pointeur mobile sur canne (permettant une bonne réception du signal et une vision d'ensemble de la zone à cartographier). Le plongeur utilise le mini clavier et l'écran à cristaux liquides pour pointer les limites de l'herbier et de les stocker en mémoire (Figure 8). L'augmentation de précision se fait par l'accumulation de relevés sur le même point (maximum 10). La base accepte jusqu'à huit pointeurs simultanément permettant ainsi d'augmenter la rapidité des relevés des zones à cartographier. Les points sont ensuite transférés sur SIG.

Afin de pouvoir repositionner la base lors des différents suivis, un repère fixe doit être positionné sur le site : ancrage fixe, roche...

Il est recommandé de réaliser un point au maximum tous les 40cm.

A noter que le système fait preuve d'une précision relativement fiable pour des distances pointeur/base comprises entre de 2 et 20 m :

- A dix mètres de la base, la précision de +/- 0,1° conduit à une erreur de +/- 1,7 cm.
- A 100 mètres, l'erreur devient +/- 17 cm.

La dynamique de progression d'un herbier étant de l'ordre de 1 à 2cm par an, il est donc conseillé pour des herbiers de grandes étendues, de déplacer la base afin de rester dans une limite inférieure à 50 m entre la base et le pointeur.

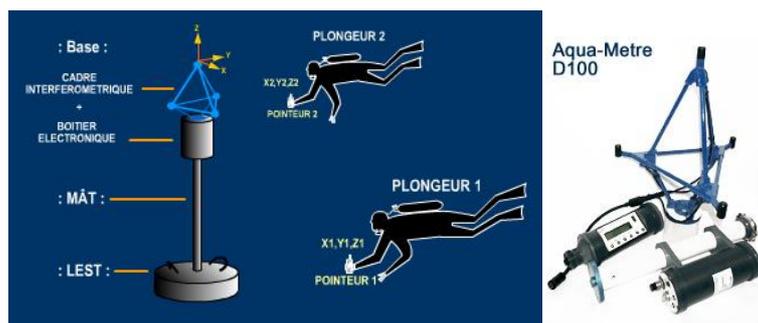


Figure 8: Principe du télémètre acoustique sous-marin (PLSM).

3.2.2 Micro-cartographie : carré permanent

Afin d'étudier la dynamique de ces herbiers dans le temps, tout en intégrant la notion de recouvrement² ou de surface colonisée, il est nécessaire de délimiter une zone de surface connue dans laquelle la mosaïque de Posidonie est étudiée. Pour cela, un carré dit "**permanent**" est utilisé afin de mettre en évidence une progression ou une régression de l'herbier (Foulquié & Dupuy de la Grandrive, 2004 ; Boudouresque *et al.*, 2006).

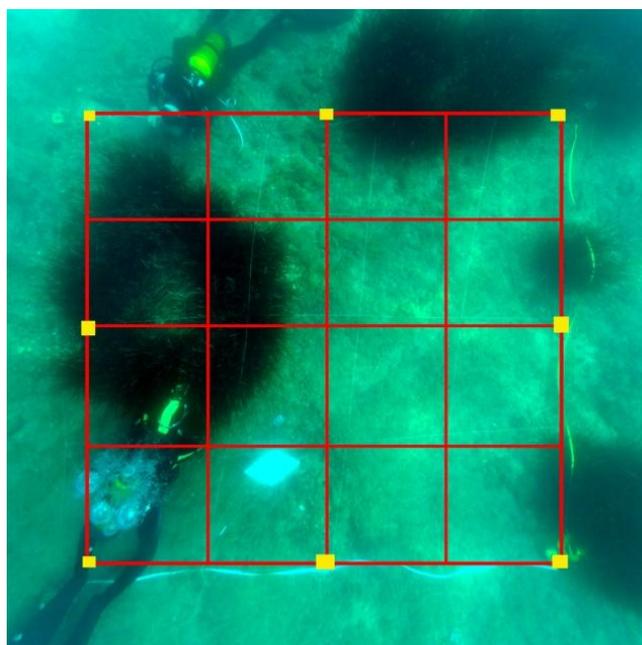


Figure 9: Balisage d'un carré permanent sur l'herbier des Mattes au Cap d'Agde. Borne FENO™ en jaune (ADENA).

² le recouvrement correspond au pourcentage d'une surface donnée occupée par la posidonie (Pergent, 2007)

Les carrés permanents sont disposés sur une zone représentative de l'herbier, dite zone de référence. Ils sont matérialisés par un balisage pérenne formant des carrés de 4m x 4m (Figure 9).

La pose des balises s'effectue au moyen d'une masse, d'un outil d'enfoncement et d'un mandrin (voir dessins 1 à 6, ci-dessous).

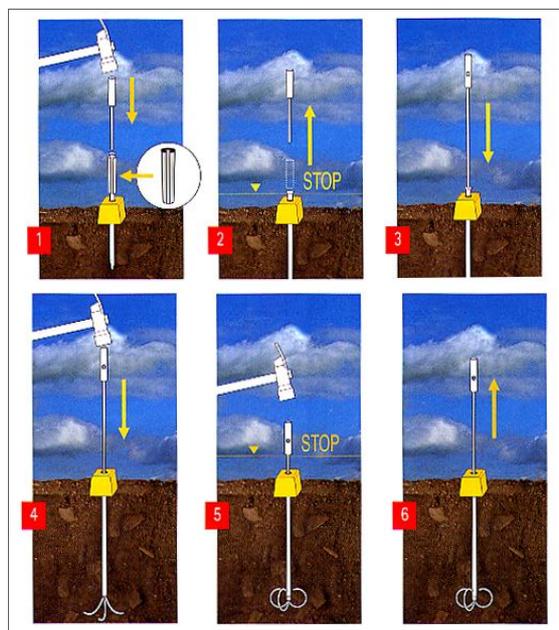


Figure 10 : Principe de la pose d'une borne FENO™ .

Ces balises sont maintenues grâce à une amarre spécifique qui leur assure un bon ancrage dans le substrat, ici la matre de Posidonies. Cette dernière doit donc être suffisamment épaisse et compacte pour permettre d'enfoncer l'amarre sur toute sa longueur (environ 450 mm) et de déployer le système de grappin (3 tiges à haute résistance) pour parfaire l'accroche du dispositif (Figure 11).

Le carré est repéré sur le fond par 4 balises aux 4 coins et 1 balise intermédiaire sur chacun des côtés du carré (8 balises en tout).



Figure 11: Mise en place d'une balise dans l'herbier de posidonies (ADENA).

A l'intérieur de ces carrés permanents trois méthodes de cartographie peuvent être utilisées :

- La première consiste à établir une couverture photographique du carré, permettant un premier repérage du positionnement des taches au sein du carré permanent. En aucun cas, cette méthode ne peut être retenue pour établir une comparaison spatiale des taches dans le temps. Seules les deux autres méthodes suivantes sont assez précises pour cet exercice.

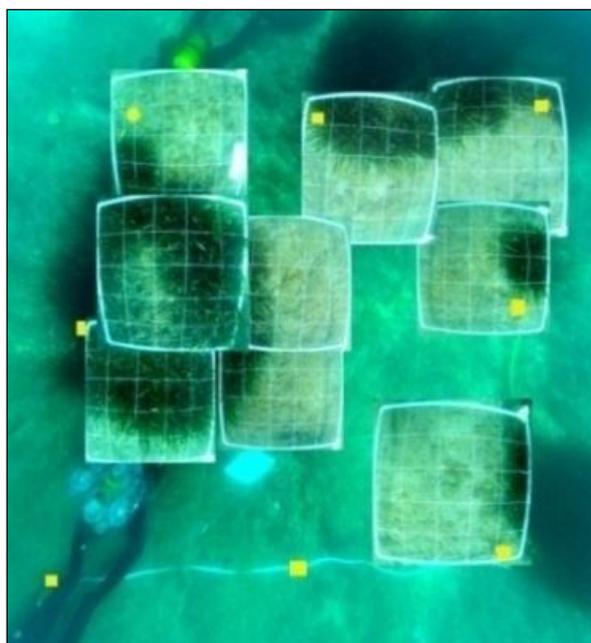


Figure 12: Superposition de planches photographiques verticales d'un carré permanent (ADENA).

- La deuxième méthode utilise le système de positionnement local subaquatique basé sur le principe d'interférométrie acoustique 3D (décrit précédemment).
- La troisième méthode est basée sur le principe de triangulation qui consiste à situer un point par rapport à trois repères fixes. Ici les trois repères sont les angles du carré permanent concerné, ainsi plusieurs points en limite extérieure des tâches de posidonies sont mesurés puis repositionnés.

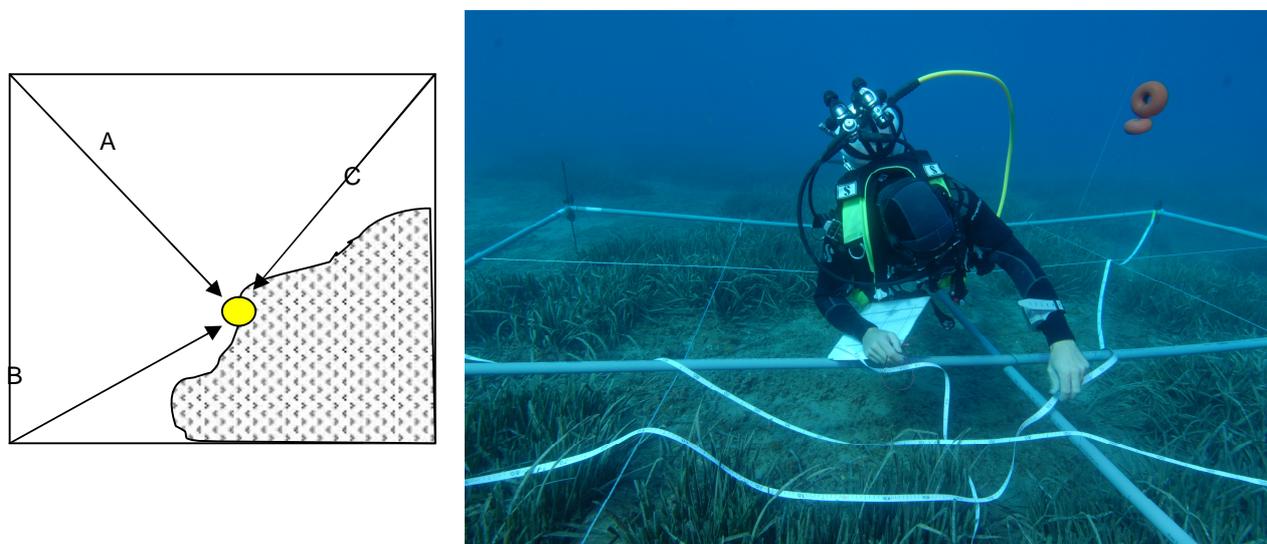


Figure 13: (Droite) Principe de mesure par triangulation- A, B, C correspondent aux distances entre les l'un des angles du carré et le point de positionnement. (Gauche) Plongeur effectuant des mesures (ADENA).

La couverture photographique permet l'interprétation hors plongée des différentes macrostructures de l'herbier (rhizome traçant, chenaux d'érosion, etc.), Cependant en fonction de la saison, ou en cas de courant ou de houle sur le site, la taille et l'ondulation des feuilles peuvent fausser les données ; ainsi l'emploi de la méthode d'interférométrie ou de triangulation est nécessaire pour une meilleure interprétation. L'association de la méthode par couverture photographique avec l'une des méthodes de positionnement (acoustique ou triangulation) permet de dresser une cartographie du carré avec maximum de précision une cartographie du carré.

3.3 Evaluation de l'état de conservation des herbiers

Cet état de conservation peut être évalué au travers de l'analyse de la structure générale de l'herbier, des caractéristiques de la matte et de la vitalité de la plante.

3.4 Structure générale de l'herbier

3.4.1 Substrat

La nature du substrat (sable grossier, sable fin, sable vaseux, matre morte y compris sous-jacente, algues en épave) et la présence de ripple-marks, peut apporter des informations sur les conditions hydrodynamiques du site (Pergent, 2007). Les herbiers du Languedoc Roussillon situés en eaux peu profondes peuvent subir de forts mouvements sédimentaires pouvant affecter à terme l'état général de l'herbier. Des marées de sables peuvent ensevelir l'herbier et provoquer sa disparation. L'observation de la nature du fond permet ainsi d'apporter des éléments complémentaires sur l'environnement immédiat de l'herbier

Lors des plongées *in situ*, des observations sur ces structures érosives dans l'herbier

seront relevées par les plongeurs et compléteront les données acoustiques.

3.4.2 Structures érosives et mattes mortes

La présence d'intermattes, tombants de mattes, rivières de retour permettent de mieux comprendre l'hydrodynamisme agissant sur l'herbier et susceptible de contrarier son état de conservation. Les observations sur les structures érosives de la matte sont complémentaires au suivi de la nature du substrat pour l'interprétation de phénomènes naturels (courants sous-marins notamment), et mesurer leurs impacts sur l'herbier.

Ce travail pourra être réalisé lors de plongée *in situ* mais aussi à partir de la sismique réflexion qui permet simultanément de caractériser le substrat sédimentaire et de faire la distinction entre les faisceaux de feuilles et l'épaisseur de la matte.

3.4.3 Analyse des limites supérieures et inférieures de l'herbier

Les limites de l'herbier sont un paramètre facilement utilisable en Région PACA et en Corse. En ce qui concerne la Région Languedoc-Roussillon, ces paramètres sont beaucoup plus difficiles à suivre faute de limites franches. **Seuls les herbiers du Site Natura 2000 de la côte rocheuse des Albères permettent l'utilisation de ces paramètres.**

A- Limites supérieures

Acquisition et traitement des photographies aériennes / images satellites

La surveillance de l'herbier est réalisée en limite supérieure par 7 à 12 prises de vues aériennes au 1/4500ème pour chacun des sites étudiés, selon un protocole standardisé (Lefèvre *et al.*, 1984 ; Sinnassamy *et al.*, 1991 ; Charbonnel *et al.*, 1993). A l'issue des prises de vues, les intervenants procéderont à un contrôle de la qualité des clichés de manière à assurer une exploitation optimale des images. Plus récemment, des images satellitaires ont pu être utilisées grâce à une résolution de l'ordre de 60 cm (Spot Image, THR Quick Bird). Une photo satellite par site sera commandée pour compléter les photographies aériennes.

Vérités-terrain

A l'issue du traitement de ces photographies aériennes, il est indispensable de procéder à des vérifications sur le terrain, au moyen de plongées ponctuelles d'observations en scaphandre autonome ("vérités-terrain"), pour confirmer et compléter les données obtenues par photo-interprétation (Bertrand et al., 1986 ; Boudouresque et al., 1987; Niéri et al., 1993 ; Charbonnel et al., 1993).

Méthode de cartographie

Il peut être envisageable d'obtenir une approche complémentaire à celle par photographie aérienne / vérité-terrain, en analysant plus précisément à l'échelle du

décimètre. Une cartographie fine par la technique du positionnement acoustique (cf. Technique du positionnement acoustique), sera réalisée pour obtenir une délimitation précise de la limite supérieure afin d'affiner la dynamique de l'herbier. Deux balises seront positionnées de part et d'autre du linéaire de suivi, afin de repositionner dans le temps et dans l'espace la limite supérieure. La distance entre les deux balises sera d'environ 50m. Le recouvrement foliaire et le pourcentage de rhizomes plagiotropes seront aussi déterminés. Cette méthode de cartographie par positionnement acoustique permettra de suivre la limite supérieure de l'herbier dans les zones où le balisage ne tient pas, pour des raisons hydrologiques ou de substrats (exemple : herbier du pin parasol sur la côte Vermeille).

B- Limites inférieures

Une observation en plongée permettra de caractériser la limite inférieure de l'herbier de Posidonies selon de la typologie dérivée de Meisnez et Laurent (1978) : limite progressive, brusque, érosive ou régressive. Seuls les herbiers ayant une limite inférieure franche pourront être suivis (herbier de la côte rocheuse des Albères).

Une cartographie fine par la technique du positionnement acoustique (cf. Technique du positionnement acoustique) sera réalisée pour obtenir une délimitation précise de des limites inférieures et d'affiner l'analyse de leur dynamique des limites inférieures de l'herbier. Deux balises seront positionnées de part et d'autre du linéaire de suivi, afin de repositionner dans le temps et dans l'espace la limite inférieure. La distance entre les deux balises sera d'environ 50m. Le recouvrement foliaire et le % de rhizomes plagiotropes seront aussi déterminés.

Comme pour la limite supérieure, seuls les herbiers du site Natura 2000 de la côte rocheuse des Albères pourront être suivis.

C- Autre limite : notion de contour

Etant donné la configuration des herbiers des sites Natura 2000 du Languedoc, il est préférable de considérer pour chacun des herbiers suivis la notion de contour plutôt que de limite inférieure ou supérieure. Ainsi, il faut prendre en compte dans les paramètres de suivi l'aspect externe de la bordure de l'herbier.

Ces herbiers épars peuvent être représentés comme de petits îlots entourés de matie morte ou de sédiment (Figure 14). Ainsi le contour de chacune de taches constitue une limite propre à une micro-structure interne de l'herbier.

La classification décrivant la typologie de la limite comme limite progressive, brusque, érosive ou régressive sera décrite pour un minimum de 6 micro-structures pour chacun des herbiers suivis.

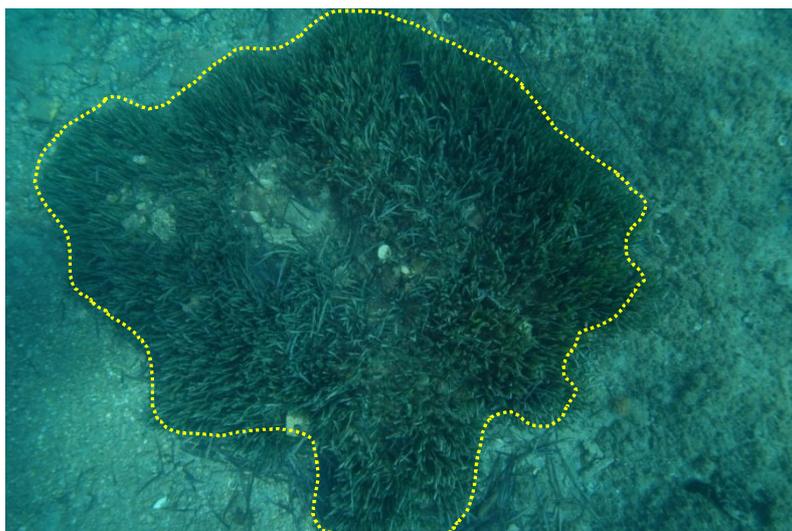


Figure 14: Exemple de contour (en jaune) délimitant le contour d'une micro-structure d'un herbier en taches (Adena)- Site «Posidonies du Cap d'Agde »

3.5 Caractérisation de la matre

La matre peut être caractérisée par sa hauteur (épaisseur), son déchaussement, le type de rhizome ou encore sa compacité

3.5.1 Déchaussement

Le déchaussement traduit le déficit sédimentaire qui entraîne une mise à nue des racines et des rhizomes et qui fragilise l'herbier. A l'inverse une augmentation des apports sédimentaires peut entraîner des phénomènes d'enfouissement des rhizomes et éventuellement leur mort.

Pour les rhizomes plagiotropes, le déchaussement est la distance qui sépare le sédiment de la partie inférieure des rhizomes. Pour les rhizomes orthotropes, caractérisés par une croissance verticale, le déchaussement est la distance qui sépare le sédiment de la base du faisceau foliaire. Le déchaussement est mesuré au centimètre près.

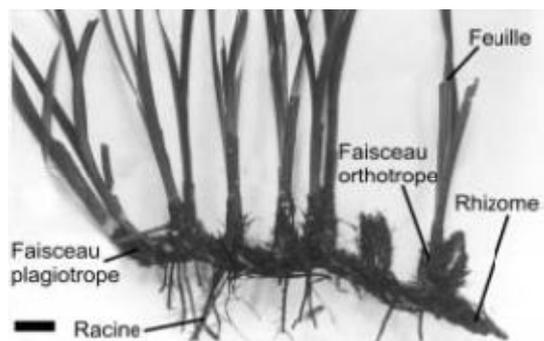


Figure 15: Un rhizome plagiotrope de *Posidonia oceanica*, dont partent vers le haut une demi-douzaine de rhizomes orthotropes et, vers le bas, des racines. Chaque rhizome porte un faisceau de feuilles. Noter les écailles, en partie effilochées, qui couvrent les rhizomes. La barre d'échelle mesure 2cm. D'après Boudouresque et Meinesz (1982)

Ce travail pourra être réalisé en plongée à petite échelle et à l'aide de la sismique à l'échelle de l'herbier.

3.5.2 Compacité et structure de la matte

L'utilisation de carottiers permettant de définir la structure interne de la matte, c'est-à-dire le volume de sédiments, la granulométrie et le taux de matières organiques n'a pas été retenue. La difficulté de mise en œuvre de cette méthode fait qu'elle est généralement absente des programmes de suivi des herbiers.

La sismique haute résolution pourrait permettre de mesurer avec précision la compacité et la structure de la matte.

Il existe cependant un inconvénient éventuel à l'utilisation de cette méthode : la résolution verticale de l'appareil étant de 6 cm en basse fréquence, les mattes peu épaisses risquent alors d'être difficiles à mettre en évidence. **Il est donc important d'effectuer un calibrage afin d'utiliser la fréquence la mieux adaptée à la problématique du site.**

Etant donné les moyens nécessaires pour les mesures de compacité et de structure de la matte, il paraît intéressant de proposer cette mesure lors de la première année de la mise en place du suivi puis lors de l'évaluation du DOCOB au bout de 6 ans.

3.6 Analyses de l'état de vitalité de la plante

3.6.1 Mesures réalisées in situ (en plongée)

- Densité foliaire de l'herbier :

La mesure de la densité consiste à compter le nombre de faisceaux par m². Cette mesure est réalisée avec un quadrat de 20 cm x 20 cm qui correspond à la plus petite surface représentative (Panayotidis *et al.*, 1981). La valeur est ensuite extrapolée pour 1 m².



Figure 16: Mesure de la densité, avec un quadrat de 20 x 20 cm (Adena). Site Natura 2000 « Posidonies de la Côte palavasienne »

Sur chaque site de suivi, **21 répliquats** sont réalisés. Les quadrats sont déposés aléatoirement dans l'herbier dans **trois zones** à raison donc de 7 mesures par zones. Cette précaution d'échantillonnage permettra d'effectuer des comparaisons intrasites sans en augmenter l'effort d'échantillonnage.

- **Pourcentage de rhizomes plagiotropes**

Les rhizomes plagiotropes sont caractérisés par une croissance selon un axe horizontal, parallèle au substrat. Le pourcentage de rhizomes plagiotropes informe sur la vitalité de l'herbier et sur sa capacité à coloniser de nouveaux espaces. Le pourcentage de rhizomes plagiotropes est évalué au niveau de la limite (ou contour) de l'herbier, sur une bande de 1 m de large.

3.6.2 Mesures réalisées en laboratoire

Pour l'étude phénologique complémentaire des feuilles de Posidonies une demande de prélèvement d'espèce protégée sera réalisée préalablement auprès des services compétents. Ces prélèvements seront réalisés à l'échelle de l'herbier suivi en évitant des prélèvements au sein du carré permanent. Cette partie de l'étude comprend les mesures suivantes (Boudouresque *et al.*, 2006 ; Dutrieux *et al.*, 2007 ; Pergent, 2007) :

- **Coefficient A**
- **Surface foliaire**
- **Leaf Area Index**

- **Coefficient A (Coef A):**

Ce coefficient correspond au pourcentage de feuilles cassées (adultes et intermédiaires). Il caractérise le taux de consommation par les herbivores et les effets de l'hydrodynamisme (Boudouresque & Meinesz, 1982 ; Dutrieux *et al.*, 2006). Cette mesure consiste à estimer le nombre de feuilles cassées par faisceaux et en déduire un pourcentage (Dutrieux *et al.*, 2006 ; Pergent, 2007). Le type de broutage sera spécifié de la façon suivante : saupe, oursin, indéterminé, absence de broutage.

La mesure sera réalisée sur 15 faisceaux (5 faisceaux par zone).

- **Surface Foliaire (SF):**

C'est la surface foliaire moyenne par faisceaux, elle est exprimée en cm²/faisceaux.

- Calcul utilisé lors du rapport de CREOCEAN en 2007 dans le cadre de la DCE (Dutrieux *et al.*, 2007) :

SF = (Σ des longueurs des feuilles intermédiaires x moyenne des largeurs des feuilles Intermédiaires) + (Σ des longueurs des feuilles adultes x moyenne des largeurs des feuilles adultes)

Mesure réalisée sur 15 faisceaux (5 faisceaux par zone).

- **Leaf Area Index (LAI):**

Le LAI représente la surface foliaire par m² d'un herbier de posidonies. Il est exprimé en m²/m².

LAI = SF x Densité de l'herbier

Mesure réalisée sur 15 faisceaux (5 faisceaux par zone).

Pour les herbiers justifiant de ne pas réaliser de prélèvement de faisceaux compte tenu de leur petite surface, les mesures de longueur des feuilles F1 et F2 ainsi que le nombre de feuilles par faisceaux seront réalisées in situ.

- **Longueur des feuilles :**

- Longueur des feuilles F1 et F2

Mesure de la première (F1) et la deuxième (F2) plus longue feuille du faisceau. Mesure réalisée sur 30 faisceaux (10 faisceaux par zone).

- Longueur moyenne des feuilles (Lg)

La longueur moyenne peut être déterminée pour les feuilles adultes et intermédiaires. Mesure réalisée sur 30 faisceaux (10 faisceaux par zone).

- **Nombres de feuilles par faisceau (Nb):**

Cette mesure consiste à dénombrer le nombre de feuilles présentes sur un faisceau. Mesure réalisée sur 15 faisceaux (5 faisceaux par zone).

- Epibiontes :

Un grattage à l'aide d'une lame de rasoir sera réalisé sur les deux côtés de chacune des feuilles afin d'extraire l'ensemble de la charge en épibiontes. L'ensemble des feuilles et l'ensemble des épibiontes d'un même faisceau seront mis à sécher séparément à 70°C pendant 48h puis pesés (mg) :

Le ratio épibiontes/feuilles est calculé par faisceau (Ifremer, 2007):

$E / L_{\text{faisceau}} = \text{poids sec des épibiontes} / \text{poids sec des feuilles}$

3.7 Identification et évaluation des « menaces » pesant sur les herbiers et risquant d'influer sur le bon état de conservation

Les perturbations physiques :

- **artificialisation du milieu:**
 - o Il s'agit de déterminer la présence ou absence de structures artificialisées (endiguements, enrochements, bétonnages, épis, canalisations, passages de câbles, installations portuaires, etc.)
 - o Evaluer le pourcentage de superficies artificialisées
- **Action anthropique sur les mattes:** Observation et recensement des blocs de matte arrachés, des traces et sillons dus à l'action des chaluts et des ancrs, des trous, etc. Il s'agit de déterminer leur nombre sur le site Natura 2000 et le pourcentage de surface détruite.

Les perturbations biologiques : Déterminer l'éventuelle superficie couverte par les caulerpes invasives et les rhodobiontes ; si ces espèces ne sont pas présentes sur le site une veille permanente sera assurée.

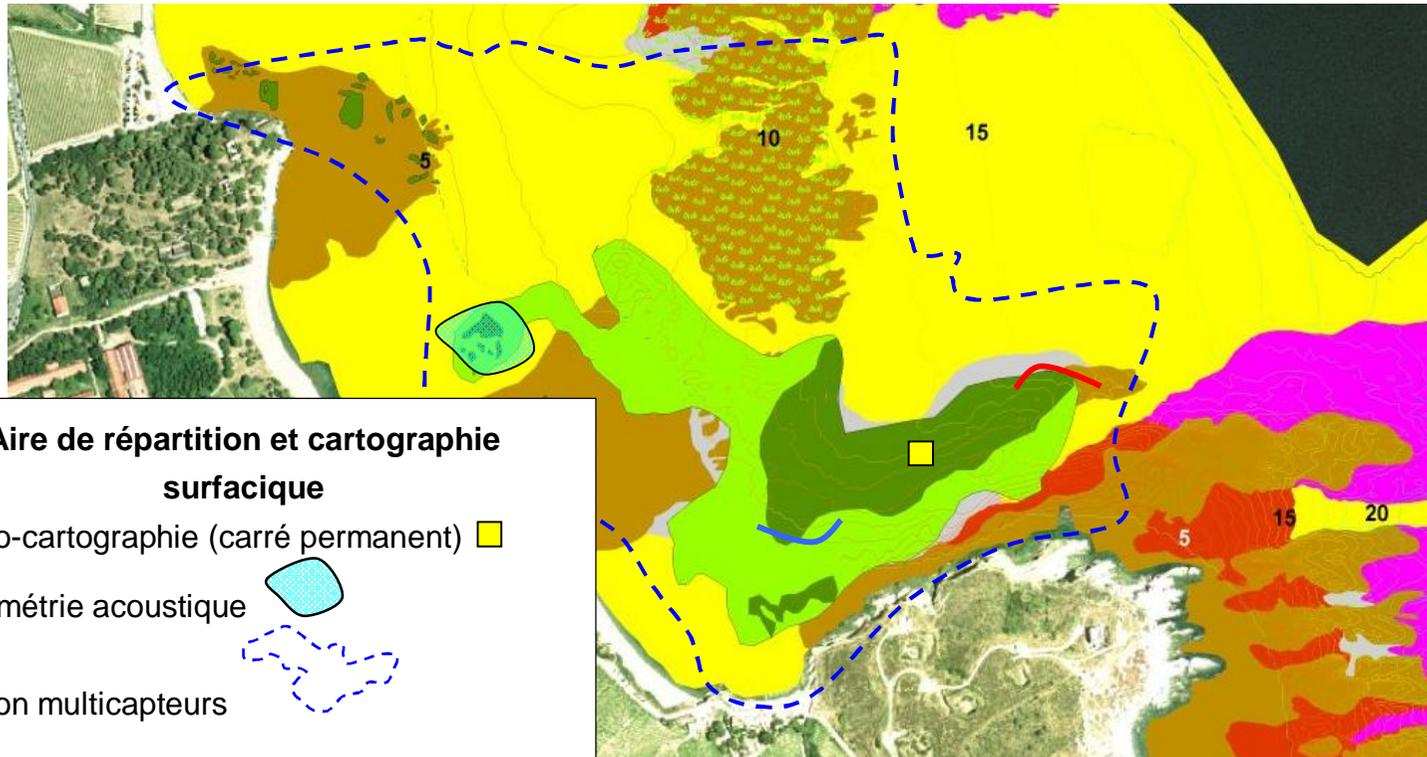
Pression de pollution :

- **Sources potentielles de nuisance proches :** Identifier les cours d'eau et leur exutoire, émissaires d'ouvrages épuratoires, ports, enrochements, rejets de dragages, etc.
- **Macrodéchets, filets et autres engins de pêche, mouillages perdus, corps morts :** Evaluer le volume et la dangerosité.

3.8 Statut de conservation de la faune et la flore associées aux herbiers Détermination de l'aire de répartition et superficie des herbiers

L'ensemble des sites Natura 2000 participant à cette démarche d'harmonisation des méthodes pour le suivi des herbiers à Posidonies couvre déjà les thématiques de suivi faune flore associés aux herbiers dans les différents suivis scientifiques. Dans ce cadre les données des suivis complémentaires permettront d'alimenter la connaissance sur les herbiers à posidonies pour chacun des sites et d'évaluer l'état de conservation des espèces typiques associées aux herbiers.

3.9 Présentation synthétique du suivi de l'herbier



- **Etat de vitalité**
- Densité foliaire
- Coef. A
- Surface foliaire
- LAI
- Rhizome plagiotrope
- Déchaussement
- Charge en épibiontes

- Aire de répartition et cartographie surfacique**
- Micro-cartographie (carré permanent) 
 - Télémétrie acoustique 
 - Fusion multicapteurs 

- Structure générale de l'herbier**
- Fragmentation
 - Limite supérieure 
 - Limite inférieure 
 - Contour
 - Substrat
 - Structure érosive

3.10 Cohérence avec la Directive européenne Cadre sur l'Eau (DCE)

L'objectif général de la Directive européenne Cadre sur l'Eau (DCE) est d'atteindre d'ici à 2015 le bon état des différents milieux aquatiques sur tout le territoire européen. L'indicateur biologique des masses d'eau côtières de Méditerranée, pour les angiospermes, est l'herbier de posidonies. Pour cette espèce, un indice français de qualité des eaux côtières, variant de 0 à 1 a été réalisé. Celui-ci intègre les 5 paramètres suivants (Arrêté du 25/01/10 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des Articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du Code de l'environnement) :

- Densité des pieds (nombre de faisceaux/m²) à 15 m,
- Surface foliaire par pied (cm²/faisceaux) à 15 m,
- Charge en épibiontes sur les feuilles (poids sec des épibiontes/poids sec des feuilles) à 15 m,
- Profondeur de la limite inférieure de l'herbier (m),
- Type de limite inférieure (franche, progressive, régressive).

Dans le cadre des différents suivis réalisés sur les herbiers de posidonies en Languedoc-Roussillon, deux métriques sont couramment utilisées ; la densité ainsi que la surface foliaire, qui sont communes aux besoins de la DCE. La réalisation de métriques conjointes aux deux suivis permettra d'établir une base de données commune.

Pour le paramètre concernant la charge en épibiontes, il est proposé d'inclure ce paramètre et de suivre le protocole mis en place pour la DCE (poids sec). Par contre, dans les herbiers de petite taille ne permettant pas un prélèvement des faisceaux, il est proposé d'appliquer un système de notation reposant sur deux critères « présence ou absence » d'épibiontes.

Les paramètres limite inférieure et type de limite seront suivis selon le protocole mis en place par la DCE sur les herbiers de la côte rocheuse des Albères. Pour les autres herbiers du Languedoc Roussillon, compte tenu de la configuration de ces herbiers dite en « tâches » ou en « mosaïque », il sera effectué un suivi de l'aspect externe de la bordure de l'herbier (cf & 3.2.1.3 Analyse des limites supérieures et inférieures de l'herbier)

Précisions sur les méthodes de prélèvements et de mesures dans la cadre de la DCE

Pour la caractérisation des herbiers de posidonie en tant que BQE (Biological Quality Element), la France a retenu 5 paramètres : (1) **la limite inférieure**, (2) **le type de limite** ; les 3 autres paramètres sont déterminés à 15 mètres de profondeur (dans certains cas, cette profondeur n'est pas atteinte par les herbiers, le protocole doit alors être appliqué en zone moins profonde), (3) **la densité**, (4) **la surface foliaire** et (5) **la charge en épibiontes** sur les feuilles ; définis selon un protocole standardisé.

3.11 Tableau de synthèse de la méthodologie proposée

Critères	Echelles	Méthodes	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Aire de répartition et superficie des herbiers	Site N2000	Fusion multicapteurs	■	■					■
		Plongées vérités terrains	■						■
Degré de fragmentation	Herbiers	Cartographie fine/télémétrie	■		■		■		■
		Micro cartographie (carré permanent)	■		■		■		■
Substrat, structures érosives et matte mortes	Herbiers	Plongée	■		■		■		
Limites supérieures	Herbiers	Photos aériennes/images sat + vérité terrain	■						
Limites inférieures	Herbiers	Télémétrie acoustique	■						
Limites supérieures, inférieures et contours		Plongeurs description	■		■		■		■
Rhizomes plagiotrope en limite inférieure	Herbiers	Réalisé simultanément avec télémétrie	■		■		■		■
Caractéristiques de la matre									
Déchaussement	Herbiers	Plongée et/ou sismique	■		■		■		■
Compacité	Herbiers	Sismique	■						■
Mesure en laboratoire									
Densité foliaire	Herbiers	Carré permanent/site Télémétrie	■		■		■		■
Longueur moyenne des faisceaux	Herbiers	Carré permanent/site Télémétrie	■		■		■		■
Surface foliaire par faisceau	Herbiers	Prélèvement hors CP/Télémétrie	■		■		■		■
Rapport E/L	Herbiers	Prélèvement hors CP/Télémétrie	■		■		■		■
Menaces									
Degré d'artificialisation	Site N2000	SIG	■		■		■		■
Mattes arrachées par action anthropique	Site N2000	Veille	■		■		■		■
Espèces invasives	Site N2000	Veille	■		■		■		■
Sources potentielles de nuisance	Site N2000	Analyse + veille	■		■		■		■
Gestion des balises permanentes									
nettoyage/remplacement (balises carré perm.)	Site N2000	plongeurs		■		■		■	

(Posidonies Albères : bleu, Posidonies Agde : vert, Posidonies Palavas : rouge)

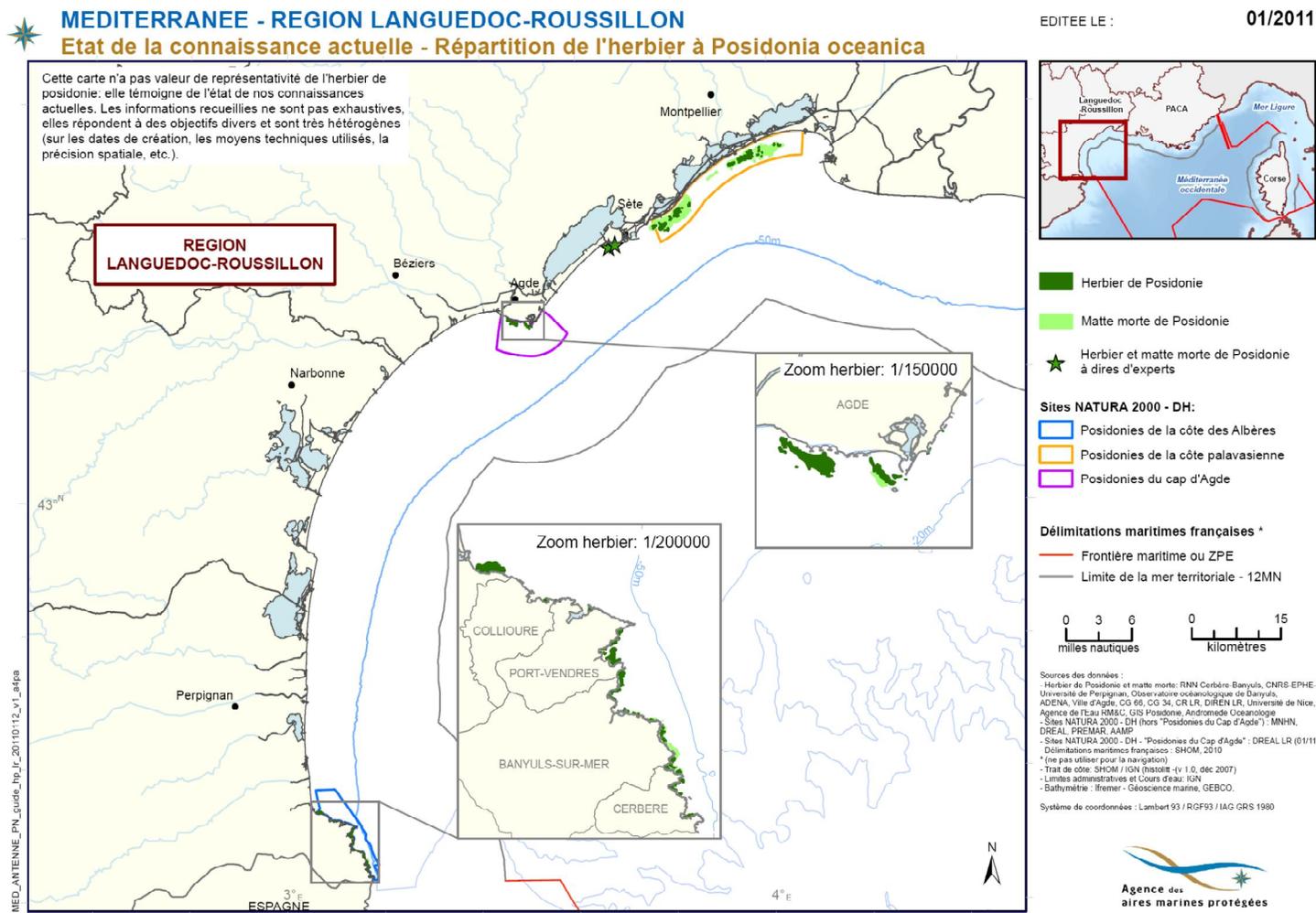


Figure 17: Présentation des sites Natura 2000 marins Région LR concernés par la mise en cohérence des méthodes de suivis des herbiers à *Posidonia oceanica*

4 Bibliographie

Astier J.M. 1984. Impact des aménagements littoraux de la Rade de Toulon, liés aux techniques d'endiguage, sur les herbiers à *Posidonia oceanica*. International Workshop *Posidonia oceanica* Beds, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A. & Olivier J. édit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 255-259.

Augier H., 1985. L'herbier à *Posidonia oceanica*, son importance pour le littoral méditerranéen, sa valeur comme indicateur biologique de l'état de santé de la mer, son utilisation dans la surveillance du milieu, les bilans écologiques et les études d'impact. Vie Marine, 7 : 85-113.

Augier H., Boudouresque C.F., 1970a. Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc National). V. La baie de Port-Man et le problème de la régression de l'herbier de Posidonies. Bull. Mus. Hist. nat. Marseille, Fr., 30PP : 145-164 + 1 carte H.T.

Augier H., Boudouresque C. F. 1970b. Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc National). VI. Le récif barrière de Posidonies. Bull. Mus. Hist. nat. Marseille, Fr., 30 PP: 221-228 + 1 carte H.T.

Avril A., Dutrieux E., Nicolas F. & Vaxelaire A., 1984. Etude des fonds marins des Aresquiers (Languedoc) : Etat des herbiers de posidonies. International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, BOUDOURESQUE C. F., JEUDY DE GRISSAC A. & OLIVIER J. edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 173-177.

Bay D. 1978. Etude in situ de la production primaire d'un herbier de posidonie, *Posidonia oceanica* (L) Delile, dans la baie de Calvi, Corse. Thèse Fac. Sci., Univ. Liège : 251PP.

Bell J., Harmelin-vivien M.L., 1982. Fish fauna of french mediterranean *Posidonia oceanica* seagrass meadows. 1. Community structure. Tethys, 10(4) : 337-347.

Bertrand M.C., Boudouresque C.F., Foret P., Lefevre J.R., Meinesz A., 1986. Réseau de Surveillance Posidonies. Rapport 1985. Conseil rég. PACA, GIS Posidonie, CIPALM, CAPVAR, CELCOP & GIS Posidonie édit., Marseille, Fr. : 1-61.

Bianchi C.N. & Peirano A. 1995. Atlante delle Fanerogame marine della Liguria. *Posidonia oceanica* e *Cymodocea nodosa*. Centro Recherche Ambiente Marino, ENEA publ., La Spezia, Ital. : 146PP.

Blanc J.J. & Jeudy de Grissac A. 1984. Erosions sous-marines des herbiers à *Posidonia oceanica* (Méditerranée). International Workshop on *Posidonia oceanica* Beds, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A. & Olivier J. édit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 23-28.

Blouet S., Dupuy de la Grandrive R., Foulquié M. & Ruis A. 2005. L'herbier à *Posidonia oceanica* dans le site Natura 2000 « Posidonies du Cap d'Agde » (Agde, Hérault) : Bilan de la dynamique des herbiers entre 2001 et 2005. ADENA publ. 15PP.

Boudouresque C.F. 1996. Impact de l'homme et conservation du milieu marin en Méditerranée. 2^{ème} édition. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 243PP.

Boudouresque C.F, Meinesz A. 1982. Découverte de l'herbier de posidonie. Cah. Parc nation. Port-Cros, 4 : 79PP.

Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A. 1983. L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée, les interactions entre la plante et le sédiment. J. Rech. océanogr., 8 (2-3) : 99-122.

Boudouresque C. F., Francour P., Harmelin-Vivien M., Jangoux M., Mazzella L., Pergent G., Ramos-Espla R., Romero J. 1990. Le Cost 647: *Posidonia* Project. *Posidonia Newsletter*. 3 (2): 27-34.

Boudouresque C.F., Gravez V., Meinesz A., Molenaar H., Pergent G., Vitello P. 1994. L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée : protection légale et gestion. Pour qui la Méditerranée au 21^e siècle? Villes des rivages et environnement littoral en Méditerranée, Montpellier, Fr. : 209-220.

Boudouresque C.F., Bertrand M.C., Bouladier E., Foret P., Meinesz A., Pergent G., Vitiello P., 1990. Le Réseau de Surveillance des Herbiers de Posidonies mis en place en Région de Provence-Alpes-Côte d'Azur (France). Rapp. Comm. int. Mer Médit., Fr., 32 (1) : 11.

Boudouresque C.F., Bertrand M.C., Desjardins C., Fifis J.C., Foret P., Lefebvre J.R., Meinesz A., Nieri M., Patrone J., Pergent G., Gravez V., 1987. Mise en place de systèmes de surveillance des herbiers à *Posidonia oceanica* le long du littoral méditerranéen français. Symp. Intern. Prot. Milieu Mar. contre les rejets Urbains, Marseille, Fr. (1) : 1-20.

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. 4th International Conference « Seagrass 2000 », Ajaccio. Biol. Mar. Medit., 7 (2) : 328-331.

Boudouresque C.F., Giraud G., Panatyodis P., 1980. Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc National). XIX- Mise en place d'un transect permanent. Trav sci. Parc nation. Port-Cros, Fr., 6 : 207-221.

Boudouresque C.F., Gravez V., Meinesz A., Molenaar H., Pergent G., Vitiello P., 1994. L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée : protection légale et gestion.

Pour qui la Méditerranée au 21^e siècle? Villes des rivages et environnement littoral en Méditerranée, Montpellier, Fr. : 209-220.

Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L. 2006. Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*, RAMOGE publ. : 1-202, ISBN 2-905540-30-3, 204PP.

Caye G. 1980. Sur la morphogénèse et le cycle végétatif de *Posidonia oceanica* (L. Delile). Thèse doctorat 3^e Cycle, Univ. Aix-Marseille II, Fr.: 121PP.

Charbonnel E., Boudouresque C.F., Bertrand M.C., Foret P., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Rico-Raimondino V., Vitiello P., 1993. Le Réseau de Surveillance Posidonies en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur (Méditerranée, France) : premiers résultats. Symposium. International. Protection du Milieu Marin contre la Pollution Urbaine, Marseille, Fr., (3) : 1-10.

Charbonnel E., Boudouresque C.F., Meinesz A., Bernard G., Bonhomme P., Patrone J., Kruzeck R., Cottalorda J.M., Bertrand M.C., Foret P., Ragazzi M., Le Direac'h L. 2000. Le réseau de surveillance Posidonie de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Première partie : présentation et guide méthodologique. Année 2000. Région PACA / Agence de l'Eau RMC / GIS Posidonie / CQEL 13 / CQEL 83 / Conseil Général 06. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 76 PP.

Claudio Lo Iacono, Miguel Angel Mateo, Eulàlia Gra`cia, Lluís Guasch, Ramon Carbonell, Laura Serrano, Oscar Serrano, and Juanjo Dan`obeitia, 2008 : Very high-resolution seismo -acoustic imaging of seagrass meadows (Mediterranean Sea): Implications for carbon sink estimates. Geophysical research letters, vol 35.

Collart D., Guyot E., Pary E. 2004. Etude descriptive et comparative des herbiers de Posidonies du Languedoc. Etude réalisée pour la DIREN LR. CEGEL publ. : 98 PP.

Descamp Pierre, Holon Florian, Ballesta Laurent, 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, Fr. :1-59pp. + annexes.

Dutrieux E., Sartoretto S., Schvartz T., Thorin S. 2006. Mise en œuvre du réseau de référence et de l'exercice d'intercalibration (eaux côtières). IFREMER – Agence de l'eau RMC. 139PP.

Ferrari B., 2006. Etude synécologique de *Posidonia oceanica* et de *Sarpa salpa* le long de la côte rocheuse des Albères (Pyrénées-Orientales, France) ; influence d'une aire marine protégée. Thèse Doctorat EPHE, Université de Perpignan : 289 pages + annexes 26 pages.

Foulquié M. & Dupuy de la Grandrive R. 2004. Posidonie du Cap d'Agde. *Site Natura*

2000 FR 910 1414 document d'objectifs - Inventaire de l'existant et analyse écologique. ADENA, 301PP.

Francour P. 1990. Dynamique de l'écosystème à *Posidonia oceanica* dans le parc national de Port-Cros. Analyse des compartiments mat, litière, faune vagile, échinodermes et poissons. Thèse Doct. Univ., Univ. P.M. Curie : 373PP.

Giraud 1977. Contribution à la description et à la phénologie des herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse de Doctorat de Spécialité, Univ. Aix-Marseille II, Fr. : 1-150.

Harmelin-Vivien M.L. 1983. Etude comparative de l'ichtyofaune des herbiers de phanérogames marines en milieu tropical et tempéré. Rev. Ecol. (Terre Vie), 38 : 179-210.

Harmelin-Vivien M., Harmelin J.G., Leboulleux V. 1995. Microhabitat recruitment for settlement of juveniles Sparid fishes on Mediterranean rocky shores. Hydrobiologia, 300/301 : 309-320.

Ifremer, 2007. Mise en œuvre du contrôle de surveillance. Résultat de la campagne de 2006 ; Directive cadre eau. Convention cadre agence de l'eau /IFREMER, FR 193.

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

Judy de Grissac A., Boudouresque C.F. 1985. Rôle des herbiers de phanérogames marines dans les mouvements des sédiments côtiers: les herbiers à *Posidonia oceanica*. Colloq. Fr-jap. Océanogr., Marseille 16-21 sept., 1: 143-151.

Kikuchi T. 1980. Faunal relationships in the temperate seagrass beds in : Handbook of seagrass biology. PHILLIPS R.C., McROY C.P., édts., Garland publ., New-York : 153-172.

Kikuchi T., Peres J.M. 1973. Animal communities in the seagrass bed : a review. International Seagrass Workshop, Leiden : 27 PP.

Ledoyer M. 1968. Ecologie de la faune vagile des biotopes méditerranéens accessibles en scaphandre autonome (Région de Marseille principalement) IV. Synthèse de l'étude écologique. Rec. Trav. St. mar. Endoume, Fr., 44(60) : 125-295.

Lefevre J. R., Valerio, C. & Meinesz A., 1984, Optimisation de la technique de la photographie aérienne pour la cartographie des herbiers de Posidonies. *International Workshop Posidonia oceanica beds*,

Lenfant P., Schrimm M., Bonhomme P., Cadiou G. 2004. Posidonie de la côte rocheuse des Albères, site Natura 2000 FR 9101482, rapport final. Rapport EPHE-GIS Posidonie : 25PP.

Lepareur F., 2011. Evaluation de l'état de conservation des habitats naturels marins à l'échelle d'un site Natura 2000 – Guide méthodologique - Version 1. Février 2011. Rapport SPN 2011 / 3, MNHN, Paris, 55 pages.

Libes M., 1984. Production primaire d'un herbier à *Posidonia oceanica* mesurée in situ par la méthode du carbone 14. Thèse Doct. 3^e cycle, Univ. Aix-Marseille II : 199PP.

Licari M.L., Lenfant P., Amouroux J.M., Dupuy de la grandrive R., Labrune C., Foulquie M., Rochel E., Bonhomme P., Cadiou G., 2004. Document d'objectifs site Natura 2000 « Posidonies de la Côte des Albères ». Phase I : Inventaire et analyse de l'existant ; Volume 2 : Description et synthèse ; Conseil Général des Pyrénées-Orientales ; 107 p.

Meinesz A., Cuvelier M., Laurent R., 1977. Méthodes récentes de cartographie et de surveillance des herbiers de Phanérogames marines. Leurs applications sur les côtes françaises de la Méditerranée. Vie et Milieu, 31 (1) : 27-34.27

Meinesz A., Laurent R., 1978. Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-Maritimes (France). Campagne Poseidon 1976. Bot. mar., Germ., 21 : 513-526.

Meinesz A., Lefevre J. R., 1984. Régénération d'un herbier à *Posidonia oceanica* quarante années après sa destruction par une bombe dans le rade de Villefranche (Alpes-Maritimes, France). International Workshop *Posidonia oceanica* Beds, Boudouresque C. F., Jeudy de Grissac A. & Olivier J. edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 :39-44.

Molenaar H. 1992. Etude de la transplantation de boutures de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, phanérogame marine. Modélisation de l'architecture et du mode de croissance. Thèse Doctorat, Univ. Nice-Sophia-Antipolis, Fr. : 221PP.

Molinier R., Picard J., 1952. Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. Ann. Inst. océanogr., Fr., 27 (3) : 157-234.

Nieri M. 1991. Contribution à la surveillance et à la cartographie biocénotique des fonds littoraux des Bouches-du-Rhône et du Var (Méditerranée, France). Thèse Doct. Ecol. Univ. Aix-Marseille II, Fr., 1-157 + 1 carte h.t.

Nieri M., Gravez V., Laffond R. 1988. Surveillance de l'herbier de posidonies de la

baie du Prado. Suivi 1987. SOMICA & GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 51PP.

Noel C., Viala C., Coquet M., Zerr B., Blouet S., Dupuy de la Grandrive R. 2010 : Multi-sensors data fusion method devoted to sea bottom vegetation mapping and monitoring. Proceeding of the 4th Mediterranean symposium on marine vegetation; Yasmine-hammamet, 2010.

Noel C., Viala C., Lehn E., Jauffret C. 2005 : Développements d'une méthode acoustique de détection des herbiers de posidonies. Colloques : Science et technologies marines du futur- un enjeu pour la méditerranée.

Panayotidis P., Boudouresque C. F., Marcot-Coqueugniot J. 1981. Microstructure de l'herbier de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Botanica Marine*. 24: 115-124.

Pasqualini V. 1997. Caractérisation des peuplements et types de fonds le long du littoral Corse (Méditerranée, France). Thèse Doctorat, Univ. Corse : 190PP.

Peres J.M. 1984. La régression des herbiers à *Posidonia oceanica*. International Workshop *Posidonia oceanica* Beds, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A. & Olivier J. édit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 445-454.

Pergent G., Boudouresque C.F., Vadier B. 1983. Quelques observations sur les herbiers à *Posidonia oceanica* des Pyrénées Orientales (Méditerranée, France). Ann. Inst. Océanogr., 28 (3) : 171-172.

Pergent G., Boudouresque C.F., Vadier B. 1985. Etude préliminaire des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile de la côte des Albères (Pyrénées Orientales, France). Ann. Inst. Océanogr., 61 (2) : 97-114.

Pergent G., 1987. Recherches lépidochronologiques chez *Posidonia oceanica* (Potamogetonaceae). Fluctuation des paramètres anatomiques et morphologiques des écailles des rhizomes. Thèse Doct. Océanol.Univ. Aix-Marseille II, Fr., 1-853.

Pergent -Martini C., Pergent G. 1989. balisage de la limite inférieure de l'herbier de Posidonie. Réserve Marine de Cerbère-Banyuls : 13 PP.

Pergent G., Boudouresque C.F., Vadier B., 1983. Quelques observations sur les herbiers à *Posidonia oceanica* des Pyrénées Orientales (Méditerranée, France). Ann. Inst. Océanogr., 28 (3) : 171-172.

Pergent -Martini C. 1994. Impact d'un rejet d'eaux usées urbaines sur l'herbier à *Posidonia oceanica* avant et après la mise en service d'une station d'épuration. Thèse Doct. Univ., Univ. de Corse : 190PP.

Pergent -Martini C., Pasqualini V., Pergent G. 2000. Impact de la station d'épuration de la Ville de Marseille sur l'herbier à *Posidonia oceanica* du secteur de Cortiou. Contrat Ville de Marseille/GIS Posidonie, GIS Posidonie édit., Corté : 36PP.

Pergent G., Pergnet-Martini C., Boudouresque C.F., 1995. Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée : Etat des connaissances. *Mésogée*, 54 :3-27.

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°01/2007/RAC/SPA_MedPosidonia Nautilus-Okianos: 24p + Annexes.

Picard J. 1978. Impacts sur le benthos marin de quelques grands types de nuisances liées à l'évolution des complexes urbains et industriels de la Provence Occidentale. *Oceanis*, Fr., 4 (3) : 214-251.

Pruvot G. 1894. Distribution générale des invertébrés dans la région de Banyuls. *Arch. De Zool. Exp. Et Gén.*, 3(3ème série) : 631-638.

Ramos-Espla A.A., Aranda A., Gras D., Guillen J.E. 1994. Impactos sobre las praderas de *Posidonia oceanica* (L.) Delile en el SE español : necesidad de establecer herramientas de ordenamiento y gestion del litoral. Pour qui la Méditerranée au 21° siècle ? Villes des rivages et environnement littoral en Méditerranée, Montpellier, Fr. : 64-69.

Rico-Raimondino V. 1995. Contribution à l'étude des stocks et flux d'éléments dans les herbiers à *Posidonia oceanica*. Thèse Doctorat d'Ecologie, Univ. d'Aix-Marseille II, Fr. : 248PP.

Rico V., Pergent G., 1990. Evaluation de la production primaire de l'herbier à *Posidonia oceanica* de la baie de Porto Conte (Sardaigne) par la méthode lépidochronologique. Programme MEDSPA, Contrat GIS Posidonie & Marconsult, GIS Posidonie édit., Marseille, Fr. : 1-136.

Semantic, 2008 : Méthode pour la reconnaissance acoustique des fonds marins : Méthode de détection acoustique verticale. Document Semantic TS, Fr, 3P

Sinnassamy J.M., Bertrand M.C., Boudouresque C.F., Foret P., Leccia M., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ragazzi M., Rico-Raimondino V., 1991. Réseau de Surveillance Posidonies. Méthodologie du Réseau de Surveillance Posidonies, Bilan et perspectives. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-36.

Viala C, Noel C, Lehn E, Jauffret C. Développement d'une méthode acoustique de détection des herbiers de posidonies. Colloque : Sciences et technologies marines du futur – un enjeu pour la Méditerranée. Session n°3 : la mise en valeur des ressources. Marseille, France, 19 – 20 Mai 2005.

Verlaque M. 1987. Contribution à l'étude du phytobenthos d'un écosystème photophile thermophile marin en Méditerranée occidentale. Thèse Doc. Etat. Sci.,

MISE EN COHERENCE ET HARMONISATION DES METHODES DE SUIVIS DES HERBIERS A POSIDONIES AU SEIN DES
SITES NATURA 2000 MARINS EN LANGUEDOC-ROUSSILLON.

Univ. Aix-Marseille II, Fr. : 389PP.



Réserve Naturelle
CERBERE-BANYULS

5 Annexes

Annexe 1

Présentation succincte des systèmes : SMF, SBL, SACLAF, Sismique UHR

Les systèmes de classification automatique de la nature des fonds (SACLAF)

Ils reposent sur sa capacité à traiter en route les signaux acoustiques émis par un sondeur bathymétrique monofaisceau dont la fréquence peut varier de 40 à 200 kHz. L'énergie de réverbération du fond qui retourne capteur est transformée par un boîtier électronique (USP) en indices de rugosité E1 et de dureté E2. Cette réverbération dépend de la quantité d'énergie diffusée par un élément réverbérant, elle-même fonction de la nature de l'élément et de l'angle d'incidence. E1 correspond à la réflexion directe sur le fond alors que le second écho E2 résulte de la réflexion multiple des ondes sur le fond et sous la surface. Le temps-trajet étant plus long que pour E1, l'énergie des ondes permettant de calculer E2 est plus faible (dispersion dans le milieu). Il est donc amplifié par le boîtier. La classification s'opère par la combinaison des deux indices. En effet un type de sédiment pourra être caractérisé par un couple d'indices E1/E2 moyen et son écart-type. Ainsi, un sédiment vaseux et lisse aura un couple E1/E2 plus faible qu'un sédiment grossier et rugueux.

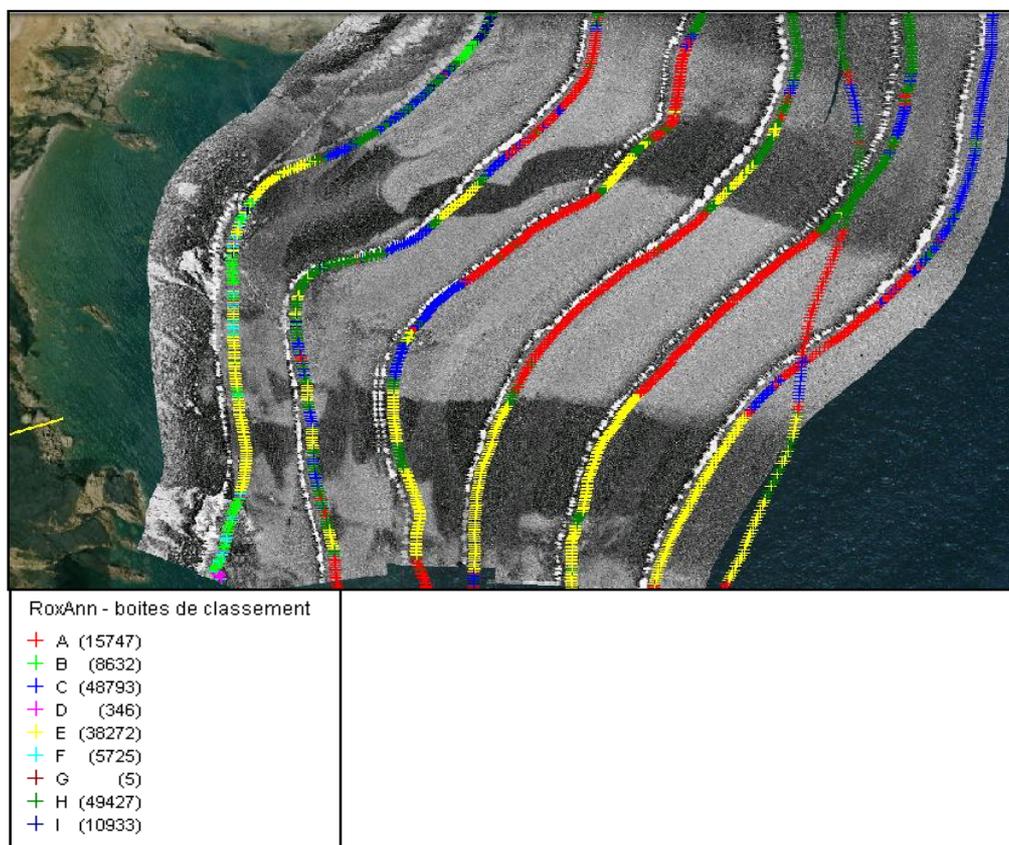


Figure 18: Exemple d'une superposition de points RoxAnn classés sur de l'imagerie acoustique
De tels systèmes opérationnels autonomes, se composent d'un boîtier relié au

transducteur du sondeur et à un PC ainsi qu'un GPS différentiel. Il peut fonctionner sans dégradation de la donnée jusqu'à 10 à 12 nœuds et surtout, en même temps qu'un SMF ou SBL. La cadence d'enregistrement des paramètres est modulable. Pour un enregistrement toutes les 2 s, le volume des fichiers de données acquis en une journée tient sur une disquette (1,44 Mo). C'est donc des systèmes de cartographie souple d'utilisation et complémentaire aux systèmes d'imagerie acoustique par balayage, mais de moyenne résolution (plurimétrique à pluridécamétrique).

Avantages

- peu onéreux comparé aux coûts des autres systèmes acoustiques par balayage du marché ;
- peut être utilisé sur toute sorte d'embarcations (intégré sous la coque ou monté sur perche) ;
- permet d'acquérir les données à une vitesse importante ;
- de grandes zones peuvent être levées rapidement mais avec une faible résolution ;
- quantité faible de données produites, ce qui facilite l'archivage et leur manipulation dans les phases de traitement ;
- système validé et testé depuis de nombreuses années sur des cibles sédimentaires et biologiques variées ;
- peut être utilisé dans des conditions de mer plus agitées que pour les sonars à balayage latéral remorqués.

Inconvénients

- résolution plurimétrique à pluridécamétrique liée à l'ouverture du cône d'émission du sondeur et à la profondeur ;
- ne fournit pas une couverture complète du fond mais juste sous la verticale du bateau et donc le long des profils ;
- qualité de la donnée conditionnée par les conditions de navigation (état de la mer) et par les variations de turbidité. L'état de la mer et les changements brutaux de cap génèrent du bruit acoustique (bien que certains logiciels aient une fonction de seuillage et de rejet du signal dans certaines conditions de réception du signal).
- vitesse constante de sondage ;
- contrainte de l'angle d'ouverture du sondeur pour récupérer la terminaison du premier écho (> à 12°) ;

Le sonar à balayage latéral DF1000 (SBL)

Ce système, composé d'un poisson tracté derrière l'embarcation à une altitude constante au-dessus du fond (entre 10 et 15 m), est mis en œuvre pour des fonds supérieurs à 10 m. La prospection acoustique des fonds littoraux (inférieurs à 10 m) à partir des navires côtiers se fait avec le sonar fixé à une perche verticale. La vitesse du bateau varie entre 3 et 5 nœuds, en fonction de l'état de la mer et de la profondeur.

Ce système permet d'insonifier, en fonction des réglages adoptés (portée latérale, largeur de chevauchement), une superficie de 1 à 2 km²/heure.

Le sonar latéral balaye le fond à une fréquence généralement comprise entre 100 kHz et plusieurs centaines de kHz. Il permet de fournir en continu, et sur plusieurs dizaines à centaines de mètres de largeur, une image en niveau de gris de très haute résolution du fond. Sur ces images acoustiques (sonogrammes), les types de fonds, les zones de roches ou des biocénoses spécifiques (maërl, moulières, crépidules, lanices, herbiers...) sont différenciées et délimitées avec précision. En effet, en fonction de la densité des individus sur le fond, les propriétés acoustiques du substrat sont modifiées et ces biocénoses peuvent être détectées par le sonar. Son principe repose donc sur une signature acoustique propre à chaque type de substrat (morphologie et composition granulométrique du fond). Les données brutes sont traitées en temps réel par le logiciel d'acquisition numérique et rejouées en temps différé afin d'être corrigées des distorsions géométriques liées à la vitesse du bateau et aux variations de la profondeur.

Si les progrès techniques, en termes de souplesse d'acquisition, d'archivage numérique, de rejeu des données, permettent d'optimiser l'utilisation de ce système pour la cartographie des habitats, le dépouillement des sonogrammes et des mosaïques géoréférencées requiert un haut niveau d'expertise. Enfin, les levés acoustiques doivent être complétés par des prélèvements sédimentaires et des enregistrements par caméra vidéo, pour aider à l'interprétation des données. Des classifications automatiques et semi-automatiques existent (segmentation d'images), mais les résultats demeurent encore réservés et restent à valider.

Avantages

- couvrir une large zone dans une durée relativement courte. A 100 kHz de fréquence et une vitesse de 5 nœuds, la zone levée est de l'ordre de $3,5 \text{ km}^2 / \text{h}$;
- images réalistes de la surface du fond en niveau de gris qui peuvent être regroupées pour former une mosaïque. Elles permettent une lecture facile des données brutes ;
- la morphologie des figures sédimentaires donne des indices sur les transports sédimentaires et sur l'état de mobilité du fond ;
- la qualité des données n'est pas affectée par les changements de profondeur, à partir du moment où l'altitude du poisson est fixée à une hauteur constante au-dessus du fond.

Inconvénients

- coût élevé d'un système complet (poisson + centrale d'acquisition + logiciel) ;
- mise en œuvre délicate en raison de la remorque et de la hauteur du poisson au-dessus du fond ;
- connaître la position exacte du poisson sous l'eau. Sans système de positionnement réel du poisson remorqué, celle-ci est estimée à partir de la longueur de câble filé et de la position de la centrale d'acquisition par rapport à l'antenne du GPS différentiel. Il peut s'ajouter un biais supplémentaire par l'enfoncement du câble électro-porteur dans l'eau, en fonction de la longueur déployée, et par l'action de courants transverses qui peuvent déporter le poisson de l'axe du bateau ;

- teintes de gris sensiblement différentes d'un profil à l'autre, notamment lorsqu'ils n'ont pas la même orientation. La variation de l'amplitude du signal, pour une même zone ou un même type de fond, pose des problèmes au moment de sa classification. Parfois des variations sédimentaires telles que l'augmentation progressive de la teneur en vase dans un sédiment sableux ou l'alternance de fines couches de sable et de vase, ne sont pas ou mal perçues sur les enregistrements ;
- volume important de données numériques. Pour une zone de 20 km² (6 heures), cela représente 500 Mo de données sous la forme de fichiers géotiff (grille de 0,2 m) et 1 Go d'espace disque par jour ;
- traitement des données sur pc ou station puissants ;
- calibration des données acoustiques par des observations ;
- techniciens expérimentés pour la mise en œuvre et l'acquisition.

Les sondeurs multifaisceaux petits fonds (SMF)

Ce système acoustique permet d'obtenir, de manière précise et rapide, des relevés topographiques du relief sous-marin (bathymétrie) et des images sonar (imagerie) présentant la réflectivité locale du fond. Ces sondeurs multi-faisceaux mesurent simultanément la profondeur, selon plusieurs directions. On explore ainsi le fond sur une large bande (de l'ordre de 5 à 7 fois la profondeur), avec des vitesses supérieures à celles utilisées pour un sonar remorqué. La plupart des sondeurs multi-faisceaux fonctionnent selon la technique dite des faisceaux croisés. Les contrastes de réflectivité sont plus tranchés que sur les images sonar latéral mais sa précision au sol est moins bonne.

La résolution de l'EM1000 à 100 m de profondeur est de 50 cm à la verticale du bateau, et latéralement de 1,5 m à 400 m de l'émetteur. Contrairement au sonar latéral, où la fauchée insonifiée est constante, la largeur d'investigation pour un SMF dépend de la hauteur d'eau. Contrairement à une idée reçue, la précision des données des SMF n'est pas supérieure à celle des sondeurs mono-faisceaux. Les données de bathymétrie acquises par ces sondeurs respectent les mêmes normes hydrographiques en termes de précision verticale.

Avantages

- couvertures bathymétrique et de réflectivité totales du fond : sondage de type « surfacique » ;
 - cadence d'acquisition élevée ;
 - vitesse élevée du bateau (jusqu'à 20 nœuds avec certains systèmes) ;
 - données de réflectivité du fond ;
 - peut équiper une petite embarcation ;
-
- données pouvant intégrer les SIG.

Inconvénients

- coût élevé (ordre de prix : 4 K€/km²) ;
- volume très important des données numériques acquises (de l'ordre de 100 millions de sondes pour 1 km² de surface sondée) ;
- enregistrements des paramètres extérieurs (célérité, salinité, attitude du navire) ; nécessitant des centrales inertielle précises et des systèmes de mesure de la célérité du son dans l'eau
- techniciens expérimentés pour la mise en œuvre et l'acquisition ;
- conditions d'installation et de maintenance contraignantes.

Sismique UHR

Basé sur l'utilisation d'un émetteur travaillant à des fréquences de 4 à 15 kHz et disposant d'une résolution verticale centimétrique et d'une pénétration dans les sédiments de plusieurs mètres (en fonction de la nature des sédiments, la pénétration peut atteindre plusieurs dizaines de mètres), cette méthode peut permettre de distinguer les faisceaux de feuilles, l'épaisseur de la matre et la nature du substrat.

Le relevé des profils linéaires est réalisé suivant un maillage carré (densité fonction de l'extension spatiale de l'herbier à cartographier).

Par rapport aux autres sondeurs conventionnels qui sont souvent couplés aux SACLAF, la sismique réflexion UHR dispose d'un faisceau d'émission très étroit (2°) ce qui lui confère une excellente résolution spatiale jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de profondeur.

De la même façon ce type de sismique offre la possibilité de faire varier la fréquence d'émission et donc d'adapter le système en fonction de la puissance de l'herbier.

Il existe un inconvénient éventuel lors de l'utilisation de cette méthode : la résolution verticale de l'appareil étant de 6cm en basse fréquence, les mattes peu épaisses risquent alors d'être difficiles à mettre en évidence. Il est donc important d'effectuer des tests préalables afin d'optimiser la méthode et choisir la fréquence la mieux adaptée à la problématique du site.

A l'inverse, l'avantage est de pouvoir obtenir des renseignements globaux sur

ce qui n'est pas accessible par les autres méthodes, hormis par plongées et carottages (hauteur des feuilles et épaisseur de la matre), qui sont elles, ponctuelles.

Avantages

- sondage acoustique du substrat sur lequel se développe l'herbier,
- cadence d'acquisition élevée (10 émissions/s) ;
- bonne résolution spatiale le long des profils (faisceau d'émission fin)
- vitesse du bateau (jusqu'à 5 nœuds compatible avec les autres systèmes) ;
- données de la structure de l'herbier (longueur feuille, épaisseur matre,),
- caractérisation du type de limite (érosive, graduelle, ..)
- peut équiper une petite embarcation ;

Inconvénients

- coût élevé (3 K€²/km) ;
- volume important des données numériques acquises
- techniciens expérimentés pour la mise en œuvre et l'acquisition ;
- conditions d'installation et de maintenance lourdes.