



MASTER SML

SCIENCES DE LA MER ET DU LITTORAL

MENTION

**EXPERTISE ET GESTION DE
L'ENVIRONNEMENT LITTORAL**



Fanny Kerninon

Premières actions de mise en place d'un réseau d'observation des herbiers de l'Outre-mer

Mémoire de stage de Master 2

Année Universitaire 2011-2012

Structure d'accueil : LEMAR

Tuteur universitaire : Iwan Le Berre

Maître de stage : Christian Hily

PREMIERES ACTIONS DE MISE EN PLACE D'UN RESEAU D'OBSERVATION DES HERBIERS DE PHANEROGAMES MARINES DE L'OUTRE-MER



Fanny Kerninon

Rapport de stage de Master 2
Sciences de la Mer et du Littoral - Mention Expertise et Gestion de l'Environnement Littoral
Année universitaire 2011 - 2012

CONTEXTE DU STAGE

Organisme d'accueil

Laboratoire des Sciences de l'Environnement Marin (LEMAR) - UMR 6539
Institut Universitaire Européen de la Mer Place Nicolas Copernic
29280 PLOUZANÉ - FRANCE

Encadrement

Maître de stage :

Christian Hily, Chargé de Recherche CNRS au LEMAR/IUEM, UBO
Email : christian.hily@univ-brest.fr

Tuteur universitaire :

Iwan Le Berre, Maître de conférences, LETG-Brest Géomer/IUEM, UBO
Email : iwan.leberre@univ-brest.fr

Objectif du stage

Réaliser les premières actions de la mise en place du projet de réseau d'observation des herbiers de l'Outre-mer dans le cadre de l'IFRECOR :

- Réaliser un bilan des études et des actions de suivis autour des herbiers de phanérogames marines de l'Outre-mer
- Préparer et participer à une mission de terrain en Guadeloupe et à Saint-Martin du 20 mai au 4 juin 2012 dans le cadre du projet
- Développer et calibrer une nouvelle méthodologie d'étude de la fragmentation des herbiers

Durée du stage

6 mois de mars à août 2012

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout particulièrement Christian Hily pour m'avoir permis de réaliser ce stage et de découvrir les herbiers tropicaux, ainsi que pour ses conseils, son enseignement et son encadrement tout au long de ce stage.

Je remercie également Iwan Le Berre, tuteur universitaire de ce stage, pour son aide, notamment sur la partie SIG.

Je remercie aussi Franck Mazéas de la DEAL de la Guadeloupe pour son aide concernant la préparation et sa participation lors de la sortie de terrain sur la côte sous le vent en Guadeloupe. Je remercie l'équipe du Parc National de la Guadeloupe et particulièrement Simone Mège pour sa disponibilité pour la sortie sur les herbiers du Grand-Cul-de-Sac-Marin.

Je remercie également chaleureusement l'équipe de la réserve naturelle de Saint-Martin et plus particulièrement Romain Renoux et Julien Chalifour pour leur participation et leur aide lors de la sortie en bateau dans la baie de l'Embouchure dans le cadre de l'étude de la fragmentation. Je les remercie aussi pour leur convivialité ainsi que pour leur disponibilité pour les autres sorties de prospections sur de nombreux sites d'herbiers de la réserve naturelle.

Je remercie par ailleurs, Christelle Batailler du bureau d'étude PARETO et Adeline Pouget-Cuvelier du bureau d'étude Impact Mer pour leurs échanges et renseignements pendant le stage.

Je remercie aussi Neil Alloncle de l'Agence des aires marines protégées ainsi que Nicolas Gabarron du pôle image de l'IUEM pour la transmission de certaines données SIG.

Enfin je remercie les différentes personnes qui ont bien voulu répondre à mes sollicitations au cours de ce stage en métropole et Outre-mer ainsi que les collègues du bureau pour leur accueil et leur convivialité.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
AVANT PROPOS	2
L'IFRECOR et ses actions	2
Présentation de l'Ifrecor	2
Le plan d'action national 2011-2015	2
Le thème d'intérêt transversal TIT Réseaux d'observation	3
Le réseau d'observation des herbiers de l'Outre-mer	3
 Chapitre 1 : Synthèse et bilan de l'existant : état des lieux des actions d'observation et des études des herbiers	 5
1.1. Démarche et méthodologie	7
1.2. Les suivis existants dans les territoires de l'Outre-mer	7
1.2.1. Les suivis à l'échelle internationale	7
1.2.2. Les suivis à l'échelle européenne	8
1.2.3. Les suivis à l'échelle nationale et régionale	8
1.2.4. Les suivis dans un contexte local ou ponctuel	8
1.3. Synthèse des connaissances et des actions de suivi des herbiers dans les Antilles françaises	11
1.3.1. Bilan des études et des suivis en Martinique	11
1.3.2. Bilan des études et des suivis en Guadeloupe	18

1.3.3. Bilan des études et des suivis à Saint-Martin	28
1.3.4. Bilan des études et des suivis à Saint-Barthélemy	31
1.4. Discussion	11
1.5. Synthèse des actions et paramètres mesurables	39
1.6. Réflexion sur l'intérêt d'une boîte à outils de protocoles de suivi des herbiers.....	40
1.7. Rechercher des situations de référence non perturbées par les activités trophiques.....	42
1.8. Conclusion.....	44
Chapitre 2 : Intérêts de la prise en compte d'une échelle « site » dans la caractérisation de la structure, du fonctionnement et de l'évolution des herbiers	45
2.1. Intégrer la diversité des types d'herbiers de phanérogames marines dans l'évaluation et les suivis	46
2.2. Vers une typologie des herbiers de l'Outre-mer français	47
2.3. La diversité de la structure des herbiers en Guadeloupe et à Saint-Martin.....	48
2.3.1. Sites prospectés.....	48
2.3.2. Diversité des sites.....	48
2.4. Vers une approche nouvelle de la structure, fonctionnement et évolution des herbiers à l'échelle "site"	48

Chapitre 3 : Caractérisation de la fragmentation des herbiers par vidéo tractée	60
3.1. Définition et méthodes existantes	61
3.1.1. Terminologie : la fragmentation dans l'organisation spatiale d'un herbier	61
3.1.2. Méthodes de suivi existantes : techniques d'imageries satellitaires et aéroportées, analyse des images aériennes	63
3.1.3. Synthèse des méthodes de vidéo transects.....	64
3.2. La détermination de la fragmentation par la réalisation de transects vidéo	65
3.2.1. Objectif et principe de la méthode	65
3.2.2. Secteurs et période d'étude	65
3.2.3. Matériel moyens et méthodes	67
3.2.4. Mode opératoire et protocole de terrain	68
3.2.5. Transfert des données et préparation pour le visionnage et analyse des vidéos.....	70
3.2.6. Analyse des vidéos	70
3.2.7. Essai de calibration	73
3.2.8. Résultats de la détermination de la fragmentation par vidéo-transect	76
3.3. Discussion sur le protocole de vidéo tractée pour la détermination de la fragmentation	78
3.3.1. Le principe.....	78
3.3.2. La technique.....	78
3.3.3. Les résultats : confrontation avec une méthode d'analyse d'image	79
3.4. Protocole synthétique pour la détermination de la fragmentation	80

3.5. Autres applications possibles de la vidéo tractée	81
3.5.1. Estimation visuelle de la densité de l'herbier	81
3.5.2. Plurispécificité de l'herbier.....	82
3.5.3. Déchaussement des rhizomes	83
3.5.4. Mégafaune	84
3.5.5. Pression de broutage	85
3.5.6. Limites inférieures et supérieures	86
3.5.7. Superficie	86
 3.6. Conclusion et perspectives de la méthodologie	81
 CONCLUSION	88
 BILIOGRAPHIE	89

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : photo d'un herbier dégradé par la l'envasement et la présence de cyanobactéries dans la baie des Saintes, Terre-de-Haut, Guadeloupe

Figure 2 : schéma des étapes de la mise en place du réseau d'observation des herbiers de l'Outre-mer et actions réalisées pendant le stage

Figure 3 : carte de localisation des territoires concernés par le réseau d'observation des herbiers de l'Outre-mer

Figure 4 : carte de localisation représentant le nombre de stations de suivi des herbiers dans les différentes îles de l'Outre-mer

Figure 5 : carte de synthèse sur les suivis des herbiers de Martinique

Figure 6 : carte de synthèse sur les suivis des herbiers de Guadeloupe

Figure 7 : carte de synthèse sur les suivis des herbiers de Saint-Martin

Figure 8 : carte de synthèse sur les suivis des herbiers de Saint-Barthélemy

Figure 9 : circuit d'acquisition actuel des données des suivis des herbiers aux Antilles françaises

Figure 10 : tortue verte après une phase d'alimentation sur un herbier d'*Halodule sp.* à l'îlet Tintamarre (Saint-Martin)

Figure 11 : baie de l'Embouchure à Saint-Martin. Situation des herbiers entre mangrove et récifs

Figure 12 : herbiers d'*Halodule sp.* et palétuviers en sortie de lagune dans la baie de l'Embouchure à Saint-Martin

Figure 13 : sites prospectés sur l'île de la Guadeloupe

Figure 14 : sites prospectés sur l'île de Terre-de-Haut (Les Saintes, Guadeloupe)

Figure 15 : sites prospectés sur l'île de Saint-Martin

Figure 16 : Herbier de *Thalassia testudinum*. Baie de Lucas (Saint-Martin). Symbole : source: <http://ian.umces.edu>

Figure 17 : Herbier de *Syringodium filiforme*. Baie de Lucas (Saint-Martin). Symbole : source: <http://ian.umces.edu>

Figure 18 : Herbier d'*Halodule* sp. Anse du Rocroy (Guadeloupe). Symbole : source: <http://ian.umces.edu>

Figure 19 : Herbier d'*Halophila stipulacea*. Anse du petit Malendure. (Guadeloupe). Symbole : source: <http://ian.umces.edu>

Figure 20 : herbier monospécifique de *Syringodium filiforme* à l'anse du Bois Joli (Terre-de-Haut, Les Saintes, Guadeloupe)

Figure 21 : herbier mixte de *Thalassia testudinum* et *Halophila stipulacea* à Terre-de-Haut (Les Saintes, Guadeloupe)

Figure 22 : herbier mixte de *Thalassia testudinum* et *Syringodium filiforme* à l'îlet de la baie de l'Embouchure à Saint-Martin

Figure 23 : herbier mixte de *Thalassia testudinum* et *Syringodium filiforme* dans la baie de Lucas à Saint-Martin

Figure 24 : herbier de *Thalassia testudinum* dans la baie de Pompierre à Terre-de-Haut (Les Saintes, Guadeloupe)

Figure 25 : herbier de *Thalassia testudinum* à l'îlet de la baie de l'Embouchure à Saint-Martin

Figure 26 : herbier de *Syringodium filiforme* à la plage des Salines en Guadeloupe

Figure 27 : herbier de *Syringodium filiforme* à la plage du Pain de Sucre à Terre-de-Haut (Les Saintes, Guadeloupe)

Figure 28 : les étapes de fragmentation de l'herbier

Figure 29 : schéma de situation des secteurs de réalisation des transects en vidéo tractée

Figure 30 : matériel vidéo

Figure 31 : mode opératoire de l'acquisition des données vidéos à l'analyse des données

Figure 32 : radiales réalisées dans la baie du Marigot (Terre-de-Haut, Les Saintes, Guadeloupe)

Figure 33 : choix des échantillons vidéos et secteurs d'études dans la baie du Marigot (Terre-de-Haut, Les Saintes, Guadeloupe)

Figure 34 : taille moyenne des patchs d'herbiers dans la baie du Marigot par analyse

Figure 35 : détournement des zones d'herbiers sous Image J. Exemple du secteur nord ouest (zone A)

Figure 36 : densité de l'herbier dans le secteur A de la baie du Marigot à Terre-de-Haut (Les Saintes, Guadeloupe)

Figure 37 : herbier mixte à *Halophila stipulacea* (1), *Syringodium filiforme* (2) et *Thalassia testudinum* (3), dans la baie de Pompierre à Terre-de-Haut (Les Saintes, Guadeloupe)

Figure 38 : plurispécificité de l'herbier dans le secteur A de la baie du Marigot. HTD : Herbier à dominance nette de *T. testudinum*, HMTS : herbier mixte à *T. testudinum* et *S. filiforme*, HSD : herbier à dominance nette de *S. filiforme*, HI : herbier indéterminé

Figure 39 : rhizomes visibles en limite d'herbier à l'île de Tintamarre à Saint-Martin

Figure 40 : lambis (*Strombus gigas*) et oursins blancs (*Tripneustes ventricosus*) dans un herbier mixte (*Thalassia* et *Syringodium*) associé à des macroalgues dans la baie de Pompierre (Terre-de-Haut, Les Saintes, Guadeloupe)

Figure 41 : herbier de *Thalassia testudinum* brouté par des oursins blancs dans la baie de l'Embouchure (Saint-Martin)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : stations de suivi des herbiers en Martinique

Tableau 2 : stations de suivi des herbiers en Guadeloupe

Tableau 3 : stations de suivi des herbiers à Saint-Martin

Tableau 4 : stations de suivi des herbiers à Saint-Barthélemy

Tableau 5 : comparatif des suivis des herbiers aux Antilles

Tableau 6 : nombre de site prospectés

Tableau 7 : résultats de comparaison pour la fragmentation et le recouvrement entre l'analyse sous SIG des Ortholittorales et vidéo

Tableau 8 : résultats de caractérisation de la fragmentation de l'herbier de la baie du Marigot par analyse vidéo

Tableau 8 : résultats de fragmentation et de recouvrement par traitement d'image sous Image J pour le secteur A de la baie du Marigot

LISTE DES DOCUMENTS FOURNIS EN ANNEXE

Annexe 1 : synthèse des études des herbiers en Martinique

Annexe 2 : synthèse des travaux de cartographie des herbiers en Martinique

Annexe 3 : synthèse des études des herbiers en Guadeloupe

Annexe 4 : synthèse des travaux de cartographie des herbiers en Guadeloupe

Annexe 5 : synthèse des travaux de cartographie des herbiers à Saint-Martin

Annexe 6 : synthèse travaux de cartographie des herbiers à Saint-Barthélemy

Annexe 7 : méthodes de caractérisation et de suivi des herbiers

Annexe 8 : classification des biocénoses et substrats pour l'analyse vidéo

Annexe 9 : protocole d'étude de la fragmentation de l'herbier en vidéo tractée

ABREVIATIONS

AMP : aire marine protégée

BE : bureau d'étude

DEAL : direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement

DCE : directive cadre sur l'eau

DOM : départements de l'Outre-mer

GCSM : Grand-Cul-de-Sac-Marin

ICRI : International coral reef initiative

IFRECOR : Initiative française pour les récifs Coralliens

LEMAR : laboratoire des sciences de l'environnement marin

MNHN : muséum national d'histoire naturelle

ONEMA : office national de l'eau et des milieux aquatiques

PMT : plongée avec des palmes, masque et tuba

PN : parc national

PNM : parc naturel marin

PNG : parc national de la Guadeloupe

RNN : réserve naturelle nationale

RNNSM : réserve naturelle nationale de Saint-Martin

RESOBS : réseau d'observation

TIT : thème d'intérêt transversal

UAG : université des Antilles et de la Guyane

INTRODUCTION

Les phanérogames marines sont des plantes à fleurs (angiospermes) marines et estuariennes, monocotylédones, formant des prairies sous marines appelées herbiers marins. Le groupe qu'elles constituent est représenté par 68 espèces de phanérogames marines dans le monde. Elles représentent seulement 0,2 % des angiospermes, ce qui constitue un nombre restreint comparé aux autres groupes d'organismes marins (Hemminga et Duarte, 2000). Espèces ingénieuses, elles jouent un rôle important dans les zones côtières où elles sont présentes en créant des écosystèmes particuliers. Leur aire de distribution est vaste du fait qu'elles sont installées dans la majorité des zones côtières mondiale à l'exception du littoral de l'Antarctique. Dix-neuf espèces de phanérogames marines sont installées en Outre-mer où elles sont bien développées. Elles forment des habitats remarquables sur les milieux sédimentaires côtiers, excepté à St Pierre-et-Miquelon, en Guyane et à l'île de Clipperton. De nombreuses études ont été réalisées sur les herbiers, particulièrement sur leur écologie et leur biologie, mais aussi sur leur physiologie et les problèmes de génétique. Récemment, des travaux effectués sur le stockage du carbone (Fourquaran *et al*, 2012) et leur rôle positif pour les récifs coralliens (Unsworth's *et al*, 2012) ont permis de montrer à nouveau la fonction écologique importante des herbiers. Néanmoins, le bilan réalisé dans le cadre de l'IFRECOR sur les herbiers de phanérogames marines de l'Outre-mer français (Hily *et al*, 2010) a mis en évidence les fortes disparités sur les connaissances de ces espèces et les habitats associés selon les territoires. En effet, si des actions de suivi sont mises en place dans les départements de l'Outre-mer (DOM) pour répondre à la directive européenne cadre sur l'eau (DCE) ou bien au niveau des aires marines protégées (AMP) dans un contexte d'actions

conservatoires, il n'y a pas de lien entre ces démarches. Dans ce contexte, une meilleure connexion entre ces actions est devenue souhaitable. Ainsi en 2010 les Ministères de l'Outre-mer et de l'Ecologie ont lancé dans le cadre de l'IFRECOR, la mise en place d'un réseau d'observation des herbiers à l'échelle de l'ensemble des territoires de l'Outre-mer français afin d'accroître les connaissances sur cet écosystème et de suivre son état de santé à l'échelle locale et de l'Outre-mer. Cette démarche se situe dans le thème d'intérêt transversal "Réseau d'Observation" qui est coordonné et animé par C. Hily (LEMAR, IUEM, UBO).

Le travail présenté ici s'intègre dans ce cadre et porte sur différentes actions et étapes de la mise en place de ce réseau d'observation. La mission réalisée dans ce contexte en Guadeloupe et à Saint-Martin du 20 mai au 4 juin 2012 a permis de traiter plusieurs éléments de ce projet par la collecte d'informations et de données, la rencontre des acteurs et plus particulièrement pour le développement d'une nouvelle méthodologie pour l'étude de la fragmentation, paramètre clé dans le suivi des herbiers à l'échelle du site où ils sont implantés. Dans ce travail, une synthèse des études et suivis des herbiers au sein des différentes collectivités de l'Outre-mer abritant des herbiers de phanérogames marines sera tout d'abord présentée avant de développer l'intérêt d'une nouvelle approche dans le suivi des herbiers à l'échelle d'un site permettant de prendre en compte son fonctionnement spécifique. Enfin, la nouvelle méthodologie en vidéo tractée, testée sur place pour l'étude de la fragmentation de l'herbier sera présentée.

AVANT PROPOS

L'IFRECOR et ses actions

Présentation de l'Ifrecor

Créée par le Premier ministre le 1er avril 1998, en application des principes de l'international coral reef initiative (ICRI), l'initiative française pour les récifs coralliens (IFRECOR) agit depuis plus de dix ans en faveur de la protection et la gestion durable des récifs coralliens et plus récemment, pour celle des écosystèmes associés tels que les mangroves et les herbiers de phanérogames marines dans les collectivités françaises de l'Outre-mer.

L'IFRECOR est constituée d'un comité national chargé de coordonner les échanges et de définir un cadre général d'action et d'un réseau de huit comités locaux représentant les collectivités françaises abritant des récifs coralliens : Guadeloupe, Martinique, La Réunion, Mayotte, les îles Eparses, Nouvelle-Calédonie, Wallis et Futuna et la Polynésie française.

L'objectif principal de l'IFRECOR est de promouvoir la protection et la gestion durable des récifs coralliens et des écosystèmes associés dans les collectivités d'Outre-mer.

Afin de répondre à cet objectif, des plans d'actions quinquennaux ont été mis en place par le comité national. Ils sont développés autour de plans d'actions locaux établis par chaque collectivité, et de programmes spécifiques transversaux, les thèmes d'intérêt transversaux (TIT). Trois plans d'action nationaux ont ainsi été réalisés. Le dernier en date est en cours sur la période 2011-2015.

Le plan d'action national 2011-2015

Suite au plan d'action 2006-2010, cette troisième phase du plan d'action national (2011-2015) comprend six axes stratégiques :

1. Planifier pour prévenir
2. Réduire les effets négatifs dûs aux activités humaines tout en assurant leur développement durable
3. Connaître et comprendre pour gérer
4. Informer, former et éduquer pour modifier les comportements
5. Développer les moyens d'action
6. Développer les échanges et la coopération pour renforcer les synergies et valoriser les expériences

Il s'articule autour de huit actions transversales qui présentent un intérêt pour l'ensemble des collectivités et nécessitent un travail en réseau (les "Thèmes d'Intérêt transversal – TIT ») :

1. Gouvernance
2. Adaptation au changement climatique
3. Socio-économie
4. Aires Marines Protégées
5. Biodiversité
6. Réseaux d'observation
7. Cartographie
8. Éducation-sensibilisation-communication

Il s'établit donc également autour des plans d'actions locaux établis dans chacune des collectivités d'outre-mer par les comités locaux en Guadeloupe, Martinique, La Réunion, Mayotte, les îles Eparses, Nouvelle-Calédonie, Wallis et Futuna et en Polynésie française.

Le thème d'intérêt transversal TIT Réseaux d'observation

Le thème d'intérêt transversal RESOBS comporte différents volets dans le cadre du suivi de l'état de santé des récifs coralliens et des écosystèmes associés, de l'environnement et des changements climatiques :

1.1. Suivis récifs

1.2a : suivis herbiers

1.2b : suivis mangroves

1.3 Suivi qualité physico-chimique

1.4a. Suivi contaminants chimiques Pesticides

1.4b. Suivi contaminants naturels

1.5. Suivi changements climatiques

2. Bases de données

Le réseau d'observation des herbiers de l'Outre-mer

Dans le cadre du 3ème Plan d'Action National IFRECOR, une activité «Réseau d'Observation des herbiers de phanérogames marines» est initiée pour 2011-2015 à l'échelle de l'Outre-mer, collectivités d'Outre-mer (COM) comprise. L'IFRECOR qui, dans les domaines des écosystèmes coralliens, réunit l'ensemble des institutions actives dans l'Outre-mer français, est la structure qui peut faciliter la mise en cohérence des acteurs et des actions à l'échelle de l'Outre-mer et assister ainsi les Ministères de l'Ecologie et des Outre-mers dans leur actions.

Le bilan réalisé en amont dans le cadre de l'IFRECOR sur les connaissances et l'état des lieux des herbiers de phanérogames marines de l'Outre-mer français (Hily *et al*, 2010) a permis de mettre en lumière les fortes disparités sur les connaissances acquises sur ces espèces et les habitats associés qu'elles constituent, suivant les territoires. Ce bilan

a fait apparaître que les actions autour des herbiers se limitaient à la description des espèces dans leur aire d'installation et que, si des suivis existaient, il n'y avait pas véritablement de lien entre ces démarches ni à travers les protocoles, ce qui ne permettait pas de faire de comparaisons. Pourtant, au vu des pressions croissantes qui leur sont imposées, il est nécessaire de poursuivre l'acquisition des connaissances sur ces écosystèmes et de diminuer les disparités sur leurs suivis dans l'ensemble des territoires de l'outre-mer afin de connaître leur évolution et leur état écologique. Dans de nombreux secteurs en effet, les herbiers sont soumis à des pressions croissantes naturelles, anthropiques, directes ou indirectes, source de dégradation affectant les herbiers à différents niveaux (**Figure 1**).



Figure 1 : photo d'un herbier dégradé par l'envasement et la présence de cyanobactéries dans la baie des Saintes, Terre-de-Haut, Guadeloupe

Ces habitats sensibles qui présentent en outre un fort intérêt écologique et patrimonial maintenant reconnu, rendent aussi de nombreux services écosystémiques. Ils nécessitent ainsi leur prise en considération au même titre que les écosystèmes littoraux tropicaux qui leurs sont associés tels que les récifs coralliens et les mangroves. Ce besoin de connaissance et de suivi en vue de leur protection est d'autant plus important qu'il n'existe pas de réglementation internationale spécifique à la protection des herbiers.

Dans un contexte de conservation, la mise en place d'un réseau d'observation des herbiers structuré à l'échelle de l'Outre mer, avec un ensemble de protocoles standardisés, ayant une base commune minimum à tous les sites, est devenue essentielle pour que la caractérisation et l'évolution de leur état écologique dans chaque territoire puissent être replacées dans un ensemble cohérent (Hily *et al*, 2010). Ce réseau d'observation doit s'appuyer sur les structures déjà en place ou en devenir, comme les réserves naturelles nationales (RNN), les parcs nationaux (PN) et les aires marines protégées (AMP), mais aussi les sites des suivis se développant pour l'application des directives européennes comme la Directive Cadre sur l'eau et les plans nationaux sur certaines espèces (dugong, tortues, etc.). Ce réseau d'observation regroupant les différents suivis écologiques, monitoring, mais aussi collectant les observations plus ponctuelles, issues d'études spécifiques ou d'événements particuliers, bénéficiera de la connaissance des sites, et des moyens des gestionnaires dans leurs espaces de compétences. L'action de l'IFRECOR, outre l'organisation et la structuration de la collecte et de la bancarisation et analyse des données, doit aussi proposer des sites de suivi là où existeraient des vides manifestes. Ainsi la recherche de sites de références non perturbés dans des conditions fonctionnelles optimales, c'est-à-dire là

où se rencontre une continuité des trois écosystèmes : mangrove-herbier-récif, est également dans les objectifs de ce réseau.

C'est dans ce contexte que le stage ici présenté s'est situé. Le rapport porte sur les différentes actions et étapes de la mise en place de ce réseau d'observation des herbiers auquel j'ai participé (en bleu):

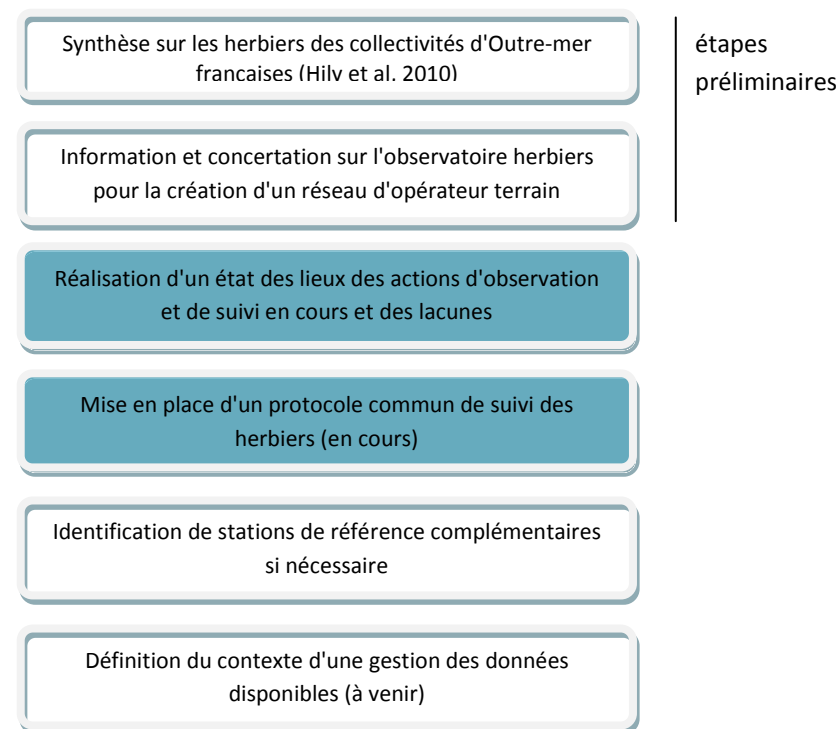


Figure 2 : schéma des étapes de la mise en place du réseau d'observation des herbiers de l'Outre-mer et actions réalisées pendant le stage

Chapitre 1



Synthèse et bilan de l'existant : état des lieux des actions d'observation et des études des herbiers

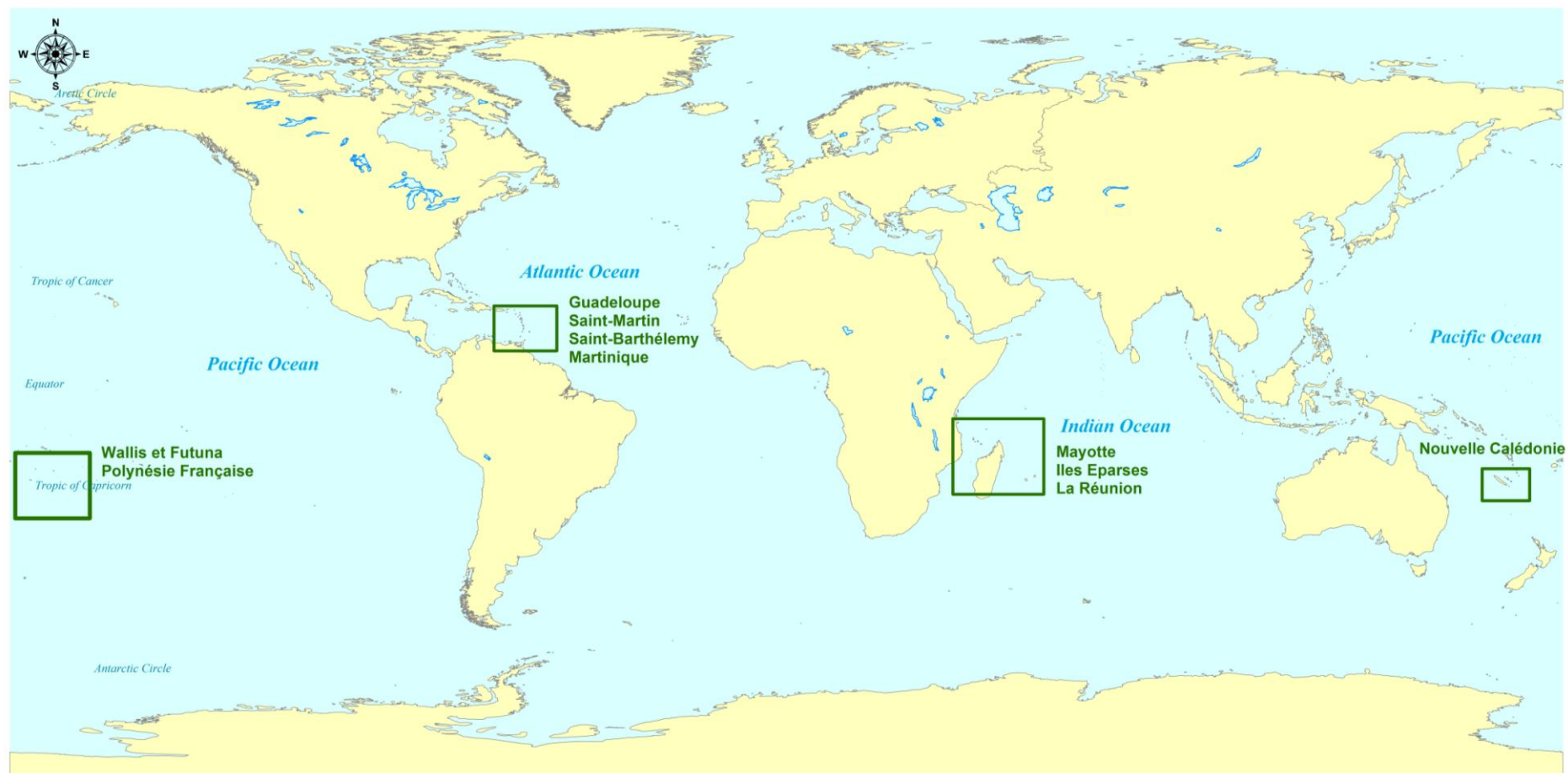


Figure 3 : carte de localisation des territoires concernés par le réseau d'observation des herbiers de l'Outre-mer

Réalisation : Fanny Kerninon
LEMAR/IUEM, 2012

Plate Carrée Projection
Central Meridian: 0.00



Dans les collectivités territoriales d'Outre-mer, les phanérogames marines sont considérablement développées et, à l'exception de St Pierre-et-Miquelon, de la Guyane et de Clipperton, elles constituent des habitats remarquables dans de nombreux lagons et plus rarement sur les pentes externes des récifs coralliens (*Hily et al*, 2010). C'est au sein de ces collectivités que le projet de réseau d'observation des herbiers de phanérogames marines de l'Outre-mer va s'établir (**Figure 3**).

Cette partie répond à un objectif premier du TIT réseau d'observation en réalisant un état des lieux des actions d'observation et de suivi, en cours et en projet, dans les différents programmes et institutions opérant dans les territoires de l'Outre-mer concernés.

Cette démarche améliorera et harmonisera les connaissances et les suivis sur les herbiers de phanérogames marines dans les territoires de l'Outre-mer, tentera de maintenir une information actualisée sur les actions menées sur les herbiers et de connaître les tendances d'évolution de leur état de santé. Le réseau devrait mettre en évidence à la fois les originalités des différents territoires au niveau des herbiers, comparer les évolutions, confronter les expériences pour finalement aider le gestionnaire à en améliorer la gestion conservatoire mais aussi le maintien des services qu'ils rendent à l'homme à l'échelle globale de l'Outre-mer.

1.1. Démarche et méthodologie

Une des premières étapes de ce travail a été d'effectuer une recherche bibliographique sur les différents types de suivis des herbiers à l'échelle globale de l'Outre-mer et par territoire. En parallèle, les

différents acteurs gestionnaires de zones où sont implantés des herbiers dans les Antilles ont été contactés : les directions de l'environnement (DEAL), les réserves naturelles (RN), les parcs naturels régionaux (PNR), les bureaux d'étude (BE) pour la récolte de rapports d'études, rapports de suivi, la validation des stations de suivi. La mission en Guadeloupe et à Saint-Martin a permis la rencontre d'une partie de ces acteurs œuvrant dans le suivi des herbiers.

1.2. Les suivis des herbiers existant dans les territoires de l'Outre-mer

1.2.1. Les suivis à l'échelle internationale

SeagrassNet est un programme mondial de surveillance des herbiers dans le but de les protéger en augmentant les connaissances scientifiques et la sensibilisation au public. Un site de SeagrassNet a été mis en place par le DAF de Mayotte sur le récif nord-est en 2008 mais n'a pas été poursuivi ensuite. La mise en place du parc naturel marin de Mayotte va conduire à une nouvelle définition des études et suivis des herbiers dans ce territoire en concertation avec le TIT réseau d'observation herbier.

1.2.2. Les suivis à l'échelle européenne

DCE

La DCE est une directive européenne s'appliquant à l'ensemble des pays membres de l'Union Européenne visant l'atteinte à l'horizon 2015 d'un bon état écologique et chimique des masses souterraines et de surface. La DCE s'applique en France dans les départements suivant une approche par masse d'eau, site et station. Pour répondre aux exigences en termes de qualité de l'eau, les herbiers sont pris en compte en tant qu'élément de qualité. Leur sensibilité aux variations environnementales, font d'eux des témoins potentiels des effets des changements de l'environnement (Hemminga et Duarte, 2000, Fourquerean *et al*, 2002). Ainsi, plusieurs paramètres candidats pour répondre aux questions de la DCE ont été testés notamment aux Antilles tels que la proportion et la densité de plants de *Thalassia testudinum* et *Syringodium filiforme*, la hauteur de la canopée de *Thalassia testudinum* et la couverture en macroalgues. Cependant, le manque de connaissances sur ces herbiers tropicaux ainsi que le manque de recul en terme de données ne permettent pas encore de fixer des références et grilles de qualité. Il est ainsi nécessaire d'acquérir des données complémentaires afin de s'assurer de la pertinence de cet indicateur pour répondre aux exigences de la DCE. Dans ce contexte, et suite à un atelier de travail réunissant l'ensemble des institutions et des experts, l'ONEMA et le Muséum d'Histoire Naturel, vont financer une étude sur la typologie des herbiers de l'Outre-mer dans les territoires concernés : Martinique, Guadeloupe et Mayotte (ce point sera développé dans deuxième chapitre).

1.2.3. Les suivis à l'échelle nationale et régionale

Dans un objectif général de gestion et de protection, plusieurs collectivités de l'Outre-mer ont mis en place des aires marines protégées de différents types ou d'autres zones réglementées. Les aires marines protégées situées en zone de parcs nationaux, régionaux ou au sein des réserves naturelles nationales et régionales, sont des espaces concernées par la mise en place de suivis, incluant potentiellement les herbiers dans un contexte de gestion et de protection de ces sites. Dans les collectivités de l'Outre-mer concernées, de nombreuses aires marines protégées sont présentes (modifié d'après Hily *et al*, 2010) :

Archipel de la Guadeloupe :

- réserve naturelle nationale du Grand Cul-de-sac Marin
- réserve naturelle nationale de Petite-Terre,
- réserve naturelle nationale de la Désirade

Saint-Martin :

- réserve naturelle nationale de Saint-Martin

Saint-Barthélemy :

- réserve naturelle nationale de Saint-Barthélemy

Martinique :

- réserve naturelle nationale des Ilets de Sainte-Anne
- réserve naturelle nationale de la presqu'île de la Caravelle,
- projet de parc naturel marin

La Réunion :

- réserve naturelle nationale marine de La Réunion.

Mayotte :

- sites du Conservatoire du littoral de la Vasière des Badamiers-Lagune de Fangoujou
- réserve naturelle nationale Ilot Mbouzi
- parc de Saziley
- parc naturel marin de Mayotte

Iles Eparses :

- réserves naturelles préfectorales d'Europa et de l'archipel des Glorieuses
- futur parc naturel marin aux Glorieuses.

Nouvelle-Calédonie :

- 3 réserves marines intégrales
- 13 réserves naturelles marines
- 8 aires marines de gestion durable des ressources en Province Sud
 - 1 réserve naturelle intégrale
- 1 aire de gestion durable des ressources
- 4 réserves de nature sauvage
- 1 parc provincial en Province Nord

Wallis et Futuna :

- Trou de la Tortue et Lano.

Polynésie Française :

- Plans de Gestion de l'Espace Marin de Moorea et de Fakarava.

Malgré le nombre et la diversité de ces zones marines de protections, peu sont celles qui ont pris en compte les herbiers de phanérogames marines comme élément déterminant pour leur gestion et encore moins nombreuses sont celles qui ont mis en place des suivis spécifiques réguliers. Parmi les secteurs les plus couverts par les suivis, les Antilles françaises se démarquent par le nombre de stations de suivis des herbiers et les réseaux en place. Le parc national de la Guadeloupe et la DEAL pour l'ensemble des réserves naturelles des îles de la Guadeloupe ont initié des suivis des herbiers à l'échelle de la Guadeloupe. Néanmoins, les paramètres suivis se limitent bien souvent aux mesures de la densité de plants de *Thalassia testudinum* et à la hauteur de la canopée de *Thalassia testudinum* qui ne permettent pas une détermination précise de l'état de santé de ces herbiers selon les comptes rendus de l'atelier DCE de janvier 2012.

1.2.4. Les suivis dans un contexte local ou ponctuel

Des suivis ponctuels sont parfois réalisés dans le cadre d'études et des travaux de recherches mais sur de courtes périodes dans le but de mieux connaître les espèces.

En synthétisant l'ensemble de ces actions de suivis au sein de ces régions de l'Outre-mer et au vu de l'importance du suivi des herbiers dans le secteur antillais (**Figure 4**), par rapport aux autres régions géographiques, la synthèse des connaissances sera axée sur ce secteur.

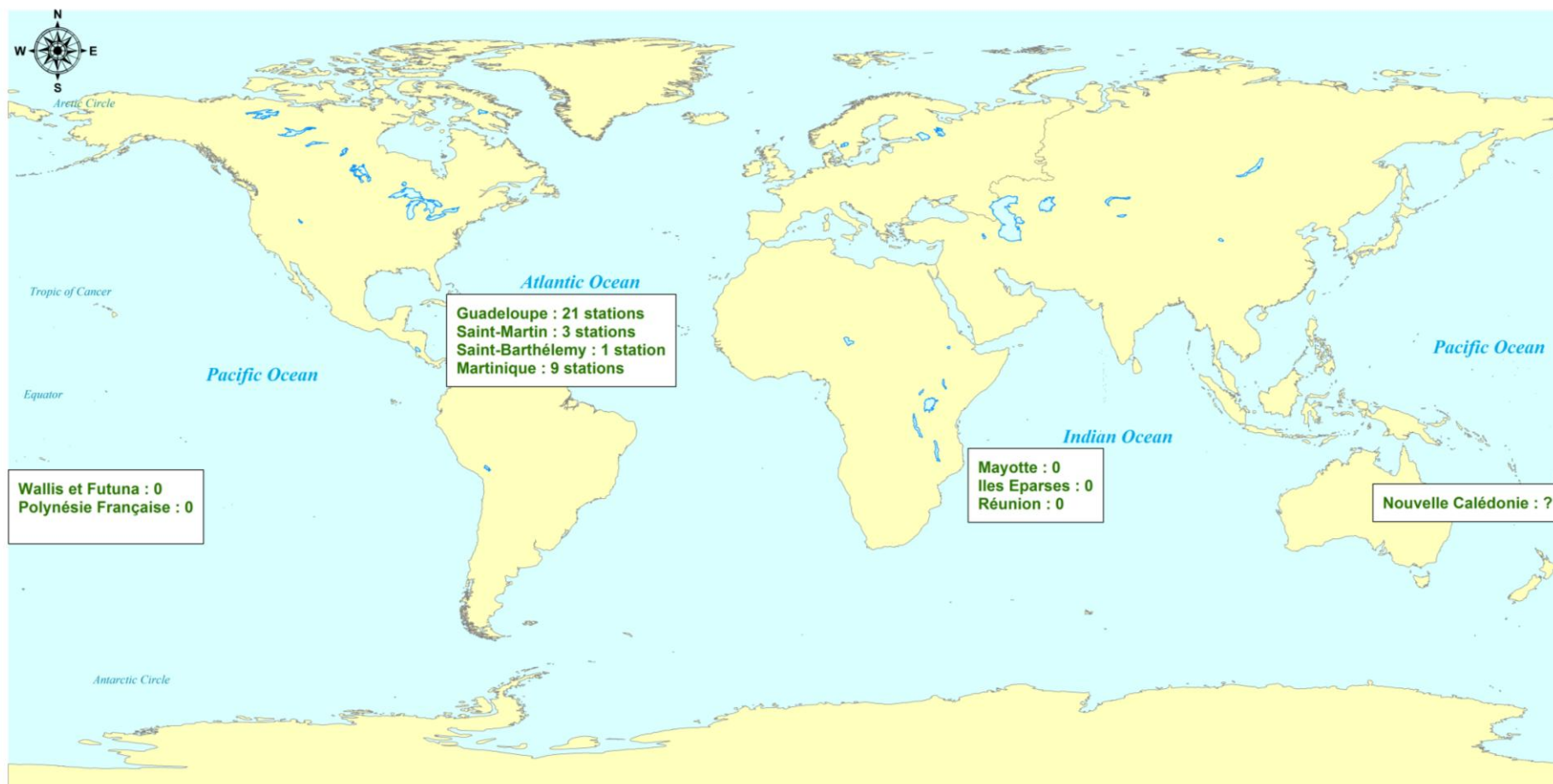


Figure 4 : carte de localisation représentant le nombre de stations de suivi des herbiers dans les différentes îles de l'Outre-mer

Réalisation : Fanny Kerninon
 LEMAR/IUEM, 2012

Plate Carrée Projection
 Central Meridian: 0.00



1.3. Synthèse des connaissances et des actions de suivis des herbiers dans les Antilles françaises

1.3.1. Bilan des études et des suivis en Martinique

Des études spécifiques ou incluant les herbiers ont été réalisées sur l'île de la Martinique (**Annexe 1**). Des travaux de cartographie ont également permis leur localisation (**Annexe 2**).

En Martinique, les herbiers de phanérogames marines sont suivis par un ensemble de stations (**Tableau 1, Figure 5**) mises en place dans des contextes variés par différents organismes :

- Suivis DCE

Les herbiers de la Martinique sont suivis dans le cadre de la DCE dont le réseau de référence et de surveillance DCE a été mis en place en 2007. Au total, neuf stations "herbier" sont implantées dans les différentes masses d'eaux. Un suivi des macroalgues au sein des herbiers a été ajouté depuis 2009. Le suivi est réalisé par le bureau d'études Impact Mer pour la DEAL de Martinique.

Les stations ont été échantillonnées deux ou trois fois ces trois dernières années dans le cadre de la mise en œuvre de la DCE. La fréquence de routine sera ensuite d'une fois tous les ans pour certaines métriques et tous les 3 ans pour d'autres. A noter que ce suivi sera éventuellement modifié, suite à l'étude à venir sur la typologie des herbiers de l'Outre-mer.

- Suivis à venir

Le Parc Naturel Régional de Martinique qui œuvre dans l'étude des herbiers, a récemment commandé une étude à l'OMMM sur la caractérisation des herbiers dans le périmètre de protection de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne. Ce travail devrait se poursuivre par un suivi dont le protocole reste à définir.

Dans le cadre du contrat de la baie de Fort-de-France et de son bassin versant, une étude datant de décembre 2010 pour le compte de la communauté d'agglomération du centre Martinique (CACEM) réalisée par les bureaux d'étude Impact-Mer et Asconit-Consultant (Assistance à la définition et à la mise en place du réseau de suivi du contrat de la Baie de Fort-de-France), propose de compléter les suivis existants et de créer de nouvelles stations de suivi. Ainsi cinq stations (de priorité 1) auxquelles s'ajouteraient éventuellement des stations (de priorité 2) devraient être mises en place. Le document ayant été validé en avril 2012, l'ensemble des stations devrait être rapidement opérationnel.

Tableau 1 : stations de suivi des herbiers en Martinique

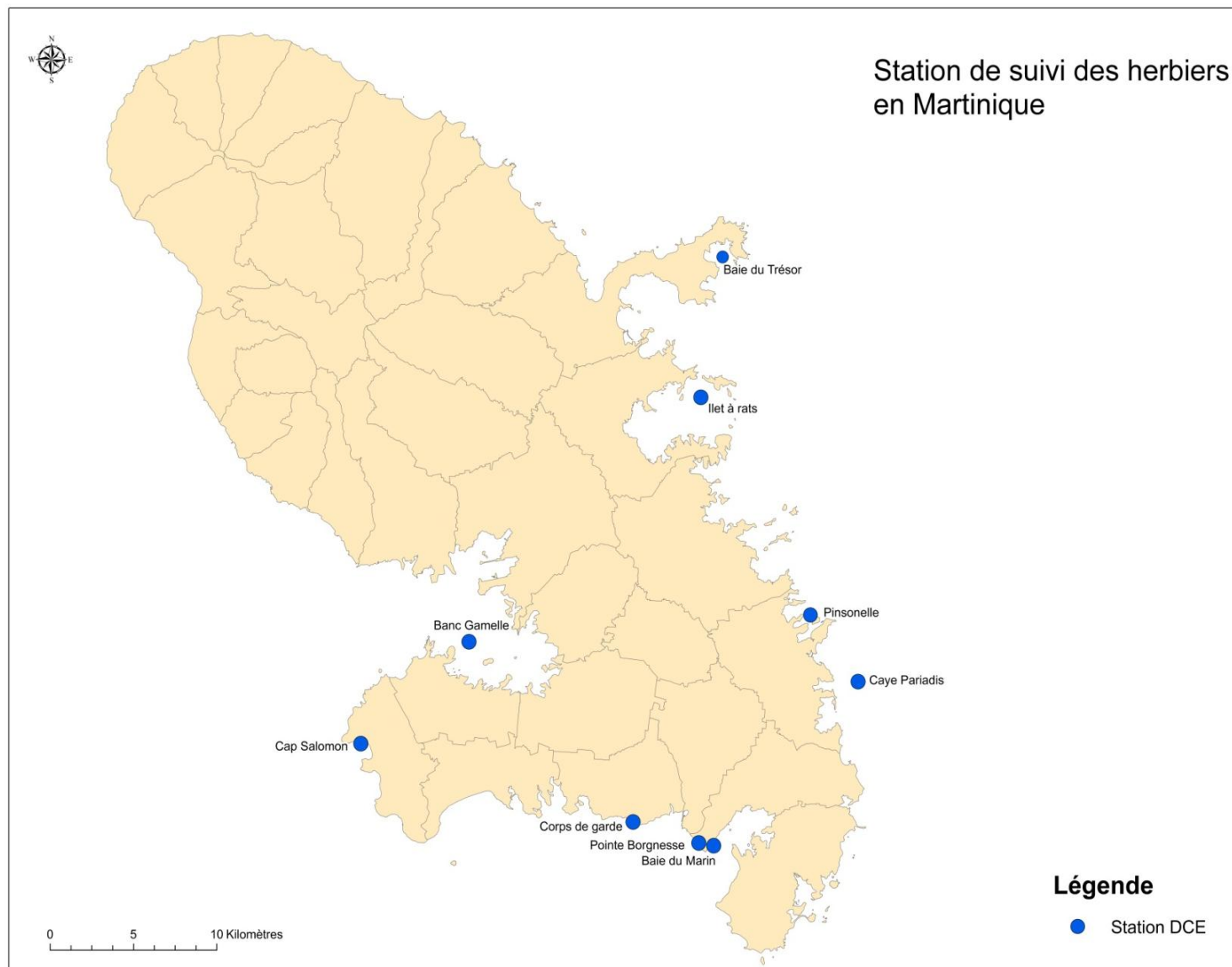
Site/masse d'eau	Opérateurs	Station	Coordonnées	Type herbier	Prof-	Fréquence/ Date	Informations	Temps et budget	Source	Stockage
Suivis DCE pour la DEAL										
Baie de Génipa FRJC001	Maître d'ouvrage : DEAL Martinique Maître d'œuvre: Impact Mer	Banc Gamelle Station de surveillance	UTM 20, WGS84 X : 712370 Y : 1610800	<i>Thalassia testudinum</i>	2 m	-2007 -Non réalisée en 2009 - 2010 (début novembre) Echantillonnage : A terme tous les 3 ans	<i>Protocole DCE</i> : - Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé - Etude complémentaire de la couverture macroalgale au sein des herbiers (2009) -Limite inférieure de l'herbier (2010)	Impact Mer : 0,5jours de plongée/ station	Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2011 Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2010 Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2009	Résultats disponibles sous forme de graphiques (PDF) Stockage : DEAL Martinique/ Impact Mer
Anses d'Arlet FRJC003	Maître d'ouvrage : DEAL Martinique Maître d'œuvre: Impact Mer	Cap Salomon Station de surveillance - référence	UTM 20, WGS84 X : 705879 Y : 1604552	<i>Thalassia testudinum</i>	6 m	- 2009 (oct.-dec.) - 2010 (début nov.) Echantillonnage : A terme tous les 3 ans	<i>Protocole DCE</i> : - Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé - Etude complémentaire de la couverture macroalgale au sein des herbiers (2009) -Limite inférieure de l'herbier (2010)	Impact Mer : 0,5jours de plongée/ station	Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2011 Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2010 Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2009	Résultats disponibles sous forme de graphiques (PDF) Stockage : DEAL Martinique/ Impact Mer

Littoral du Vauclin à Sainte-Anne FRJC006	Maître d'ouvrage : DEAL Martinique Maître d'œuvre: Impact Mer	Caye Pariadis Station de surveillance	UTM 20, WGS84 X : 736029 Y : 1608287	<i>Thalassia testudinum</i>	8-10 m	- Non ech. en 2010 Echantillonnage : A terme tous les 3 ans Note : Station repositionnée à une profondeur inférieure	<i>Protocole DCE :</i> - Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé - Etude complémentaire de la couverture macroalgale au sein des herbiers (2009) -Limite inférieure de l'herbier (2010)	Impact Mer : 0,5jours de plongée/ station	Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2011 Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2010 Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2009	Résultats disponibles sous forme de graphiques (PDF) Stockage : DEAL Martinique/ Impact Mer
Est de la Baie du Robert FRJC007	Maître d'ouvrage : DEAL Martinique Maître d'œuvre: Impact Mer	Ilet à Rats Station de surveillance	UTM 20, WGS84 X : 726232 Y : 1624618	<i>Thalassia testudinum</i>	1.5 m	- Non ech. en 2010 Echantillonnage : A terme tous les 3 ans	<i>Protocole DCE :</i> - Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé - Etude complémentaire de la couverture macroalgale au sein des herbiers (2009) -Limite inférieure de l'herbier (2010)	Impact Mer : 0,5jours de plongée/ station	Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2011 Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2010 Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2009	Résultats disponibles sous forme de graphiques (PDF) Stockage : DEAL Martinique/ Impact Mer

Littoral du François au Vauclin FRJC008	Maître d'ouvrage : DEAL Martinique Maître d'œuvre: Impact Mer	Pinsonnelle station de référence	UTM 20, WGS84 X : 732730 Y : 1612022	<i>Thalassia testudinum</i>	2 m	- 2009 (oct.-dec.) - 2010 (fin octobre) Echantillonnage : A terme tous les 3 ans	<i>Protocole DCE :</i> - Estimation visuelle de l'état de santé de l'écosystème herbier - Densité, biométrie foliaire des plants - Etude complémentaire de la couverture macroalgale au sein des herbiers (2009) -Limite inférieure de l'herbier (2010)	Impact Mer : 0,5jours de plongée/ station	Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2011 Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2010 Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2009	Résultats disponibles sous forme de graphiques (PDF) Stockage : DEAL Martinique/ Impact Mer
Baie de Sainte Anne FRJC009	Maître d'ouvrage : DEAL Martinique Maître d'œuvre: Impact Mer	Pointe Borgnesse Station de surveillance	UTM 20, WGS84 X : 726075 Y :1598801	<i>Thalassia testudinum</i>	2.5 m	- Non ech. en 2010 Echantillonnage : A terme tous les 3 ans	<i>Protocole DCE :</i> - Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé - Etude complémentaire de la couverture macroalgale au sein des herbiers (2009) -Limite inférieure de l'herbier (2010)	Impact Mer : 0,5jours de plongée/ station	Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2011 Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2010 Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2009	Résultats disponibles sous forme de graphiques (PDF) Stockage : DEAL Martinique/ Impact Mer

Baie du Marin FRJC010	Maître d'ouvrage : DEAL Martinique Maître d'œuvre: Impact Mer	Baie du Marin station de surveillance	UTM 20, WGS84 X : 726945 Y : 1598673	Herbier mixte <i>Thalassia testudinum</i> et <i>Syringodium filiforme</i>	2 m	-2007 - 2010 (début novembre) Echantillonnage : A terme tous les 3 ans	<i>Protocole DCE :</i> - Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé - Etude complémentaire de la couverture macroalgale au sein des herbiers (2009) -Limite inférieure de l'herbier (2010)	Impact Mer : 0,5jours de plongée/ station	Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2011 Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2010 Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2009	Résultats disponibles sous forme de graphiques (PDF) Stockage : DEAL Martinique/ Impact Mer
Baie du Trésor FRJO13	Maître d'ouvrage : DEAL Martinique Maître d'œuvre: Impact Mer	Baie du Trésor Station de référence - surveillance	UTM 20, WGS84 X : 727529 Y : 1632780	Herbier mixte <i>Thalassia testudinum</i> et <i>Syringodium filiforme</i>	1,5 - 2m	-2009 (oct-dec) - 2010 (fin octobre) Echantillonnage : A terme tous les 3 ans	<i>Protocole DCE :</i> - Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé - Etude complémentaire de la couverture macroalgale au sein des herbiers (2009) -Limite inférieure de l'herbier (2010)	Impact Mer : 0,5jours de plongée/ station	Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2011 Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2010 Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2009	Résultats disponibles sous forme de graphiques (PDF) Stockage : DEAL Martinique/ Impact Mer

Baie de Sainte Luce FRJ017	Maître d'ouvrage : DEAL Martinique Maître d'œuvre: Impact Mer	Corps de garde Station de référence	UTM 20, WGS84 X : 722128 Y : 1600023	Herbier mixte <i>Thalassia testudinum</i> et <i>Syringodium filiforme</i>	3.5 m	- 2009 (oct.-dec.) - 2010 (début novembre) Echantillonnage : A terme tous les 3 ans	<i>Protocole DCE</i> : - Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé - Etude complémentaire de la couverture macroalgale au sein des herbiers (2009) -Limite inférieure de l'herbier (2010)	Impact Mer : 0,5jours de plongée/ station	Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2011 Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2010 Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2009	Résultats disponibles sous forme de graphiques (PDF) Stockage : DEAL Martinique/ Impact Mer
--	---	---	--	---	-------	--	---	---	--	--



Réalisation : Fanny Kerninon, LEMAR/IUEM, 2012
Source des données : BD Topo 2010 IGN, DEAL Martinique

Figure 5 : carte de synthèse sur les suivis des herbiers de Martinique

1.3.2. Bilan des études et des suivis en Guadeloupe

Des études spécifiques ou incluant les herbiers ont été réalisées sur l'île de la Guadeloupe (**Annexe 3**). Des travaux de cartographie ont également permis leur localisation (**Annexe 4**).

En Guadeloupe, les herbiers de phanérogames marines bénéficient de suivis stationnels (**Tableau 2, Figure 6**) mis en place dans différents contextes par différents organismes :

- Suivis du parc national de la Guadeloupe

Le parc national de la Guadeloupe (PNG), installé en partie sur les secteurs marins du Grand-Cul-de-Sac-Marin (GCSM) et au niveau des îlets Pigeons dans la partie sous le vent, a mis en place depuis 2005 un suivi des herbiers du GCSM, en collaboration avec l'Université Antilles Guyane (UAG). C'est ainsi que pour le suivi des herbiers, cette zone bénéficie de trois stations de référence installées entre trois et cinq mètres de profondeur en cœur du Parc National dans le secteur de la réserve naturelle nationale) ainsi qu'une station située au sud de l'îlet Caret dans une zone hors-cœur de parc. Ces actions de suivi sont basées sur les protocoles élaborés par l'UAG (Bouchon et al, 2003). Les quatre stations sont ainsi suivies annuellement sur des paramètres de densité des plants, de hauteur de la canopée et de la distribution des macroinvertébrés benthiques des herbiers.

- Suivi du réseau des réserves de Guadeloupe

Un état annuel des lieux de l'état de santé des herbiers des réserves naturelles de Petite-Terre et du Grand-Cul-de-Sac-Marin en Guadeloupe, ainsi que ceux des réserves naturelles de Saint-Martin et

de Saint-Barthélemy, est réalisé depuis 2007 pour le compte de la DEAL de Guadeloupe. Ces suivis également basés sur le protocole de l'UAG (Bouchon et al, 2003), concerne trois stations en Guadeloupe : Sud Caret (hors réserve) et Passe à Colas, situées dans le GCSM et Terre-de-Haut à Petite-Terre. Pour réaliser ces suivis, la DEAL Guadeloupe a mandaté le bureau d'étude PARETO ECOCONSULT pour la coordination et la réalisation de ces suivis dans lesquels les équipes des différentes réserves naturelles marines sont aussi de plus en plus impliquées dans la phase de collecte des données sur le terrain (Pareto, 2011). Depuis 2009, le suivi est complété par un diagnostic de l'état des peuplements ichtyologiques et par le suivi de stations de comparaison hors réserve. Parallèlement, le réseau de suivi de la température des eaux sur chaque station en réserve a été pérennisé (Pareto, 2011).

- Suivi DCE

La Guadeloupe a mis en place son réseau de référence DCE fin 2007 et son réseau de surveillance DCE dans ses eaux littorales en 2008, en positionnant à priori quinze stations "Herbier" dans les différentes masses d'eaux. Seulement douze stations ont été réellement échantillonnées du fait de l'absence d'herbiers sur trois stations. Ce réseau est constitué de cinq stations herbiers de référence pour définir en partie l'état de référence de chaque type de MEC de la Guadeloupe et de sept stations de surveillance. Le suivi est réalisé par Pareto. Les stations ont été échantillonnées entre deux à trois fois dans le cadre de la mise en œuvre de la DCE mais tout comme pour les autres DOM, la fréquence sera ensuite annuelle ou tous les trois ans selon les paramètres mesurés. A noter aussi que ce suivi risquera éventuellement d'être modifié suite à l'étude à venir sur la typologie des herbiers de l'Outre-mer.

Tableau 2 : stations de suivi des herbiers en Guadeloupe

Site/ masse d'eau	Opérateurs et financeurs	Station	Position	Type Herbier	Prof-	Fréquence et Date	Informations Protocoles	Temps et budget	Source	Données et stockage
Suivis du parc national de la Guadeloupe										
Cœur PNG	PNG 5 agents concernés (responsabilité scientifique de Claude et Yolande Bouchon -l'UAG) Financeurs : PNG ?	Ouest Fajou	Latitude : 16° 21, 003' Longitude : 61° 36, 245'	Herbiers à Thalassia	3,5 m	2005-2009 : 2 campagnes annuelles : - 1/saison chaude - 1/saison fraîche Echantillonnage : Depuis 2009, un seul suivi est réalisé fin août	<i>Protocole selon Bouchon et al., 2003</i> : - Densité des plants - Hauteur de la canopée - Distribution des macro-invertébrés benthiques des herbiers Le transect est réalisé en U	Temps consacré par les agents du Parc en jours : 10 pour 4 stations Budget : ?	- PNG, 2010. -RN du GCSM, 2008. - Dellou X., Mège S., 2007.	- Rapports -Données brutes format PDF Stockage PNG
Cœur PNG	PNG 5 agents concernés (responsabilité scientifique de Claude et Yolande Bouchon -l'UAG) Financeurs : PNG ?	Sud Fajou	Non renseigné	Herbiers à Thalassia	?	Station mise en place récemment	<i>Protocole selon Bouchon et al., 2003</i> : - Densité des plants - Hauteur de la canopée - Distribution des macro-invertébrés benthiques des herbiers Le transect est réalisé en U Résultats par pris en compte	Temps consacré par les agents du parc en jours : 10 pour 4 stations Budget ? :	- PNG, 2010. -RN du GCSM, 2008. - Dellou X., Mège S., 2007.	Pas d'informatio n précise sur cette station Stockage PNG

PNG	PNG 5 agents concernés (responsabilité scientifique de Claude et Yolande Bouchon -l'UAG) Financiers : PNG?	Nord Fajou	Latitude : 16° 21, 296' Longitude : 61° 35, 071'	Herbiers à <i>Thalassia</i>	3 m	2005-2009 : 2 campagnes annuelles : - 1/saison chaude - 1/saison fraîche Echantillonnage : Depuis 2009, un seul suivi est réalisé fin août	<i>Protocole selon Bouchon et al., 2003 :</i> - Densité des plants - Hauteur de la canopée - Distribution des macro-invertébrés benthiques des herbiers Le transect est réalisé en U	Temps consacré par les agents du parc en jours : 10 pour 4 stations Budget : ?	- PNG, 2010. -RN du GCSM, 2008. - Dellou X., Mège S., 2007.	- Rapports -Données brutes format PDF Stockage PNG
Hors cœur PNG (Station de référence)	PNG 5 agents concernés (responsabilité scientifique de Claude et Yolande Bouchon -l'UAG) Financiers : PNG?	Sud Caret	Latitude : 16° 21, 086' Longitude : 61° 37, 722'	Herbiers à <i>Thalassia</i>	5 m	2005-2009 2 campagnes annuelles : - 1/saison chaude - 1/saison fraîche Echantillonnage : Depuis 2009, un seul suivi est réalisé fin août	<i>Protocole selon Bouchon et al., 2003 :</i> - Densité des plants - Hauteur de la canopée - Distribution des macro-invertébrés benthiques des herbiers Le transect est réalisé en U	Temps consacré par les agents du Parc en jours : 10 pour 4 station Budget : ?	- PNG, 2010. -RN du GCSM, 2008. - Dellou X., Mège S., 2007.	- Rapports -Données brutes format PDF Stockage PNG

Suivis des réserves naturelles marines de Guadeloupe pour la DEAL										
Réserve du GCSM	Pareto et l'équipe du PNG Finance par DEAL de 2007 à 2010 Depuis 2011 le PNG est autonome sur ce suivi	Passe à Colas ou Est Fajou	Latitude : 16°21,068' Longitude : 61°34,338'	Herbiers à <i>Thalassia testudinum</i>	2 m	- 2007 (1er suivi : état de référence du suivi réseau de réserves) - 2008 (octobre) - 2009 (octobre) - 2010 (aout) -2011 (aout) Echantillonnage : 1 fois par an fin aout	<i>Protocole DCE compatible :</i> -Etat de santé -Densité des plants -Hauteur de la canopée		Pareto, 2008 Pareto, 2009 Pareto, 2010 Pareto, 2011	-Rapports -Données brutes format PDF et Exel Stockage : Pareto, DEAL 971 Pas de traitement de données en 2011
Réserve du GCSM	Finance par DEAL de 2007 à 2010 Depuis 2011 le PNG est autonome sur ce suivi	Sud Caret	Latitude : 16° 21, 086' Longitude : 61° 37, 722'	Herbier à <i>Thalassia testudinum</i>	5 m	- 2010 (aout) -2011 Echantillonnage : 1 fois par an, fin aout	<i>Protocole DCE Compatible :</i> -Etat de santé -Densité des plants -Hauteur de la canopée			-Rapports -Données brutes format PDF et Exel Stockage : Pareto, DEAL 971

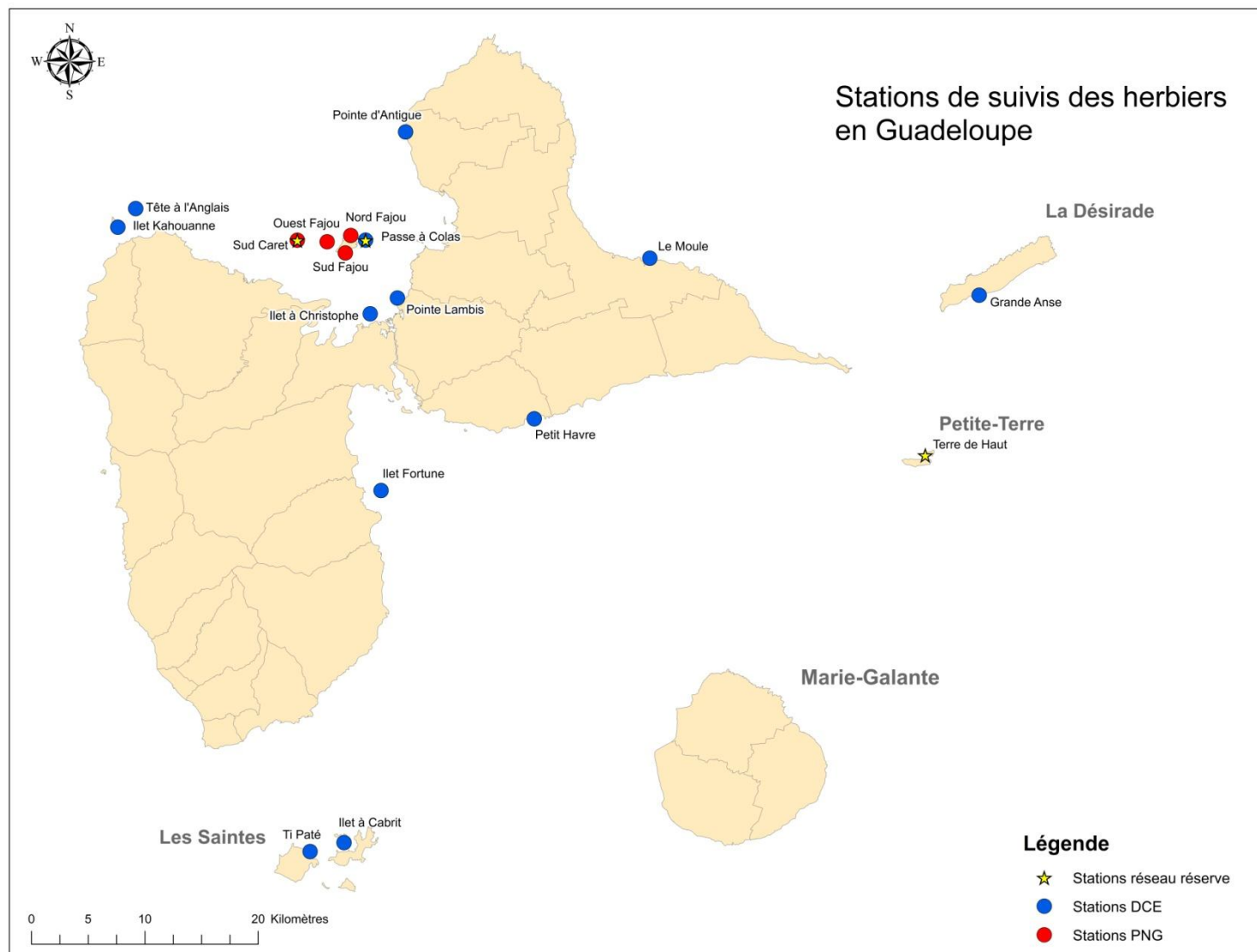
Réserve de Petite Terre	DEAL : Maître d'ouvrage Pareto : Maître d'Œuvre et les agents de réserve dans le cadre des compagnes mises en place depuis 2002 dans le cadre du réseau des réserves(DIREN, 2002)	Terre de Haut	Latitude : 16°10,573' Longitude : 61°06,717	Herbiers à <i>Thalassia testudinum</i>	2 m	- 2007 (état de référence du suivi réseau de réserves) - 2008 (octobre) - 2009 (octobre) - 2010 (août) - 2011 (début septembre) Echantillonnage : 1 fois par an	<i>Protocole DCE compatible :</i> -Etat de santé -Densité des plants -Hauteur de la canopée -Densité lambis morts/vivant par classe de tailles		Pareto, 2008 Pareto, 2009 Pareto, 2010 Pareto, 2011	-Rapports -Données brutes format PDF et Excel Stockage : Pareto, DEAL 971
Suivis DCE pour la DEAL										
FRIC01	Pareto	Deshaies	Latitude : 16°18,2830 Longitude : 61°47,9330				Station non positionnée		Pareto <i>et al</i> , 2011	Stockage : Pareto, DEAL 971
FRIC02	Pareto	Capesterre (station de suivi)	Latitude : 16°04,7469 Longitude : 61°32,6843				Station non positionnée		Pareto <i>et al</i> , 2011	Stockage : Pareto, DEAL 971
FRIC03	Pareto	Ilet Fortune (station de suivi)	Latitude : 16°09,0928 Longitude : 61°33,6610	Herbiers à <i>Thalassia testudinum</i> et <i>Syringodium filiforme</i>	2,5 m	- 2009 (juin) - 2011 (juin) Echantillonnage : 1 fois par an, entre février et juin (saison sèche) et 2 fois par plan de gestion (6 ans)	- Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé		Pareto <i>et al</i> , 2011	Stockage : Pareto, DEAL 971

FRIC04	Pareto	Petit Havre (station de suivi)	Latitude : 16°12,4695 Longitude : 61°26,0530	Herbiers à <i>Thalassia testudinum</i> (et <i>Syringodium filiforme</i> en 2011)	4 m	- 2009 (juin) - 2011 (juin) Echantillonnage : 1 fois par an, entre février et juin (saison sèche) et 2 fois par plan de gestion (6 ans)	- Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé		Pareto <i>et al</i> , 2011	Stockage : Pareto, DEAL 971
FRIC05	Pareto	Le Moule (station de suivi)	Latitude : 16°20,1000 Longitude : 61°20,2670	Herbiers à <i>Thalassia testudinum</i> (et <i>Syringodium filiforme</i> en 2011)	-	- 2009 (juin) - 2011 (juin) Echantillonnage : 1 fois par an, entre février et juin (saison sèche) et 2 fois par plan de gestion (6 ans)	- Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé		Pareto <i>et al</i> , 2011	Stockage : Pareto, DEAL 971
	Pareto	Grande Anse (station de référence)	Latitude : 16°18,1952 Longitude : 61°03,9757	Herbiers à <i>Thalassia testudinum</i> et <i>Syringodium filiforme</i>	2 m	- 2008 (juin) - 2009 (juin) Echantillonnage : 1 fois par an, entre février et juin (saison sèche) et 2 fois par plan de gestion (6 ans)	- Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé		Pareto <i>et al</i> , 2011	Stockage : Pareto, DEAL 971

FRIC06	Pareto	Anse Bertrand (station de suivi)	Latitude : 16°28,4436 Longitude : 61°31,1636				Station non positionnée		Pareto <i>et al</i> , 2011	Stockage : Pareto, DEAL 971
FRIC07A	Pareto	Ilet à Christophe (Rés. Naturelle) (station de suivi)	Latitude : 16°17,5460 Longitude : 61°34,1360	Herbiers à <i>Thalassia testudinum</i>	2 m	- 2009 (juin) - 2011 (juin) Echantillonnage : 1 fois par an, entre février et juin (saison sèche) et 2 fois par plan de gestion (6 ans)	- Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé		Pareto <i>et al</i> , 2011	Stockage : Pareto, DEAL 971
	Pareto	Pointe Lambis (station de référence)	Latitude : 16°18,2891 Longitude : 61°32,7825	Herbiers à <i>Thalassia testudinum</i>	2 m	- 2008 (juin) - 2009 (juin) Echantillonnage : 1 fois par an, entre février et juin (saison sèche) et 2 fois par plan de gestion (6 ans)	- Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé		Pareto <i>et al</i> , 2011	Stockage : Pareto, DEAL 971
FRIC07B	Pareto	Pointe d'Antigues (station de suivi)	Latitude : 16°26,2260 Longitude : 61°32,3190	Herbiers à <i>Thalassia testudinum</i> (quelques <i>et Syringodium filiforme</i> en 2009)	2 m	- 2009 (juin) - 2011 (juin) Echantillonnage : 1 fois par an, entre février et juin (saison sèche) et 2 fois par plan de gestion (6 ans)	- Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé		Pareto <i>et al</i> , 2011	Stockage : Pareto, DEAL 971

	Pareto	Passe à Colas (Réserve Naturelle) (station de référence)	Latitude : 16°21,068 Longitude : 61°34,3380	Herbiers à <i>Thalassia testudinum</i> (et <i>Syringodium filiforme</i> en 2009)	2 m	- 2008 (juin) - 2009 (juin) Echantillonnage : 1 fois par an, entre février et juin (saison sèche) et 2 fois par plan de gestion (6 ans)	- Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé		Pareto <i>et al</i> , 2011	Stockage : Pareto, DEAL 971
FRIC08	Pareto	Tête à l'Anglais (station de suivi)	Latitude : 16°22,6500 Longitude : 61°45,7170	Herbiers à <i>Thalassia testudinum</i> et <i>Syringodium filiforme</i>	5 m	- 2009 (juin) - 2011 (juin) Echantillonnage : 1 fois par an, entre février et juin (saison sèche) et 2 fois par plan de gestion (6 ans)	- Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé		Pareto <i>et al</i> , 2011	Stockage : Pareto, DEAL 971
	Pareto	Ilet Kahouanne (station de référence)	Latitude : 16°21,7657 Longitude : 61°46,6102	Herbiers à <i>Thalassia testudinum</i> et <i>Syringodium filiforme</i>	7 m	- 2008 (juin) - 2009 (juin) Echantillonnage : 1 fois par an, entre février et juin (saison sèche) et 2 fois par plan de gestion (6 ans)	- Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé		Pareto <i>et al</i> , 2011	Stockage : Pareto, DEAL 971

FRIC11	Pareto	Ti-Pâté (station de suivi)	Latitude : 16°52,2510 Longitude : 61°37,6910	Herbiers à <i>Thalassia testudinum</i> et <i>Syringodium filiforme</i>	7 m	- 2009 (juin) - 2011 (juin) Echantillonnage : 1 fois par an, entre février et juin (saison sèche) et 2 fois par plan de gestion (6 ans)	- Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé		Pareto <i>et al</i> , 2011	Stockage : Pareto, DEAL 971
	Pareto	Ilet Cabrit (station de référence)	Latitude : 15°52,2740 Longitude : 61°35,6110	Herbiers à <i>Thalassia testudinum</i> et <i>Syringodium filiforme</i>	9 m	- 2008 (juin) - 2009 (juin) Echantillonnage : 1 fois par an, entre février et juin (saison sèche) et 2 fois par plan de gestion (6 ans)	- Densité des plants - Abondance relative des espèces - Hauteur de la canopée - Etat de santé		Pareto <i>et al</i> , 2011	Stockage : Pareto, DEAL 971



Réalisation : Fanny Kerninon, LEMAR/IUEM, 2012
 Source des données : BD Carto 2010 IGN, DEAL Guadeloupe

Figure 5 : carte de synthèse sur les suivis des herbiers de Martinique

1.3.3. Bilan des études et des suivis à Saint-Martin

Des travaux de cartographie spécifiques ou incluant les herbiers ont été réalisés sur l'île de Saint-Martin notamment dans le cadre de travaux initiés par la réserve naturelle ont permis leur localisation (**Annexe 5**).

A Saint-Martin, les herbiers de phanérogames marines sont suivis grâce à la mise en place de stations localisées (**Tableau 3, Figure 7**) installées dans différents contextes par plusieurs organismes :

- Suivi du réseau des réserves de Guadeloupe

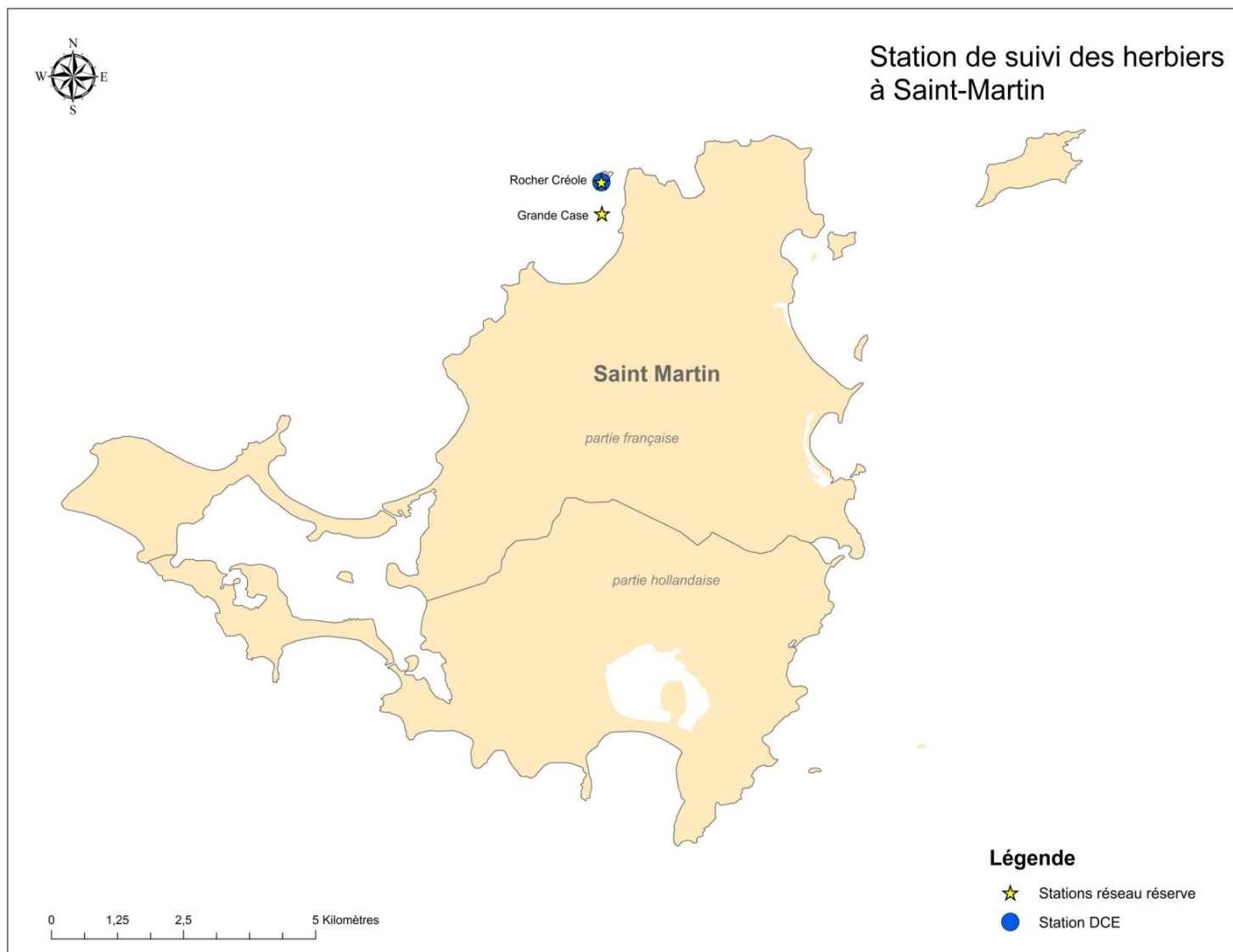
La réserve naturelle de Saint-Martin bénéficie de deux stations de suivi des herbiers dans le cadre du suivi annuel des réserves naturelles de Guadeloupe effectué par le bureau d'étude Pareto pour le compte de la DEAL.

- Suivi DCE

Depuis cinq ans, un suivi pour le compte de la DCE est opéré au niveau du Rocher Créole également suivi dans le cadre du réseau des réserves naturelles de Guadeloupe. La station Rocher Créole est suivie depuis 2007 et celle de Grande Case située en dehors de la réserve a été ajoutée plus récemment en 2010.

Tableau 3 : stations de suivi des herbiers à Saint Martin

Site/masse d'eau	Opérateurs	Station	Situation	Type Herbier	Prof-	Fréquence/Date	Informations	Temps et budget?	Source	Données et stockage
Suivis DCE pour la DEAL										
GUAD10 masse d'eau côtière de Saint-Martin	Pareto/RNNSM	Rocher Créole	Latitude : 18°06,990' Longitude : 63°03,424'	<i>Thalassia</i> et <i>Syringodium</i>	7 m	Echantillonnage irrégulier 1 fois par an, entre février et juin (saison sèche) - 2009 (juin) - 2011 (juin) A terme tous les 3 ans	- Etat de santé -Densité des plants -Hauteur de la canopée	5×1/4 homme/jour par la RNNSM intervenant en terme de logistique terrain (bateau/plongé e/plongeur)	Pareto <i>et al</i> , 2011	Données brutes format Excel Stockage : DEAL 971/Pareto
Suivis des réserves naturelles marines de Guadeloupe pour la DEAL										
GUAD10 masse d'eau côtière de Saint-Martin	Pareto/Réseau de réserves (Saint- Martin/Saint- Barthélemy/Petite Terre) Pareto coordonne et traite les données. Les RN participent au terrain	Rocher Créole Station de suivi en réserve	Latitude : 18°06,990' Longitude : 63°03,424'	<i>Thalassia</i> et <i>Syringodium</i>	6 m	-2007 (état de référence du suivi réseau de réserves) -2008 (aout) -2009 (aout) -2010 (aout) -2011 (aout) Echantillonnage : 1 fois par an	<i>Protocole DCE compatible</i> : -Etat de santé -Densité des plants -Hauteur de la canopée -Densité lambis morts/vivant par classe de tailles	5×1/4 homme/jour par la RNNSM La RNNSM fournit 1 pilote et 2 plongeurs ainsi que le matériel de plongée	Pareto, 2008 Pareto, 2009 Pareto, 2010 Pareto, 2011	Données brutes format Excel DEAL 971/Pareto/ RN
	Pareto / Réseau de Réserves (St Martin/St Barth./Petite Terre) Pareto coordonne et traite les données Les RN participent au terrain	Grande case Herbier Station de suivi hors réserve	Latitude : 18°06,671 Longitude : 63°03,417	<i>Thalassia</i> et <i>Syringodium</i>	5 m	-2010 (aout) -2011 (aout) Echantillonnage : 1 fois par an	<i>Protocole DCE compatible</i> : -Etat de santé -Densité des plants -Hauteur de la canopée -Densité lambis morts/vivant par classe de taille	5×1/4 homme/jour La RNNSM fournit 1 pilote et 2 plongeurs ainsi que le matériel de plongée	Pareto, 2008 Pareto, 2009 Pareto, 2010 Pareto, 2011	Données brutes format Excel DEAL 971/Pareto/ RN



Réalisation : LEMAR, 2012
Source des données : BD Carto IGN, DEAL Guadeloupe

Figure 7 : carte de synthèse sur les suivis des herbiers de Saint-Martin

1.3.4. Bilan des connaissances et des suivis à Saint-Barthélemy

Des travaux de cartographie spécifiques ou incluant les herbiers ont été réalisés sur l'île de Saint-Barthélemy, notamment dans le cadre de travaux initiés par la réserve naturelle qui ont permis d'améliorer les connaissances par leur localisation (**Annexe 6**).

Les herbiers de phanérogames marines sont suivis grâce à l'installation de station de suivi (**Tableau 4, Figure 8**), mis en place dans différents contextes par plusieurs organismes :

- Suivi du réseau des réserves de Guadeloupe

A Saint-Barthélemy, une seule station est positionnée au sein de la réserve naturelle dans le cadre du suivi des réserves naturelles de Guadeloupe (DEAL, Pareto).

Tableau 4 : Stations de suivi des herbiers à Saint-Barthélemy

Site/masse d'eau	Opérateurs	Station	Coord	Type Herbier	Prof-	Fréquence/Date	Informations	Source	Données et stockage
Suivis des réserves naturelles marines de Guadeloupe par la DEAL									
Baie de Marigot	Pareto et le personnel de la réserve naturelle	Marigot	Wgs 84 Lat (degrés) 17°54,760' Long (degrés) 62°48,462'		5 m	- 2007 (1er suivi : état de référence du suivi réseau de réserves) - 2008 (aout) - 2009 (aout) - 2010 (aout) - 2011 (aout) Echantillonnage : 1 fois par an	<i>Protocole DCE compatible :</i> -Etat de santé -Densité des plants -Hauteur de la canopée	Pareto, 2008 Pareto, 2009 Pareto, 2010 Pareto, 2011	Résultats bruts PDF, Exel Stockage : DEAL 971/Pareto/RN

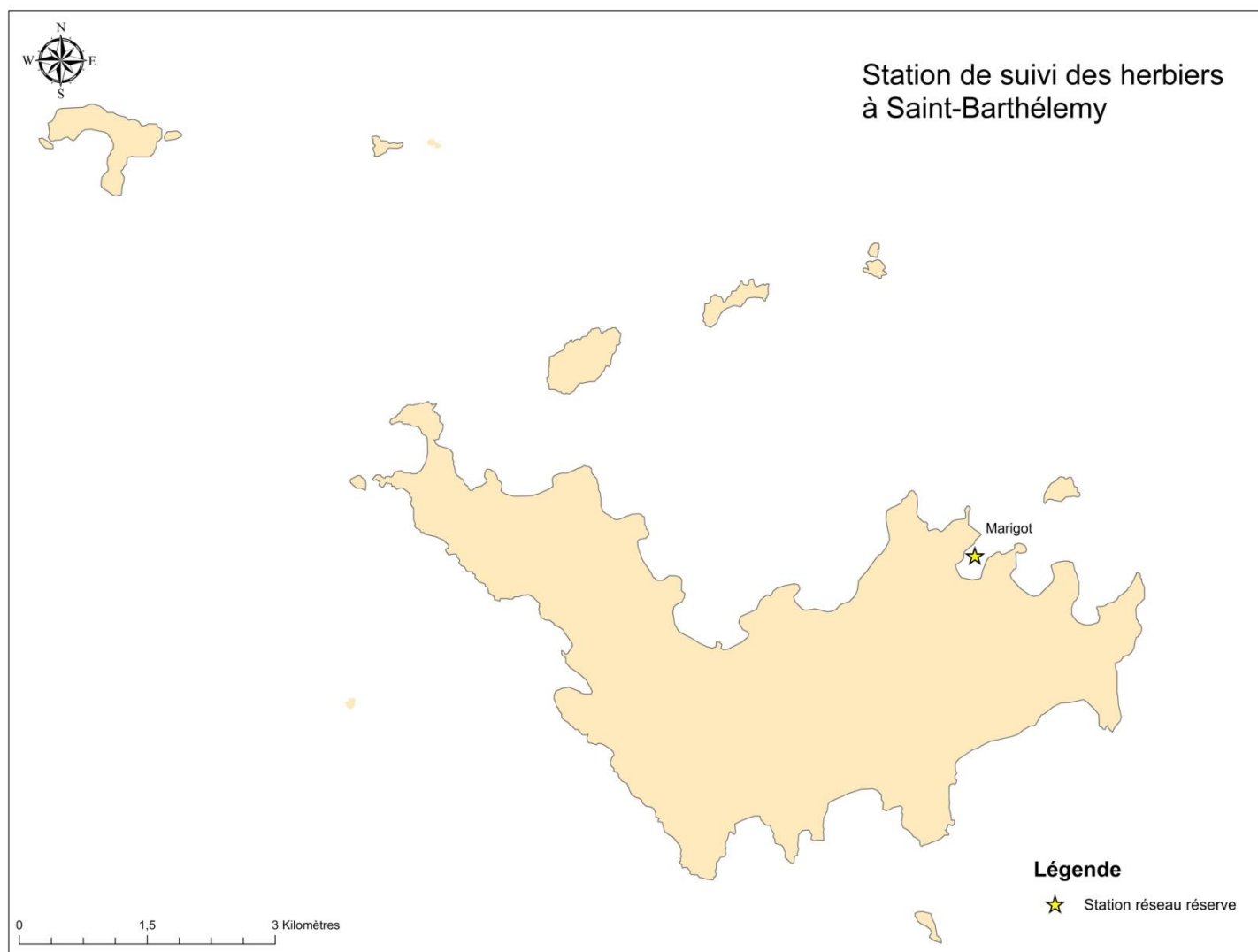


Figure 8 : carte de synthèse sur les suivis des herbiers de Saint-Barthélemy

1.4. Discussion

Cette synthèse sur les suivis et études sur les herbiers de l'Outre-mer donne une vision globale qui n'était pas à ce jour disponible. Ce bilan met en évidence que les actions en cours se sont mises en place progressivement et indépendamment les unes des autres, en réponse aux initiatives des différentes structures et de l'application récente de la DCE. Malgré ces initiatives qui montrent l'intérêt croissant porté aux herbiers, beaucoup reste bien sûr à faire pour disposer d'une information homogène permettant une évaluation des menaces et enjeux sur les herbiers et d'un état actualisé de leur santé écologique. Tout d'abord au niveau des paramètres mesurés : les suivis existant aux Antilles sont actuellement basés sur trois ou quatre paramètres : la densité de l'herbier (comptage d'un nombre de pieds par unité de surface), la hauteur de la canopée (mesure de la longueur de la plus longue feuille d'un échantillon de pieds) et l'état de santé (indicateur visuel global) ou encore une estimation de la couverture de macro algues. Le suivi de ces paramètres est effectué pour l'ensemble des suivis en place, mais avec quelques variantes (**Tableau 5**). Au niveau des sites de suivi : l'intensité de la couverture de ces suivis est très inégale selon les secteurs géographiques. Les suivis installés de façon pérenne sont concentrés majoritairement sur le territoire de la Guadeloupe et dans les secteurs en cœur de parc national. Au niveau de la bancarisation et de l'accessibilité des données, les données cartographiques ne sont pas d'un point de vue technique, toutes disponibles, ni dans des formats identiques, ce qui ne permet pas une mise en cohésion directe de ces données ni à l'échelle des Antilles, ni évidemment de l'Outre-mer. Les données brutes de mesures des paramètres sont également présentées sous des formats variés, restent

localisées dans les différents organismes gestionnaires et il n'existe pas de base de données destinée pour leur archivage. De ce fait, il n'est pas actuellement possible d'effectuer une comparaison des paramètres mesurés à l'échelle des Antilles. Une réflexion élargie sur l'application de la DCE dans les DOM s'est amorcée sur les herbiers lors d'un atelier de travail en janvier 2012 à Paris, à l'initiative de l'ONEMA et du MNHN qui ont compétence pour coordonner la mise en place de la DCE pour les écosystèmes coralliens et associés (herbiers et macrofaune endogée des sédiments lagonaires). Suite à cet atelier qui a intégré la démarche initiée par l'IFRECOR sur les herbiers, des recommandations ont été effectuées (**Tableau 5**) et treize paramètres ont été jugés pertinents pour répondre à la problématique DCE. La nécessité de mettre en œuvre des actions d'observations complémentaires sur des variables pertinentes concernant l'état de santé des herbiers et permettant de justifier des actions en faveur de cet écosystème est maintenant clairement affichée. Ce type de réflexion est d'autant plus important à l'échelle globale des suivis des phanérogames marines que la majorité des suivis actuels sur les herbiers est basée sur les protocoles de la DCE, car ceux-ci n'avaient jusqu'à présent été que des reprises des protocoles « réserve » proposés par l'UAG avec des questionnements scientifiques différents, ne répondant pas spécifiquement à ceux de la DCE (indicateur qualité de l'eau).

Une démarche organisée s'amorce donc en 2012 pour obtenir des indicateurs herbiers pertinents qui devront pouvoir répondre à plusieurs types de questionnement bien spécifique.

Tableau 5 : comparatif des suivis des herbiers aux Antilles

	Parc national de la Guadeloupe (PNG)	Réseau réserve	DCE Guadeloupe, Saint Martin et Saint Barthelemy	DCE Martinique	Différences et recommandations (recommandations DCE en rouge)
Espèces suivies	- <i>Thalassia testudinum</i>	- <i>Thalassia testudinum</i> - <i>Syringodium filiforme</i>	- <i>Thalassia testudinum</i> - <i>Syringodium filiforme</i>	- <i>Thalassia testudinum</i> - <i>Syringodium filiforme</i>	Le PNG prend en compte seulement <i>T.testudinum</i> dans son suivi alors que pour les suivis DCE et Réseau réserve, <i>S. filiforme</i> est également comptabilisée - Prendre en compte le nombre d'espèce - Etendre le suivi à ces autres espèces ?
Caractéristiques stations	-Géoréférencées - Pas de répliques	-Géoréférencées -Non matérialisées - Pas de répliques Dans une zone homogène de l'herbier	-Géoréférencées -Non matérialisées - Pas de répliques Dans une zone homogène de l'herbier	-Géoréférencées -Non matérialisées - Pas de répliques Dans une zone homogène de l'herbier	- Pour chaque site, échantillonner 3 stations et réaliser 3 répliques par station (3 x 10 quadrats au lieu de 30 quadrats) pour avoir une représentativité du site - Stations complémentaires - Bien préciser les conditions météo, les courants, les marées
Profondeur	- 3 m - 3,5 m - 5 m	- 2 m - 2 m - 7 m - 5 m		- 2 m - 6 m - 8/10 m - 1,5 m - 2 m - 2,5 m - 2 m - 1,5/2 m - 3,5 m	Il y a des différences importantes concernant la profondeur des stations échantillonnées (de 1, 5 m à plus de 8 m) ce qui limite les comparaisons des caractéristiques des herbiers qui sont donc de type différent - Nécessité de comparer des mêmes types d'herbier à des profondeurs similaires (+/- 50 cm) (action à venir typé DCE)

Fréquence et période	De 2005 à 2009 2 campagnes annuelles : - 1/saison chaude - 1/saison fraîche Depuis 2009, un seul suivi est réalisé fin août	1 fois par an fin août depuis 2007 et depuis 2010 pour Grande Case (Saint-Martin)	Relevés réalisés 1 fois tous les 3 ans en saison sèche (février à juin) Toutes les stations ne sont pas échantillonnées la même année, suivi jusqu'à présent de fréquence irrégulière	Relevés réalisés 1 fois tous les 3 ans en novembre (saison humide) Toutes les stations ne sont pas échantillonnées la même année, suivi jusqu'à présent de fréquence irrégulière	Les fréquences sont différentes selon les types de suivis qui répondent à des objectifs différents. L'ensemble des suivis en Guadeloupe sont réalisés fin août, alors que le suivi DCE en Martinique pour des raisons de logistique est effectué en novembre (pleine saison humide) - Nécessité de s'accorder sur la réalisation des sorties terrain en même temps à l'intersaison
Métriques	Densité Dénombrement sur 20 quadrats de 20 x 10 cm placés au hasard	Densité Dénombrement des plants de <i>T. testudinum</i> et de <i>S. filiforme</i> sur 30 quadrats de 10 x 20 cm 0,6 m ² au total	Densité Dénombrement des plants de <i>T. testudinum</i> et de <i>S. filiforme</i> sur 30 quadrats de 10 x 20 cm placés au hasard 0,6 m ² au total	Densité Dénombrement des plants de <i>T. testudinum</i> et de <i>S. filiforme</i> sur 30 quadrats de 10 x 20 cm placés au hasard 0,6 m ² au total	A la différence de l'ensemble de autres suivis effectuant les mesures sur 30 quadrats, celui du PGN utilise seulement 20 quadrats - Homogénéiser la taille et le nombre des quadrats
	Hauteur de la canopée Mesure de la longueur maximale des feuilles de 100 plants pris au hasard dans l'herbier	Hauteur de la canopée Longueur de la plus grande feuille de 100 feuilles dans 10 quadrats de 10 x 20 cm 0,2 m ² au total	Hauteur de la canopée Longueur de la plus grande feuille de 100 plants de <i>T. testudinum</i> pris dans 10 quadrats de 10cm x 20cm, 0,2 m ² au total	Hauteur de la canopée Longueur de la plus grande feuille de 100 plants de <i>T. testudinum</i> pris au hasard dans l'herbier	Les longueurs de feuilles de <i>Thalassia</i> sont mesurées dans des quadrats dans les îles de la Guadeloupe et au hasard en Martinique

	Distribution des macro-invertébrés benthiques des herbiers	Etat de santé Détermination visuelle de l'état de santé en 5 classes sur la station (composition et signes d'eutrophisation et de sédimentation)	Etat de santé Détermination visuelle de l'état de santé en 5 classes sur la station (composition et signes d'eutrophisation et de sédimentation) → <i>Indice de composition perturbation de l'herbier</i>	Etat de santé Détermination visuelle de l'état de santé en 5 classes sur la station (composition et signes d'eutrophisation et de sédimentation)	Non pertinent car tout dépend de la situation de l'herbier dans son environnement physiographique et géomorphologique L'état de santé de l'herbier ne peut se baser sur la proportion des espèces mais de l'analyse de tendance à partir d'un point initial dans un site donné. - Etude?
				Limite inférieure de l'herbier et type de limite Nouvel élément depuis 2010 selon protocole Posidonie Méditerranée Pris en compte pour l'évaluation?	Ce paramètre est uniquement suivi en Martinique dans le cadre de la DCE. Nécessité de définir les notions de limites d'herbiers mixtes - Etendre la mesure de ce paramètre aux DOM
			Couverture macroalgale Composition, présence macroalgues	Couverture macroalgale Suivi depuis 2009 Evaluation du recouvrement selon 5 classes sur 10 quadrats de 25 x 25 posés aléatoirement. - classification de l'abondance - Indication genre ou l'espèce dominante ainsi que la nature du substrat → <i>Indice macroalgue</i> Cet indice n'est pas utilisé pour l'évaluation de l'état global de l'herbier	- La prise en compte du recouvrement et taxons de macroalgues sera étendu aux DOM

Actuellement, il n'y a pas de réseau de suivi des herbiers de l'Outre-mer. Les actions de suivis menées sont hétérogènes sans interaction et harmonisation.

Le bilan réalisé amène à émettre plusieurs interrogations : les suivis existants permettent-ils de comparer des éléments véritablement comparables et de répondre de façon pertinente aux objectifs fixés par les organismes à l'initiative de ces actions ?

Dans le cas des Antilles françaises, les stations de suivis actuellement positionnées ont pour objectif d'acquérir des éléments afin de répondre à des problématiques distinctes :

- la qualité de l'eau pour les suivis DCE
- l'état de santé de l'herbier dans un contexte de gestion pour les suivis du PNG et ceux du réseau réserve

Les attentes sont différentes et pourtant les stratégies de suivis sont identiques ; les mêmes paramètres étant suivis. Dans un objectif de compatibilité, le choix des protocoles pour l'ensemble des suivis effectués aux Antilles s'est basé sur les paramètres utilisés pour DCE. Ainsi, les paramètres biologiques suivis dans le "réseau réserve" et dans le PNG apparaissent quasiment identiques à ceux fixés par la DCE. Jusqu'à présent, faute d'outils disponibles et standardisés permettant de répondre à des besoins particuliers, notamment à ceux des gestionnaires et de faire des comparaisons intersites, ces actions sont développées au fur et à mesure de façon déconnectées en réponse à une demande administrative et non pas à une question spécifique en terme de suivi de l'état de santé des herbiers.

La récente révision de la stratégie dans le cadre de la DCE montre les insuffisances pour relier les changements biologiques observés sur les phanérogames marines aux pressions identifiées et donc répondre aux attentes de la directive. Les stations herbiers sont implantées au plus près des stations DCE chimie de l'eau. Elles sont ainsi positionnées à des profondeurs aléatoires sur des herbiers de type

différent (Chapitre 2) ce qui engendre un biais dans l'analyse globale des données de ces herbiers qui ne possèdent donc pas les mêmes caractéristiques initiales. Au vu de l'investissement par les parcs nationaux, les réserves, les bureaux d'étude pour réaliser ces suivis, il est important de s'intéresser à la question de la pertinence de ces actions pour répondre aux objectifs attendus.

Il semble aussi nécessaire de mutualiser les suivis en cours et à venir (réserves marines, DCE et autres directives européennes, parcs naturels marins, associations de protection etc.) en identifiant une base commune de descripteurs et de protocoles standardisés, permettant une interprétation des données dans un contexte des suivis à l'échelle des territoires concernés de l'Outre-mer. A l'heure actuelle, il n'existe pas ou peu d'interactions organisées entre organismes et structures trans-territoires (parfois intra-) pour les herbiers. Quant à l'organisation globale de l'ensemble de ces suivis, un manque de coordination apparaît clairement. Certaines stations sont échantillonnées autant de fois que le nombre de réseaux de suivis. En Guadeloupe, dans le Grand-Cul-de-Sac-Marin, les herbiers bénéficient des trois types de suivis des herbiers de Guadeloupe (**Figure 6**). Des paramètres similaires sont ainsi relevés indépendamment sur le même site. Si l'abondance de la fréquence de relevés de ces paramètres n'est pas à remettre en cause, une meilleure organisation et répartition de ces suivis serait profitable. En effet, dans d'autres secteurs, les suivis sont fragmentaires et quasiment inexistantes. C'est le cas de la côte sous le vent de la Guadeloupe qui, malgré la richesse spécifique des herbiers présents, n'est munie d'aucune station de suivi pérenne. Une stratégie de surveillance efficace des herbiers de phanérogames doit donc être étudiée en cohérence avec les programmes existants.

Concernant l'interprétation des données, il est aussi essentiel d'évaluer la variabilité intra-herbier pour prendre en compte la variabilité inter-herbier. Il faut également prendre en considération la variabilité interannuelle sur une série temporelle propre à chaque site afin de pouvoir relever des éventuels forçages, source de changements dans l'évolution du site. Ceci est d'autant plus important que la stabilité dynamique des herbiers est de forte amplitude.

Aucune de ces données collectées à travers ces suivis n'est intégrées dans des bases de données. Au même titre que les données sur les récifs coralliens collectées en Outre-mer, les données sur les herbiers seront stockées dans le logiciel de base de données Coremo (Coral Reef Monitoring Database) mis en place pour stocker les données de suivi des récifs coralliens et couramment utilisé au sein de l'IFRECOR. Cette base de donnée sera prochainement ré-agencée de manière à pouvoir accueillir les données sur les herbiers de façon cohérente en vue d'une interprétation inter-territoires.

Les circuits actuels d'acquisition des données des suivis aux Antilles françaises sont résumés dans le schéma suivant (**Figure 9**). Il révèle qu'au sein de ce même secteur géographique, les données restent dispersées selon les suivis. Il n'y a notamment pas d'interactions entre les îles de la Martinique et de la Guadeloupe. Par conséquent, il n'est pas possible d'obtenir actuellement une vision globale des herbiers à l'échelle des Antilles françaises. La mise en place prochaine du réseau d'observation des herbiers de l'Outre-mer aura pour objectif de créer une dynamique autour de ces herbiers et stimuler ainsi ces interactions entre les collectivités des Antilles et autres territoires de l'Outre-mer.

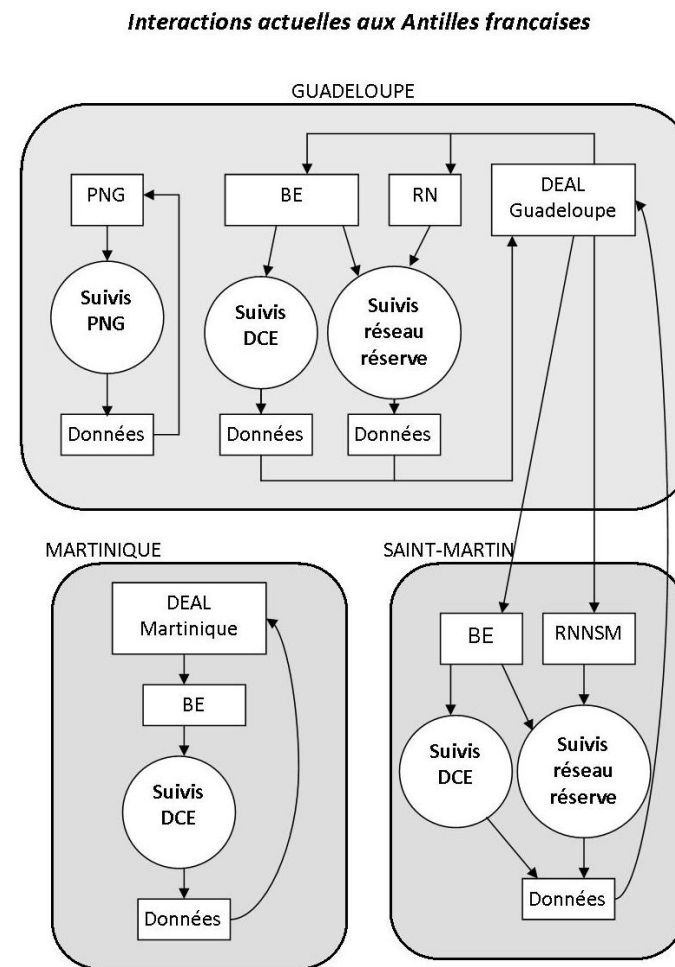


Figure 9 : circuit d'acquisition actuel des données des suivis des herbiers aux Antilles françaises

1.5. Synthèse des actions et paramètres mesurables

Comme cela a été présenté (**Tableau 5**), il existe différents paramètres pour déterminer et suivre l'état de santé des herbiers en fonction de la problématique. Cette synthèse montre l'existence d'une variété de paramètres utilisables en fonction des questions spécifiques. Tous ces éléments ne sont pas applicables sur du long terme, du fait de l'investissement conséquent d'un point de vue financier ou matériel, souvent nécessaire. Une approche avec des protocoles standardisés, prenant en compte les problématiques différentes et applicables sur l'ensemble des sites d'herbiers de l'Outre-mer, reste à mettre en place. Bien souvent en France, pour le suivi régulier à moyen ou long terme, deux approches sont prises en compte : l'approche surfacique en réalisant la cartographie de l'herbier ou l'approche par l'installation de stations de suivis au cœur de la zone d'herbier. Les autres méthodes, plus originales, sont davantage utilisées pour des études ou suivis ponctuels.

En s'intéressant aux différentes initiatives et actions de suivi menées en France et à l'international, on peut retenir un certain nombre d'indices et de paramètres fréquemment proposés, autant pour caractériser les herbiers et la biodiversité qu'ils forment, que pour la qualité de l'eau. Différentes publications tentant de synthétiser les protocoles ont été réalisés, notamment récemment celle de Fontan *et al*, 2011. Pour autant il est important de reprendre ces travaux de façon analytique pour décomposer plus finement les paramètres et métriques. Une première ébauche de ce travail est présentée dans l'**Annexe 7** et sera essentielle pour l'élaboration d'une boîte à outils de protocoles dont l'objectif est présenté ci-dessous.

1.6. Réflexion sur l'intérêt d'une boîte à outils de protocoles de suivi des herbiers

A la suite de la réalisation de ce bilan sur l'état des suivis en cours et en projet, l'action à développer pour la mise en place du réseau d'observation de l'IFRECOR sera de réaliser un document proposant un ensemble de protocoles standardisés ayant une base commune minimum à tous les sites, mais disposant de plusieurs options supplémentaires, adaptées aux besoins spécifiques, permettant ainsi de compléter les paramètres mesurés selon les disponibilités et la formation des acteurs de terrain à l'échelle de l'Outre-mer. Il est en effet important de différencier clairement si l'on souhaite répondre à des questions de type de recherche fondamentale de compréhension des processus et interactions au sein des herbiers et/ou de type plus appliqué, de gestion et de conservation. Cette approche de suivi multicritère des herbiers sous forme de boîte à outils permettrait d'acquérir des données fiables et comparables des herbiers en vue de la connexion entre les différents territoires de l'Outre-mer s'intégrant dans le cadre d'un réseau d'observation des herbiers de phanérogames marines. Identifier l'origine des impacts ou dégradations des herbiers, permet de les dissocier afin d'appliquer la bonne méthode de gestion. Les démarches doivent être différentes et les protocoles adaptés aux particularités des sites et à leur problématique de gestion. En fonction des coûts, et des moyens disponibles, un questionnaire d'AMP pourrait « se servir » en fonction des besoins propres au site dont il a la charge.

La majorité des stations de suivi actuellement mises en place dans les Antilles françaises consiste à considérer les herbiers comme élément de qualité pour répondre aux exigences de la DCE en terme de

qualité de l'eau. Cette approche spécifique nécessite de prendre en compte certains paramètres particuliers.

Par ailleurs, dans un autre contexte, la conservation de certaines de ces espèces à forte valeur patrimoniale entraîne la mise en place d'étude et de suivis sur les herbiers, source directe de nourriture. A titre d'exemple, dans le cadre d'un projet de réintroduction du lamantin des Antilles dans le Grand-Cul-de-Sac-Marin en Guadeloupe, les données sur les herbiers, source de nourriture pour cet animal, ont constitué une base importante dans une étude préalable à son implantation, notamment sur leur localisation (Hébert, 2010). Les herbiers sont ici étudiés uniquement comme source alimentaire du lamantin. Des protocoles spécifiques à cette problématique, basés sur des critères différents de ceux utilisés dans un contexte de qualité de l'eau doivent être développés. Les mesures de conservation autour de ces espèces doivent se faire par ailleurs dans le cadre d'actions spécifiques, développées pour éviter une surpression de broutage pouvant conduire, d'autant plus en cas de surimposition des pressions, à la régression des herbiers, ce qui menacerait, par cascade trophique, l'ensemble des espèces qui y sont installées (Hily *et al*, 2010). Dans les sites d'herbiers concernés, un protocole spécifique pour le suivi du broutage avec des critères différents serait donc bénéfique. La biodiversité des herbiers doit aussi être évaluée par le suivi de quelques descripteurs intégratifs et simples pour la mégafaune et les invertébrés présents dans les herbiers tropicaux.



Figure 10 : tortue verte après une phase d'alimentation sur un herbier d'*Halodule* sp. à l'îlet Tintamarre (Saint-Martin)

D'autre part les suivis ne concernent actuellement que deux espèces *Thalassia testudinum* et *Syringodium filiforme*, même si en Guadeloupe et à Saint-Martin par exemple, de nombreux sites sont constitués de très beaux herbiers du genre *Halodule* qui ont une grande importance pour l'alimentation des tortues, espèces emblématiques et protégées et qui ne sont pris en considération dans aucun suivi des herbiers à l'échelle des Antilles, faute d'outils et de protocoles adaptés. Par ailleurs l'espèce pionnière *Halophila decipiens*, n'est pas non plus

prise en compte alors qu'elle semble être de moins en moins présente au profit de l'espèce invasive *Halophila stipulacea* nouvellement observée en Martinique et Guadeloupe (2010) et Saint-Martin (2012). Originale de mer rouge et de l'océan Indien, elle est en voie d'expansion très rapide aux Antilles. Identifiée pour la première fois dans les Petites Antilles à Grenade, en 2002, elle s'est ensuite orientée vers le nord, et a colonisé la Dominique et Antigua. Aujourd'hui, il est soupçonné que cette espèce de phanérogame marine a envahi de nombreux herbiers, notamment en Martinique (Ortolé, 2012).

Il semble donc nécessaire de considérer les herbiers dans leur ensemble et sous toutes leurs fonctionnalités en intégrant en particulier une approche paysagère dans les suivis (Chapitre 2).

D'autre part la recherche de sites et de stations de référence, reste aussi à mener pour permettre l'évaluation des situations d'herbiers sous pression anthropique, mais aussi pour identifier des secteurs où des actions conservatoires pourraient être menées en priorité.

1.7. Rechercher les situations de référence non perturbées par les activités trophiques

Au vu de leur importance écologique, notamment d'un point de vue fonctionnel et des menaces qui s'y appliquent, il semble nécessaire d'avoir un état de référence des herbiers installés entre mangrove et récifs coralliens. Dans ce contexte, l'IFRECOR dans le cadre du volet suivi des herbiers du thème d'intérêt transversal RESOBS, est l'organisme qui peut initier ce genre de démarche par la mise en place de stations de référence.

En zone tropicale, se succédant fréquemment sur un gradient côte-large, les récifs coralliens, les herbiers et les mangroves interagissent à différents niveaux. Les récifs jouent un rôle protecteur pour les herbiers et les mangroves qui sont fortement dépendants de la barrière hydrodynamique qu'ils forment en dissipant l'énergie des vagues, prévenant ainsi l'érosion des zones côtières (Unesco report, 1982). Ce rôle de protection des récifs est d'autant plus essentiel pour les herbiers lors d'épisodes de fortes houles, ce qui permet de limiter le déchaussement des rhizomes et l'arrachage de pieds. Les débris coralliens plus ou moins grossiers résultant de cette action de barrière s'accumulent dans la zone de lagon et sont parfois colonisés par des herbiers et mangroves (UNESCO, 1983). Ces dernières, installées en amont, constitue des écosystèmes intertidaux boisés permettant également la protection des côtes contre les vagues et l'érosion due au vent, de piéger des sédiments issus du ruissellement des terres, et d'assurer ainsi la protection des récifs côtiers en réduisant la turbidité de l'eau par effet de réservoir à nutriments. Elles permettent également la réduction des quantités excessives de polluants (Roussel et Duncombe, 2011).



Figure 11 : baie de l'Embouchure à Saint-Martin. Situation des herbiers entre mangrove et récifs

Les herbiers fréquemment positionnés en situation centrale entre les mangroves et récifs, ont un rôle particulier. Zone de transit, ils ont une fonction de zone puits et de zone source pour les flux de matières et d'énergie dans les lagons. Zone tampon, ils captent et stabilisent le sédiment ainsi que les matières organiques et inorganiques et limitent donc les impacts de l'abrasion, de la turbidité et la décantation de particules sur les coraux. Une récente étude, a montré que certaines espèces de phanérogames marines situées à proximité des récifs coralliens pouvaient aider à réduire l'acidité de l'eau environnante, protégeant les coraux de l'érosion (Unsworth, 2012). Les herbiers libèrent directement par l'exportation des débris de

feuilles ou *via* les organismes qui y vivent, de la matière et de l'énergie aux écosystèmes adjacents, sédiments lagunaires, récifs et mangroves.

Les migrations animales importantes entre mangroves, herbiers et récifs coralliens tissent un véritable lien fonctionnel entre ces écosystèmes. Les herbiers constituent un écosystème particulier comme zone de migration pour les espèces inféodées aux récifs et aux mangroves, des migrations à court terme dans un but d'alimentation ou passage de stade juvénile à adulte. Les herbiers constituent également, une véritable zone de nurserie notamment pour des espèces à valeur commerciale en leur fournissant abri et nourriture. Certaines espèces passeront par la suite leur vie d'adulte au niveau des récifs ou d'autres écosystèmes. D'autres espèces comme les tortues s'alimentent dans les herbiers et fréquentent largement les récifs coralliens en dehors des périodes d'alimentation (Hily *et al*, 2010).

Les conséquences de perturbations ou de dégradations sont importantes pour la fonctionnalité de ces trois écosystèmes, notamment pour les herbiers. Les activités anthropiques en plein essor sur les littoraux tropicaux tels que le tourisme, la pêche, les aménagements littoraux et également en amont *via* la déforestation et le lessivage des sols, engendrent une baisse de productivité jusqu'à la destruction des herbiers. A cette pression s'ajoute des aléas climatiques tels que le passage de cyclones, plus ou moins régulier selon les régions de l'Outre-mer.

Cependant, étant donné la diversité des conditions naturelles dans lesquelles se développent les herbiers, il est important d'avoir plusieurs types de stations de référence pour identifier ces impacts anthropiques qui se manifesteront différemment selon les types d'herbier, même si les herbiers associés aux mangrove et aux récifs coralliens restent la référence optimale à privilégier.



Figure 12 : herbiers d'*Halodule sp.* et palétuviers en sortie de lagune dans la baie de l'Embouchure à Saint-Martin

1.8. Conclusion

Cette boîte à outils de questions scientifiques associées aux protocoles de suivis nécessaires pour y répondre dont le but est de pouvoir à moyen terme répondre aux questions et exigences les plus diverses de manière satisfaisante, permettrait donc de présenter de manière synthétique, la plus large gamme de questions qui peuvent se poser pour comprendre la structure, le fonctionnement et l'évolution des herbiers, et prendre les mesures nécessaires pour maintenir ou restaurer leur qualité écologique et les services qu'ils rendent aux populations humaines. Elle devrait être opérationnelle pour toutes les espèces de phanérogames en précisant les options proposées pour s'adapter à leurs spécificités (taille, dynamique de croissance, etc.).

Il reste que le bilan des suivis en cours, des paramètres et des métriques utilisées, du choix des stations, réalisé dans cette première partie, fait d'ores et déjà apparaître un certain nombre de points non abordés et qui méritaient d'être développés pour améliorer la compréhension du fonctionnement et l'évaluation de l'évolution des herbiers.

Dans ce contexte le chapitre suivant aborde un point particulier qui restait à développer tant au niveau conceptuel qu'au niveau méthodologique, il s'agit de la prise en compte des herbiers à l'échelle « site », échelle intermédiaire entre les échelles « stationnelle » (quelques mètres carrés) utilisée dans les suivis et « zonale » utilisée pour la cartographie par photo-interprétation de l'imagerie spatiale (échelle km²). En effet, ces deux niveaux d'observation des herbiers ne permettent pas à eux seuls d'expliquer l'ensemble des changements qui peuvent se produire dans un herbier (en termes d'écosystème), et donc ne sont pas suffisants pour une gestion conservatoire efficace

Chapitre 2



Intérêts de la prise en compte d'une échelle « site » dans la caractérisation de la structure, du fonctionnement et de l'évolution des herbiers

2.1. Intégrer la diversité des types d'herbiers de phanérogames marines dans les évaluations et les suivis

Chaque espèce de phanérogame marine ayant des exigences écologiques particulières, la composition et la structure des herbiers sont très variables selon les conditions locales de l'environnement. Les conditions hydrodynamiques (houle et courants), la granulométrie et le taux de matière organique du substrat, la teneur en sels nutritifs et en matière organique particulaire, l'intensité lumineuse, la température de l'eau ou encore la profondeur sont des paramètres déterminants pour l'installation et le développement des espèces de phanérogames marines. Dans des conditions où l'un de ces facteurs est limitant on trouvera plutôt des herbiers monospécifiques, tandis que des conditions moyennes i.e. : quelques mètres de profondeur, sable fin, hydrodynamisme et charge sestonique modérés, faciliteront développement d'herbiers plurispécifiques (Hily *et al*, 2010). Cependant aux Antilles, la majorité de ceux-ci ne sont composés que de deux ou trois espèces (*Thalassia testudinum*, *Syringodium filiforme* et l'espèce invasive *Halophila stipulacea*) même si dans les plus petites profondeurs se joint localement et ponctuellement *Halodule* sp. L'herbier de phanérogames marines le plus riche actuellement recensé, regroupe 14 espèces de phanérogames. Il est situé aux Philippines, qui avec la Papouasie - Nouvelle Guinée et l'Indonésie sont considérés comme des zones centrales de la biodiversité mondiale des herbiers de phanérogames (Green et Short, 2003). Néanmoins, du fait des traits de vie très différents selon les espèces, les interactions de compétitions spatiales conduisent à des successions naturelles favorisant à terme la monopolisation de l'espace par une espèce dominante (Hily *et al*, 2010).

Les facteurs environnementaux conditionnent par ailleurs les caractéristiques morphologiques des plants (longueur et largeurs des

feuilles), la densité des pieds, et les biomasses foliaires ainsi que les caractères physiologiques spatiales comme le type de distribution (herbiers continus, en patch, avec facies d'érosion etc.). La lumière nécessaire pour l'activité photosynthétique des herbiers est déterminante, un fort taux d'éléments nutritifs dans l'eau favorise le développement d'épiphytes et d'algues filamenteuses affectant les conditions de lumière sur le fond et donc la distribution en profondeur ainsi le nombre de pieds d'herbiers et la longueur des feuilles des plants (Borum *et al*, 2004). Des facteurs d'origine biotique, comme la compétition inter-spécifique et la pression d'herbivorie de certains organismes, peuvent aussi affecter la croissance et la distribution des herbiers. Un broutage intense dans certains sites très fréquentés par les tortues vertes (Mayotte) ou les dugongs (Nouvelle-Calédonie) peut entraîner une dynamique en termes de succession d'espèces. Les espèces du genre *Halophila* sont souvent considérées comme des espèces pionnières capables de se développer rapidement sur les sédiments nus ou altérés et sont ainsi souvent dominants dans les secteurs maintenus sous forte pression de broutage.

L'ensemble de ces facteurs physico-chimiques et biologiques engendrent une dynamique naturelle permanente des herbiers plus ou moins forte. Cette dynamique peut prendre la forme soit d'une stabilité dynamique (cycle de successions écologiques) maintenant à l'échelle pluri-annuelle une stabilité globale du système lorsque les conditions de l'environnement n'évoluent pas, soit d'une tendance d'évolution si l'un ou l'autre des facteurs biotiques ou physico-chimique dérive dans le temps.

Les actions de suivi des herbiers devraient pouvoir mettre en évidence ces dynamiques qui se situent sur différentes échelles spatiales et temporelles et qu'il est nécessaire de maîtriser pour porter des diagnostics pertinents sur l'état de santé des herbiers, leur évolution et proposer des mesures *ad hoc* pour maintenir leur intégrité

écologique. En particulier une même espèce développera des populations aux caractéristiques démographiques différentes (longueur moyenne des feuilles, etc.) selon les niveaux d'intensité d'un facteur donné (hydrodynamisme, lumière, etc.). Il est donc important lorsque l'on cherche à faire des comparaisons d'herbiers pour qualifier leur état de santé, de comparer des herbiers en toute connaissance de cause de leur environnement global, pour éviter des erreurs d'interprétation.

Les herbiers marins constituent aussi un habitat essentiel d'intérêt patrimonial pour de nombreuses espèces qui y réalisent une partie ou l'intégralité de leur cycle de vie (Beck *et al.*, 2001). Les herbiers permettent en effet le développement de peuplements animaux et végétaux très particuliers et d'une très grande biodiversité spécifique et fonctionnelle. Parmi les espèces recensées dans les herbiers, certaines y sont totalement inféodées, d'autres sont présentes en plus grande abondance que dans les autres habitats qu'ils fréquentent naturellement et enfin beaucoup d'espèces de différents habitats s'y croisent (Hily *et al.*, 2010). L'herbier joue en effet pour de nombreuses espèces plusieurs rôles écologiques complémentaires, tels que refuge, zone de nourrissage, de nurserie, de reproduction.

Ainsi les herbiers sous influence d'une barrière de corail, d'une mangrove, ou de rivière n'auront donc pas les mêmes caractéristiques, ni en termes de biodiversité ni en terme de fonctionnalité.

2.2. Vers une typologie des herbiers de l'Outre-mer français

Cette diversité des herbiers tropicaux nécessiterait d'être mieux définie et encadrée. En effet, il reste une mauvaise connaissance des « niches écologiques » potentielles et réalisées des espèces de phanérogames marines dans les différents territoires de l'Outre-mer. Ce genre d'information, importante en termes d'amélioration des connaissances sur les herbiers tropicaux, a d'autant plus d'intérêt dans le cadre de la mise en place de réseau de suivi à cet échelle de l'Outre-mer.

En Nouvelle-Calédonie, quelques études ont proposé une base typologique des herbiers locaux (Scamps, 2005 ; Dirberg, 2005). Basée sur des données quantitatives de 23 stations réparties sur les zones peu profondes du lagon sud-ouest, autour de Nouméa, dans le lagon de la zone de Koné ainsi que dans le lagon nord-est, autour de l'île de Balabio, cette typologie se base uniquement sur la diversité spécifique des herbiers. Elle n'y associe pas l'ensemble des paramètres environnementaux.

Dans le cadre des suivis en cours et notamment pour la définition d'une méthode de bioindication adaptée aux phanérogames marines pour la mise en œuvre de la DCE dans les DOM, la création d'une base typologique multicritères de ces herbiers est devenue essentielle. Ainsi, récemment dans ce contexte la création préalable d'une typologie des herbiers de Martinique, Guadeloupe et de Mayotte a été soumise lors de l'atelier DCE de janvier 2012, puis actée. Financée l'ONEMA et sous la co-coordination scientifique du MNHN (M. Le Moal) et du Lemar (C. Hily), cette action aura pour objectif d'acquérir et de développer une méthode de bioindication adaptée aux phanérogames marines et de comparer des ainsi des éléments comparables entre eux. A terme, cette étude permettra de définir les différents types

d'herbiers existants, de choisir le ou les types d'herbiers qui serviront de sites de surveillance DCE et de construire un bioindicateur avec des seuils de qualité associés. Cette étude permettra aussi d'apporter des éléments sur les fonctionnalités des herbiers dans les différents territoires.

L'approche paysagère de la prospection en plongée PMT développée dans la mission effectuée dans le cadre de ce stage en Guadeloupe et à Saint-Martin est reprise dans la méthodologie qui sera appliquée dans le cadre de cette action typologie ONEMA. Quelques éléments des types d'herbiers présents en Guadeloupe, et Saint-Martin acquis lors de la mission IFRECOR en mai-juin 2012 pour la mise au point du protocole d'étude de la fragmentation (Chapitre 3), sont présentés ci dessous.

2.3. La diversité de la structure des herbiers en Guadeloupe et Saint-Martin

2.3.1. Sites prospectés

Lors de la mission effectuée dans le cadre de l'IFRECOR pour la mise en place du réseau d'observation des herbiers de l'Outre-mer du 20 mai au 4 juin 2012, de nombreux sites ont été prospectés (**Tableau 6**) en Guadeloupe (**Figure 13**, **Figure 14**) et à Saint-Martin (**Figure 15**) en PMT pour une première approche paysagère à l'échelle site et également grâce à l'utilisation d'une méthode de vidéo tractée pour la mise au point du protocole de caractérisation de la fragmentation (Chapitre 3). Les cartographies d'herbiers disponibles ne permettant

pas de caractériser les types d'herbiers, cette prospection de terrain était nécessaire pour prendre la mesure d'une part de la variabilité des types d'herbiers où se localisent les stations de suivi actuels, et d'autre part de l'ensemble des types et de la diversité des situations environnementales dans lesquelles se développent les herbiers. Le choix des sites à caractériser s'est basé sur les plus récentes orthophotographies littorales et sur les cartographies existantes.

	Ile de la Guadeloupe	Terre de Haut Les Saintes	Saint-Martin
Nombre de sites prospectés en PMT	14	10	12
Nombre de sites prospectés en vidéo tractée	6	1	1

Tableau 6 : nombre de site prospectés

2.3.2. Diversité des sites

Sur la trentaine des sites visités en plongée PMT et les huit sites échantillonnés grâce à la méthode de vidéo transect, une forte diversité spécifique et morpho-structurale a pu être observée. Les éléments structuraux tels que la granulométrie du sédiment (taille des grains du sédiment, et distribution en classes de taille) sont des paramètres clés dans cette diversité. Le relief dépendant des facteurs de l'environnement à plus large échelle, il varie suivant les sites, changeant radicalement la morphologie et la structure d'un herbier par rapport à

un autre. Le taux de matière organique est également très variable d'un herbier à l'autre avec des conséquences importantes en particulier pour la faune endogée associée. De ce fait, selon l'influence sous laquelle se trouve un herbier : océanique, mangroves, récifs, rivière, etc., la composition et la structure de l'herbier sera différente. Par exemple, malgré les faibles marnages aux Antilles, des herbiers peuvent être parfois exondés, cette situation leur conférant des caractéristiques particulières. C'est le cas dans un secteur de l'Îlet de la Baie de l'Embouchure à Saint-Martin (**Figure 15**) où des plants de *Thalassia testudinum* aux brins noircis par le soleil, très courts, et fins émergent sur une zone du platier.

Des différences intersites existent donc, mais également au sein d'un même site les herbiers présentent parfois un gradient côte-large morphologique et spécifique. Dans certains sites comme la baie de l'Embouchure à Saint-Martin (carte), cette succession de faciès est nettement visible : *Syringodium filiforme* est tout d'abord présent en petits patches épars à la bordure du rivage à faible profondeur, puis en s'éloignant légèrement vers le large toujours à moins d'1 mètre de profondeur, l'herbier, plus étendu et ensablé, est constitué de *T. testudinum* majoritairement présent avec quelques brins de *S. filiforme*. En continuant vers le large à une profondeur de 2,5 à 3 mètres, une zone de sable façonnée par la bioturbation avec de nombreux petits monts est visible. Par la suite, sur ce même type de fond, les herbiers de *S. filiforme* très épiphytisés sont de plus en plus présents associés avec *Halophila stipulacea*, présentant elles aussi des épiphytes. Cette dernière est recensée pour la première fois à Saint-Martin. Sur ce secteur l'herbier mixte alterne avec des zones à dominance de *S. filiforme* et d'*H. stipulacea*. En poursuivant encore l'exploration vers le large, la présence de nombreux débris de feuilles de *T. testudinum* est notée et s'explique probablement par le courant. L'herbier change

ensuite de type : il est constitué et il est constitué en majorité de *T. testudinum* très denses avec quelques brins de *S. filiforme* colonisés par de nombreux oursins blancs.

Sur chacun des sites prospectés un ensemble de critères permettant de décrire l'échelle « site » sous une approche paysagère a été recherché. Les résultats complets de ce travail n'avaient pas lieu d'être présentés ici, cependant ci-dessous quelques photographies illustrent la diversité des herbiers et des critères (relief, substrat, profondeur, etc.) qui peuvent être pris en compte dans cette nouvelle approche.

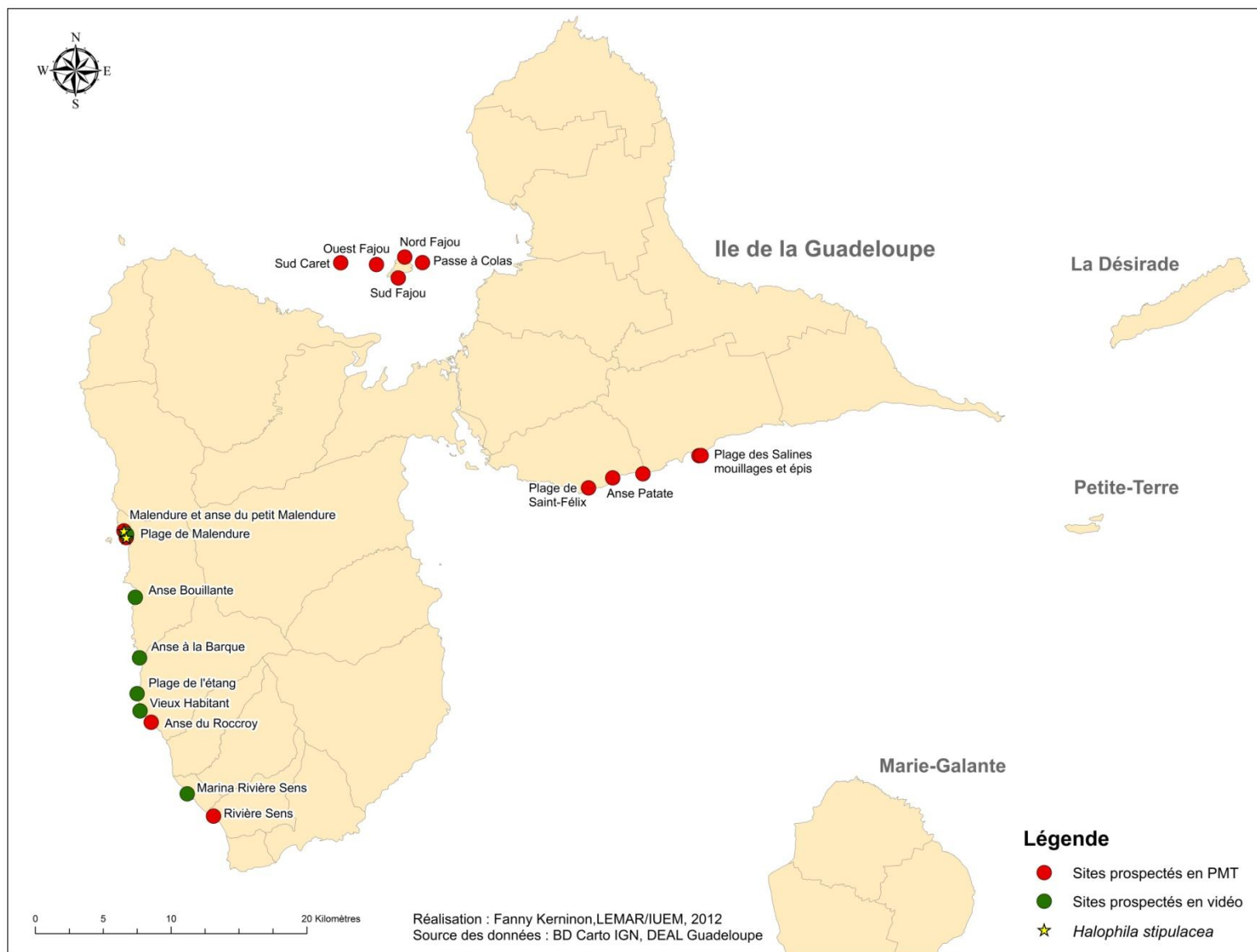


Figure 13 : sites prospectés sur l'île de la Guadeloupe

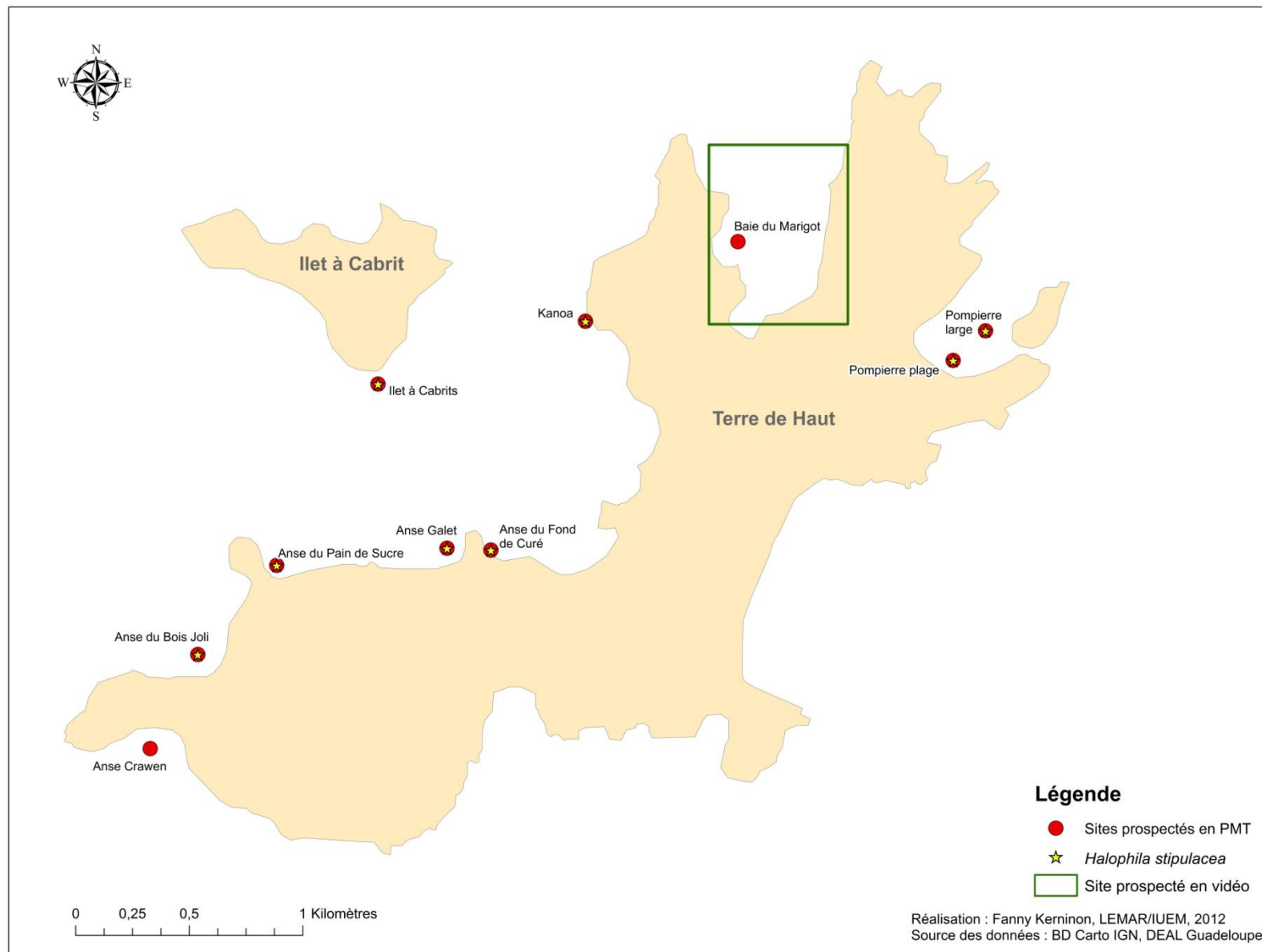


Figure 14 : sites prospectés sur l'île de Terre-de-Haut (Les Saintes, Guadeloupe)

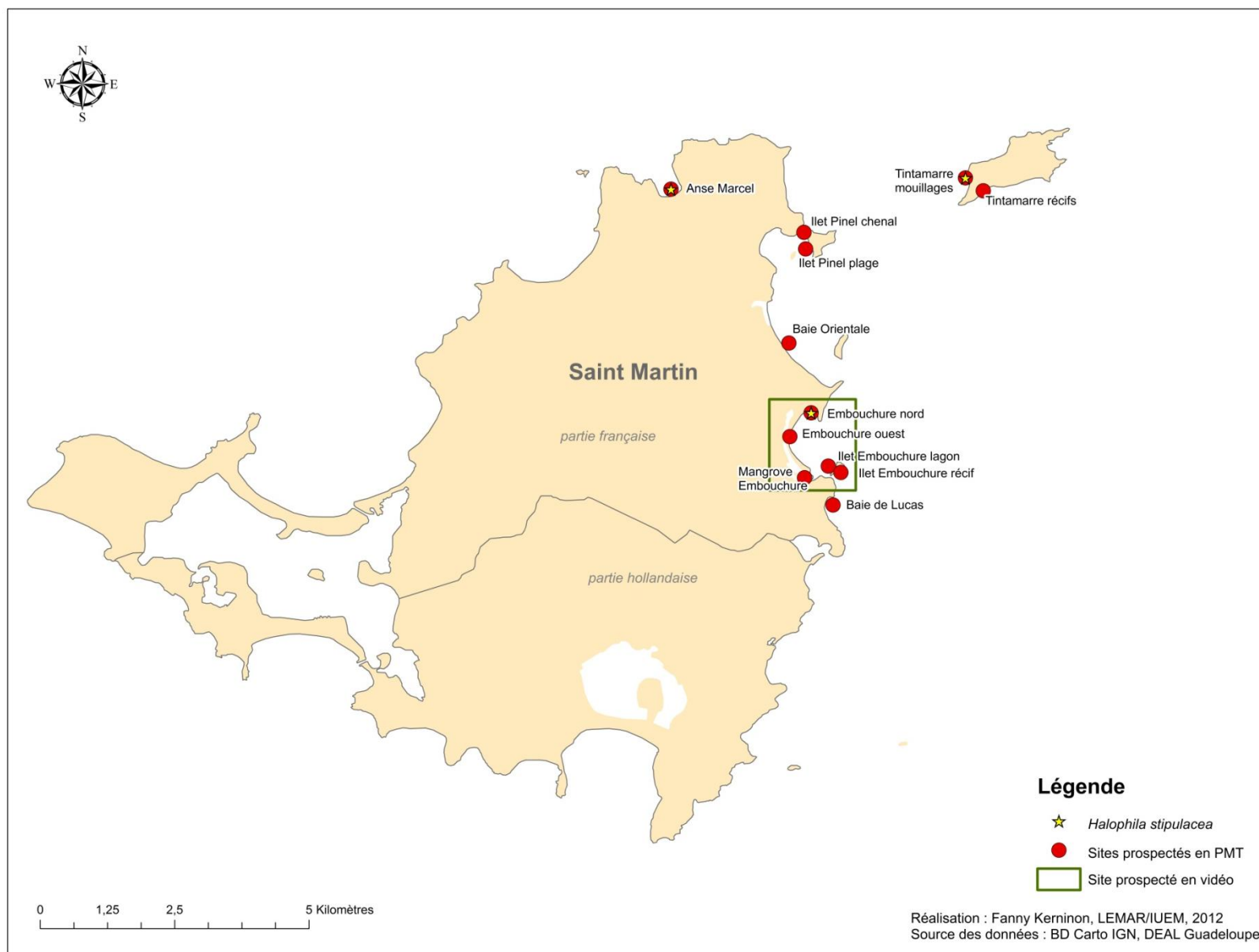


Figure 15 : sites prospectés sur l'île de Saint-Martin

Espèces

- Herbier de *Thalassia testudinum*

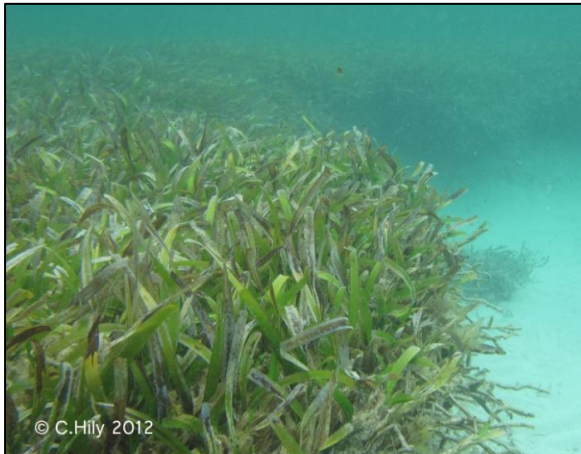


Figure 16 : Herbier de *Thalassia testudinum*. Baie de Lucas (Saint-Martin).
Dessin : source: <http://ian.umces.edu>

- Herbier de *Syringodium filiforme*

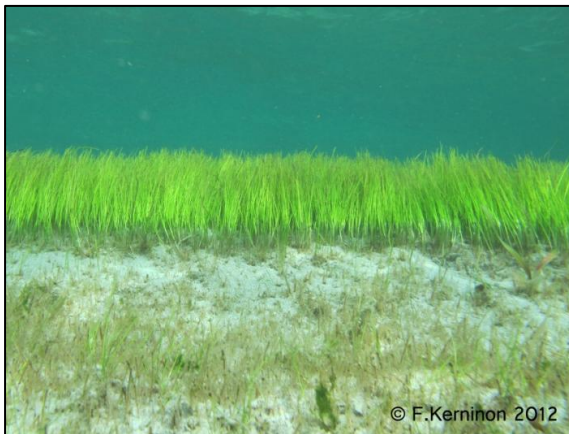


Figure 17 : Herbier de *Syringodium filiforme*. Baie de Lucas (Saint-Martin).
Dessin : source: <http://ian.umces.edu>

- Herbier d'*Halodule* sp. (*beaudettei* et/ou *wrightii*)

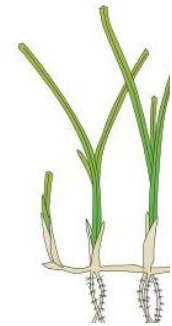


Figure 18 : Herbier d'*Halodule* sp. Anse du Rocroy (Guadeloupe).
Dessin : source: <http://ian.umces.edu>

- Herbier d'*Halophila stipulacea*



Figure 19 : Herbier d'*Halophila stipulacea*. Anse du petit Malendure. (Guadeloupe). Dessin : source: <http://ian.umces.edu>

Composition de l'herbier

- herbier monospécifique



Figure 20 : herbier monospécifique de *Syringodium filiforme* à l'anse du Bois Joli (Terre-de-Haut, Les Saintes, Guadeloupe)

- herbier mixte



Figure 21: herbier mixte de *Thalassia testudinum* et *Halophila stipulacea* à Terre-de-Haut (Les Saintes, Guadeloupe)

Relief

- herbier homogène et dense
- distribution plane



Figure 22 : herbier mixte de *Thalassia testudinum* et *Syringodium filiforme* à l'îlet de la baie de l'Embouchure à Saint-Martin

- herbier hétérogène, de densité variable
- herbier installé en "étage"



Figure 23 : herbier mixte de *Thalassia testudinum* et *Syringodium filiforme* dans la baie de Lucas à Saint-Martin

Substrats

- sédiment fin
- sédiment sableux



Figure 24 : herbier de *Thalassia testudinum* dans la baie de Pompierre à Terre-de-Haut (Les Saintes, Guadeloupe)

- sédiment grossier
- sédiment constitué de blocs coralliens



Figure 25 : herbier de *Thalassia testudinum* à l'Ilet de la baie de l'Embouchure à Saint-Martin

Profondeur

- herbier affleurant en surface
- brins très longs et épais
- matre importante



Figure 26 : herbier de *Syringodium filiforme* à la plage des Salines en Guadeloupe

- herbier immergé à plusieurs mètres de profondeur
- brins moyennement long
- matre peu visible

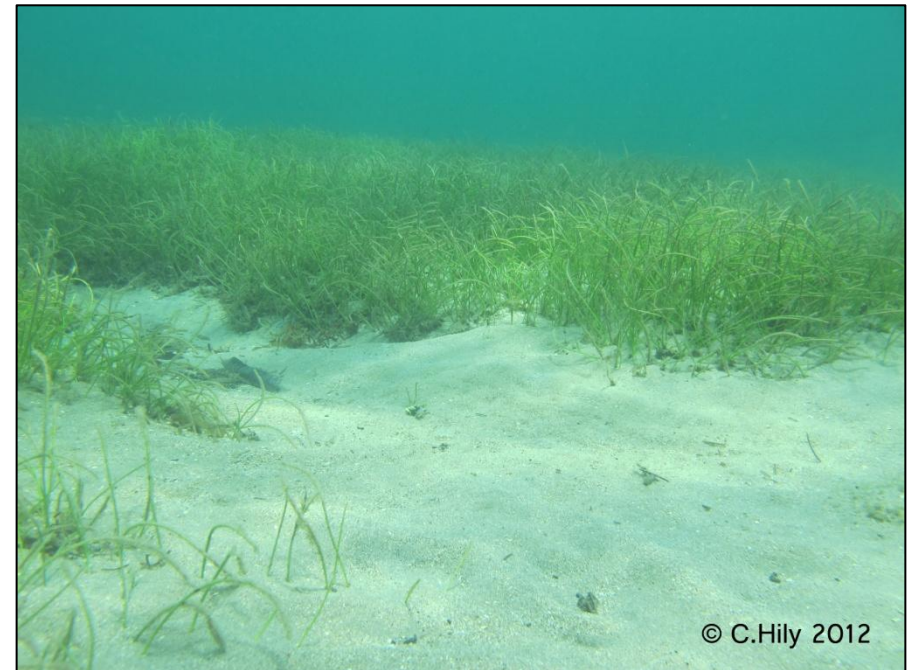


Figure 27 : herbier de *Syringodium filiforme* à la plage du Pain de Sucre à Terre-de-Haut (Les Saintes, Guadeloupe)

2.4. Vers une approche nouvelle de la structure, fonctionnement et évolution des herbiers à l'échelle « site »

Le bilan des connaissances et des actions de suivi en cours dans les territoires de l'Outre-mer a mis en lumière des lacunes dans les paramètres mesurés. Seuls trois paramètres sont actuellement suivis au niveau stationnel : la densité de l'herbier, la hauteur de la canopée et l'état de santé général de l'herbier. Ce type de suivi se limite de plus à un secteur trop ponctuel et localisé, et sans une prise en considération des caractéristiques du site pour une interprétation plus globale. De ce fait les données acquises ne sont pas pertinentes en termes de gestion en vue d'actions conservatoires. D'une part comme nous l'avons abordé dans la partie précédente, elles ne permettent pas une inter-comparaison entre sites du fait que les stations sont mises en place sur des types d'herbiers différents et d'autre part, il est maintenant reconnu que ces paramètres ne permettent pas à eux seuls de détecter l'état de santé des herbiers à l'échelle d'un site et de son évolution.

Pourtant, malgré les manques, les connaissances actuellement disponibles sur les herbiers de phanérogames marines en milieu tropical, devraient permettre d'un point de vue théorique de différencier les effets de l'érosion et de la dynamique naturelle des populations, des effets anthropiques liés d'une part à l'eutrophisation et à l'hypersédimentation, et d'autre part aux destructions physiques liées en particulier aux activités de plaisance et de la pêche. Par exemple, il doit être possible de différencier par les paramètres suivis, une érosion d'herbier liée à une houle cyclonique d'une érosion liée à une surcharge organique ou un impact d'engin de pêche. Dans des zones différentes, des régressions n'auront donc pas potentiellement la même cause.

Les enjeux en termes de conservation étant élevés, il est nécessaire de déterminer précisément les causes d'altérations des herbiers afin de mettre en place des mesures de protections adaptées. En cas de régression d'un herbier, un gestionnaire d'aire marine protégée a besoin de connaître, sans avoir la nécessité de passer par des méthodes coûteuses, la cause de ce changement afin de prendre les mesures nécessaires.

Il semble donc nécessaire d'élargir les méthodes de suivi en prenant en compte une approche à l'échelle du fonctionnement des herbiers au sein du site dans sa globalité qui aurait tout son intérêt pour son suivi et sa gestion.

Un site est un espace fonctionnel cohérent pour qu'un herbier de phanérogame marine puisse s'y développer et se maintenir à l'échelle pluriannuelle dans toutes ses composantes structurales et fonctionnelles, avec un réseau complexe d'interactions biotiques entre les phanérogames et avec les espèces animales et végétales associées. Au sein de l'enveloppe globale de l'herbier dans le site, enveloppe qui se définit par les conditions limites que peuvent tolérer les espèces de phanérogames pour leur développement, l'herbier montrera une dynamique souvent forte alternant des phases de croissance pendant lesquelles l'herbier peut être presque continu et des phases de régression pendant lesquelles il est très fragmenté en patchs plus ou moins grands. Un herbier à l'échelle du site se présente ainsi comme une mosaïque évolutive.

Cette échelle permet donc de prendre en compte les différents types d'herbiers. Cet agencement, cartographiable à un instant donné, est donc la résultante d'un «équilibre dynamique » des conditions locales des processus sédimentaire, des interactions biotiques (herbivorie etc.) ; la prise en compte de cette dynamique naturelle est importante pour connaître la variabilité interannuelle pour une interprétation cohérente des résultats.

Le site correspondra souvent ainsi avec une unité paysagère et physiographique décrite comme une anse, une petite baie, une crique, etc. L'unité de surface la plus adaptée est l'hectare, (un site aura généralement une surface de quelques hectares à quelques centaines d'hectares). Le site sera décrit par des conditions moyennes des facteurs hydroclimatiques, physico-chimiques, sédimentologiques et géomorphologiques. Le site pourra être stratifié selon la variabilité locale de ces facteurs naturels ou anthropiques (présence d'un mouillage ou d'un émissaire dans un secteur de l'anse), permettant une comparaison de la variabilité intra-site. Le site est aussi une unité de gestion-conservatoire pratique pour un gestionnaire et facilement valorisable en terme de pédagogie et de communication.

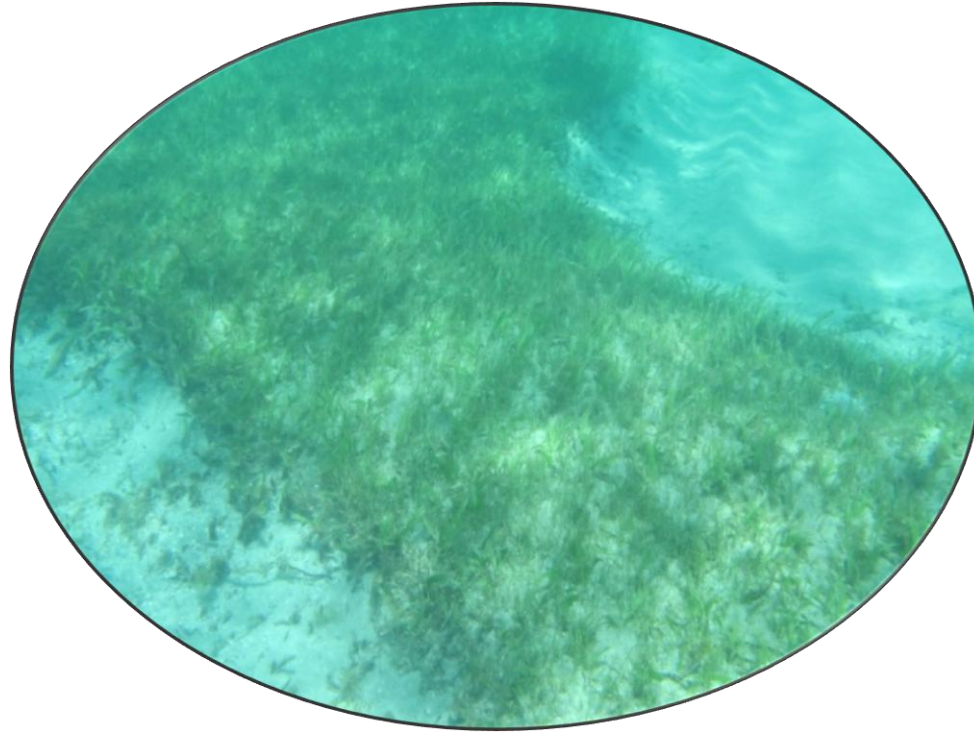
Une approche spatiale d'écologie du paysage à cette échelle intermédiaire, permettrait ainsi d'avancer des hypothèses plus probantes en termes d'évolution et d'état de santé des herbiers de l'ensemble de l'enveloppe et de déterminer aussi les variabilités à l'échelle d'un territoire. Exploitée plus largement à travers la mise en place de protocoles simples et peu coûteux, adaptés à cette échelle d'étude, cette démarche permettrait d'apporter des éléments de réponses pour les gestionnaires locaux à l'échelle de leur site afin qu'ils puissent déterminer l'état de santé et la tendance évolutive des herbiers en fonction des enjeux et menaces spécifiques.

En identifiant et en localisant les causes potentielles de dégradation des herbiers tout en prenant en compte les caractéristiques physiques et environnementales et saisonnières du site, ainsi que les pressions naturelles ou anthropiques qui s'y appliquent, en ajoutant une approche de terrain paysagère d'observation et de suivi, il serait possible d'émettre plusieurs hypothèses ou d'identifier la ou les causes de dégradation de l'herbier.

Dans le cadre de la problématique actuelle des espèces invasives avec *Halophila stipulacea*, nouvellement installée dans les Antilles cette approche aurait également tout son intérêt.

On voit donc que l'un des éléments essentiels de cette structure et cette dynamique est la fragmentation, correspondant au morcellement des herbiers sous l'effet de nombreux facteurs naturels et anthropiques. Elle peut être caractérisée et suivie de différentes manières, mais concrètement, c'est toujours avec des méthodes cartographies fines de l'herbier, coûteuses et lourdes d'application, qu'elle a été caractérisée jusqu'à présent (Fontan *et al*, 2011). Une méthode simple et peu coûteuse pour un suivi de ce paramètre à l'échelle du site restait donc à définir. Dans ce contexte de mise en place de protocoles standardisés de suivis des herbiers de phanérogames marines de l'Outre-mer pour la mise en place d'un réseau d'observation, un protocole original simple, utilisant les caméras vidéo sous-marine tractées est proposé dans le chapitre suivant pour caractériser la fragmentation de l'herbier et analyser l'échelle paysagère-site.

Chapitre 3



Caractérisation de la fragmentation des herbiers par vidéo tractée

3.1. Définition et méthodes existantes

3.1.1. Terminologie : la fragmentation dans l'organisation spatiale d'un herbier

Parmi les nombreuses méthodes utilisables pour suivre l'évolution et l'état de santé des herbiers, la prise en compte de la fragmentation est un paramètre particulièrement intéressant (**Annexe 7**) tableau partie 1). La **fragmentation** de l'herbier est définie par la surface relative (pourcentage) du substrat non colonisé par l'herbier (**substrat nu** = SN) par rapport à la **surface totale** de l'herbier (enveloppe totale de l'herbier = ST). Le recouvrement de l'herbier est le complément c'est-à-dire la surface relative couverte par les phanérogames (**surface végétalisée** = SV) par rapport à la surface de l'enveloppe. On a donc $SN + SV = ST$ et $\% SN + \% SV = 100$.

L'enveloppe de l'herbier est définie *a priori* : c'est l'ensemble de la surface occupée par l'herbier dans un site limité de toutes parts par des zones de substrat non végétalisées sur les largeurs suffisantes pour assurer une rupture de fonctionnalité (limitant le déplacement de la petite faune mobile de l'herbier). Cette largeur minimum n'est pas connue avec précision, mais une valeur de 50 mètres peut être proposée. Elle est en cohérence avec la longueur unitaire des traits caméra vidéo. L'enveloppe de l'herbier peut être définie arbitrairement lorsque l'herbier ne montre pas de coupure nette au sein de la zone de gestion. C'est fréquemment le cas lorsque les herbiers sont « en ruban » s'étendant parfois sur plusieurs kilomètres le long de côtes plus ou moins rectilignes sans discontinuité physiographique. On notera que les **limites d'un herbier** ou d'un patch sont situées au niveau du dernier pied/faisceau de feuilles visible d'une espèce donnée de phanérogame.

Il faut noter que la surface végétalisée peut comporter des petites surfaces de substrat nu liées à des micro-aléas comme la

bioturbation qui parfois peut être importante lorsque l'endofaune est abondante. On pourra caractériser cette « micro-fragmentation » en parlant de « **mitage** » au sein des zones végétalisées. Dans le protocole proposé, **l'herbier sera dit fragmenté lorsque la largeur des zones de substrat nu est supérieure à deux mètres**. Cette valeur à dire d'expert, est retenue non seulement parce qu'elle est cartographiable à des échelles de travail intéressant les gestionnaires, mais aussi parce qu'elle est cohérente au niveau fonctionnel. En effet, une surface minimum de 4 m² est théoriquement suffisante pour que s'y développe une biocénose spécifique différente de celle de l'herbier avec des effets de lisière et que la stabilité temporelle y soit au moins égale à un an dans la plus grande majorité des cas, compte tenu de la croissance végétative des espèces de phanérogames (comm. pers C. Hily).

Lorsque les zones de substrat nu isolent une zone végétalisée, on décrit cette zone comme un **patch**. Caractériser la fragmentation équivaut donc à décrire l'herbier en terme de nombre et taille de patches. La structure d'un herbier est donc un agencement spatial d'éléments agrégés en ensembles dans un emboîtement d'échelles. Cette structure est schématisée dans la figure suivante (**Figure 28**). En résumé un herbier identifié par son enveloppe totale est formé par des zones de substrat végétalisé et de zones de substrat nu. La fragmentation exprime le pourcentage de substrat nu (zones de largeur > 2 mètres). L'herbier peut être structuré en un certain nombre de patches de formes et surfaces variées, eux-mêmes plus ou moins mités par des petites surfaces (zones de largeur < 2 mètres) de sédiment nu. Cette structuration résulte de processus naturel (sédiment, herbivorie, croissance herbier) et/ou anthropiques, agissant à des échelles variées. Une fragmentation élevée pourra donc être le signe d'une perturbation localisée ou diffuse dans le site (Fontan *et al*, 2011). Elle pourra aussi résulter d'activités biogéniques, telle que la bioturbation recouvrant les faisceaux de feuilles par des sédiments.

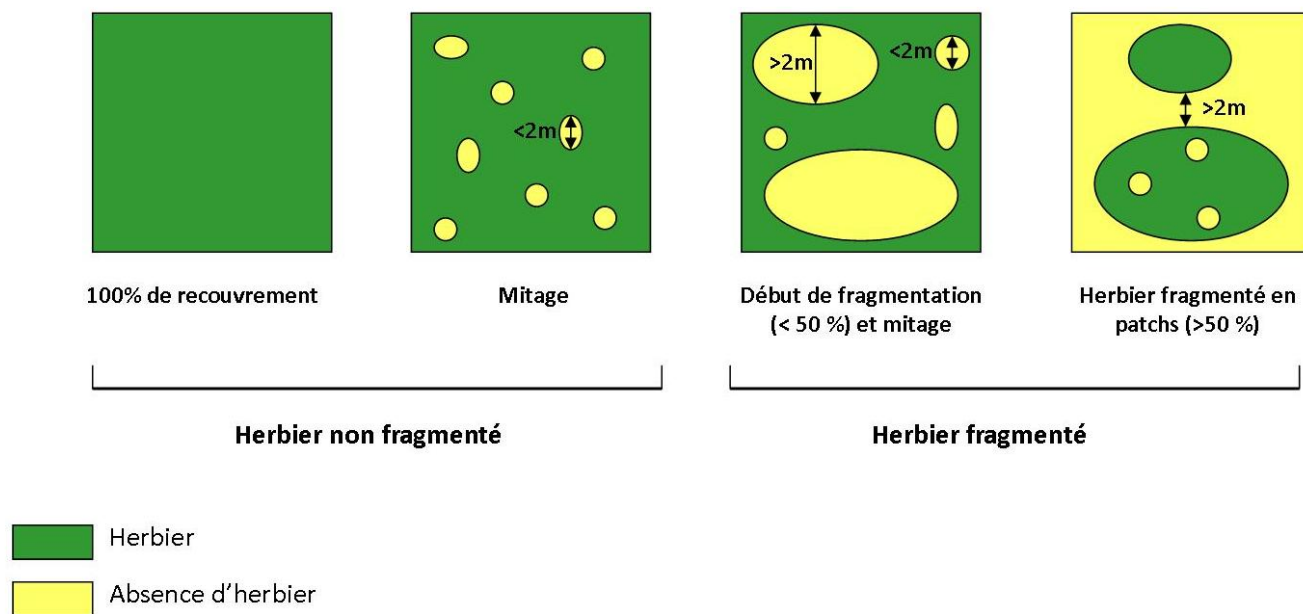


Figure 28 : les étapes de fragmentation de l'herbier

3.1.2. Méthodes de suivi existantes : techniques d'imageries satellitaires et aéroportées, analyse des images aériennes

Concernant le suivi de la fragmentation, les méthodes existantes ou préconisées se basent sur une cartographie à haute résolution à une fréquence annuelle de préférence. D'un coût élevé, elle conduit à suivre la dynamique de chacun des patchs d'herbier, ce qui n'est pas forcément pertinent pour un résultat à l'échelle globale.

Pour les zones intertidales et de petits fonds, ces cartographies sont réalisées le plus souvent grâce aux techniques de télédétections par l'analyse des orthophotographies littorales géoréférencées et corrigées, ou à partir d'images satellites (images SPOT). Fréquemment utilisées du fait de leur gratuité et de leur couverture dans l'ensemble des départements français, les orthophotographies de précision d'environ 50 cm, ne sont cependant pas forcément de qualité suffisante ni disponibles à une échelle de temps régulière pour l'ensemble des secteurs de l'Outre-mer. La majorité de ces territoires ne présentent pas ou peu de marnage, de ce fait pour la détermination des herbiers en quasi totalité immergés, l'utilisation des orthophotographies n'est pas adaptée. Si les herbiers sont généralement bien visibles sur des petits fonds de sable blanc, ils restent peu accessibles au détournage sur les fonds de sable noir, fréquents dans les lagons d'îles volcaniques, ce qui diminue son utilisation à large échelle dans les départements de l'Outre-mer. Si ces méthodes sont pertinentes pour des approches globales à l'échelle des territoires, elles sont limitées à certains cas pour suivre la dynamique spatiale à moyenne échelle spatio-temporelle qui s'exprime par l'évolution de la fragmentation. En effet, cette méthode se base sur la présence apparente d'herbiers par l'interprétation des niveaux de couleur, qui selon les espèces, doivent donc être suffisamment denses pour être détectée. A titre d'exemple, les zones d'herbiers clairsemés composées de jeunes plants en expansion ne peuvent donc pas être détectables à l'échelle des patchs

et encore moins l'échelle de l'enveloppe de l'herbier. A l'inverse une absence d'herbier ou un herbier clairsemé avec une forte couverture d'algues fixées ou en dérive peut être considérée comme de l'herbier dense par l'analyse des photographies aériennes. La technique n'est pas non plus assez précise pour apporter des données en termes de densité et de structure de l'herbier, qui sont des informations clés pour la caractérisation de la dynamique de l'écosystème. Par ailleurs, des erreurs et confusions sont possibles dans l'interprétation des signaux. En dehors de la précision il faut également prendre en compte la qualité de base de la photographie. Des phénomènes de diffraction et de réfraction de la lumière avec le passage dans l'eau peuvent engendrer des décalages ou des erreurs dans les éléments visibles sur les images. Les fichiers mis à disposition sont livrés en format compressé "ecw" pour une meilleure utilisation de la photographie. Ceci entraîne dans certains cas une légère dégradation du signal aux plus forts grossissements, qui, s'ajoutant aux défauts précédents, peut nuire à la qualité de la numérisation des polygones (Levêque, 2004). Des vérifications terrains sont donc nécessaires pour valider ces résultats. Il est également peu aisé de s'affranchir du décalage entre la date de prise de vue et la phase de vérification terrain, sachant que la saison peut influencer fortement le développement de l'herbier. De ce fait, il faudrait réaliser l'ensemble des opérations sur la même période et effectuer des vérifications sur le terrain.

Le lidar bathymétrique, équipé de faisceaux destinés à pénétrer dans la colonne d'eau, permet suivant la turbidité de l'eau, d'atteindre des fonds de 20 mètres dans les meilleures conditions (Rollet *et al*, 2010). Plus généralement utilisés pour les zones plus profondes, différents outils d'acquisition basés sur l'acoustique sous-marine fournissent des images du fond de la mer ou du sous-sol marin (Rollet *et al*, 2010) mais ils doivent être calibrés par des prélèvements. Dans le cas de secteurs plus profonds, le sonar latéral est utilisé, mais comme ils représentent un investissement logistique et financier conséquent,

leur utilisation est difficilement réitérable sur du long terme et une validation vidéo est également nécessaire.

L'ensemble de ces démarches est donc coûteuse et chronophage. Pour un suivi de la fragmentation à faible coût et à une fréquence régulière, facilement réalisable par un gestionnaire d'aire marine protégée ou équivalent, ces outils de suivi ne semblent donc pas adaptés.

Par conséquent, d'autres méthodes pour le suivi régulier de la fragmentation restaient à développer. Une approche directe de terrain semblait présenter de nombreux avantages en terme de coût de réalisation, de temps et de qualité de résultats. Dans ce cas une méthode par vidéo sous-marine tractée pourrait réduire l'ensemble des contraintes avérées des techniques par télédétection et permettrait d'offrir de nombreux avantages comme la distinction précise des zones d'herbier et la possibilité d'échantillonner de grandes surfaces sur le terrain rapidement et à moindre coût.

3.1.3. Synthèse des méthodes de vidéo transects

De nombreuses études par vidéo tractée ont démontré la pertinence de l'utilisation de cette méthode pour l'analyse de la faune benthique et des habitats marins (Belsher *et al*, 2003 ; Thibault Datry *et al*, 2003 ; Spencer *et al*, 2005 ; Allan W. Stoner *et al* 2006 ; Assis *et al*, 2007; Rooper & Zimmermann, 2007 ; Chalifour, 2008 ; Haywood MDE *et al*, 2008), notamment en milieu tropical pour l'observation et le suivi des ressources et des écosystèmes récifo-lagonaires (Pelletier & Leleu 2008).

L'utilisation des vidéos transects pour l'étude des herbiers n'est pas récente (Norrissa *et al*, 1997), mais la mise au point de techniques nouvelles comme le sonar en associées à des méthodes en vidéo

tractée ont permis la cartographie des herbiers (Lefebvre *et al*, 2009). Concernant l'étude des herbiers de phanérogames marines, des suivis ponctuels par vidéos tractées ont été réalisés notamment en Méditerranée (Bianchi *et al*, 2003 , GIS Posidonies) ainsi qu'en France, en Bretagne (Hily *et al*, 2010).

En revanche, pour la détermination de la fragmentation des herbiers, la technique par transect vidéo n'a pas encore été développée spécifiquement dans cet objectif.

3.2. La détermination de la fragmentation par la réalisation de transects vidéo

3.2.1. Objectif et principe de la méthode

Objectif

L'objectif était de proposer un protocole standardisé simple et peu coûteux pour la détermination de la fragmentation d'un herbier à l'aide d'une caméra vidéo. Le principe de la méthode est de faire un échantillonnage de la fragmentation avec des échantillons qui soient de taille unitaire suffisamment étendue (50 mètres) pour appréhender une échelle pertinente de la fragmentation et un nombre de réplicats suffisamment élevé (N=10) pour qu'ils soient représentatifs de la surface d'herbier considérée (échelle site). Il ne s'agit donc en aucun d'une approche cartographique mais bien d'une technique d'échantillonnage. Il s'agit d'un échantillonnage au hasard. La technique à mettre au point était d'acquérir des images vidéo du fond permettant d'avoir, après le calcul du temps d'herbier et du temps du substrat non couvert par l'herbier le pourcentage de recouvrement. Le recouvrement d'herbier sur des échantillons correspondant à des traits de 50 mètres est ensuite obtenu. Ces échantillons de longueur similaire (métrique) sont indépendants les uns des autres pour la détermination de la fragmentation (paramètre). Cette technique simple à mettre en place doit permettre de connaître aisément la fragmentation de l'herbier même dans des secteurs non couverts par des orthophotographies littorales. Elle doit aussi permettre de s'affranchir de contraintes financières et logistiques importantes qui sont les principaux freins des gestionnaires à la mise en place d'études spécifiques de type cartographie fine par sonar latéral ou sondeur multifaisceaux. Le but étant de proposer un protocole standardisé afin d'estimer la fragmentation de l'herbier à l'échelle du site d'implantation.

Principe de mise au point

La technique de vidéo tractée ici utilisée consiste à remorquer sur moyen naviguant à faible vitesse (type semi-rigide avec un moteur hors-bord) un système équipé d'une caméra filmant en direction du fond. La trajectoire du système est enregistrée manuellement à l'aide d'un GPS permettant de géolocaliser les transects. Les images sont visibles à l'écran en temps réel ce qui permet de contrôler l'orientation et la trajectoire de la caméra, ainsi que le type de fond afin de vérifier le positionnement sur une zone d'herbier et d'alerter en cas de passage sur des zones récifales pouvant heurter la caméra. En effectuant une série de radiales on est ainsi capable de déterminer le nombre minimal de réplicats nécessaire pour obtenir une valeur de la fragmentation de l'herbier avec une précision suffisante pour permettre des comparaisons dans le temps

L'objectif du travail de terrain réalisé pendant ce stage a été d'effectuer et de mettre en œuvre ce protocole, de réaliser les premiers essais de terrain en grandeur réelle afin de calibrer la méthodologie.

3.2.2. Secteurs et période d'étude

Le matériel et le protocole d'étude de la fragmentation ont été testé de manière préliminaire sur les herbiers de la rade de Brest à deux reprises, ce qui a permis d'améliorer au fur et à mesure le protocole avant les premiers essais en conditions réelles dans trois sites aux Antilles (**Figure 29**) :

- en **Guadeloupe**, la journée du 22 mai 2012 sur le littoral de la côte sous le vent entre les communes littorales de Bouillante et Basse-Terre,
- à **Terre-de-Haut** dans l'archipel des Saintes dans la baie du Marigot l'après-midi du 26 mai 2012,
- à **Saint-Martin**, la matinée du 31 mai 2012 dans la baie de l'Embouchure

Dans chacun de ces secteurs et sites, plusieurs radiales en vidéo tractée ont été effectuées :

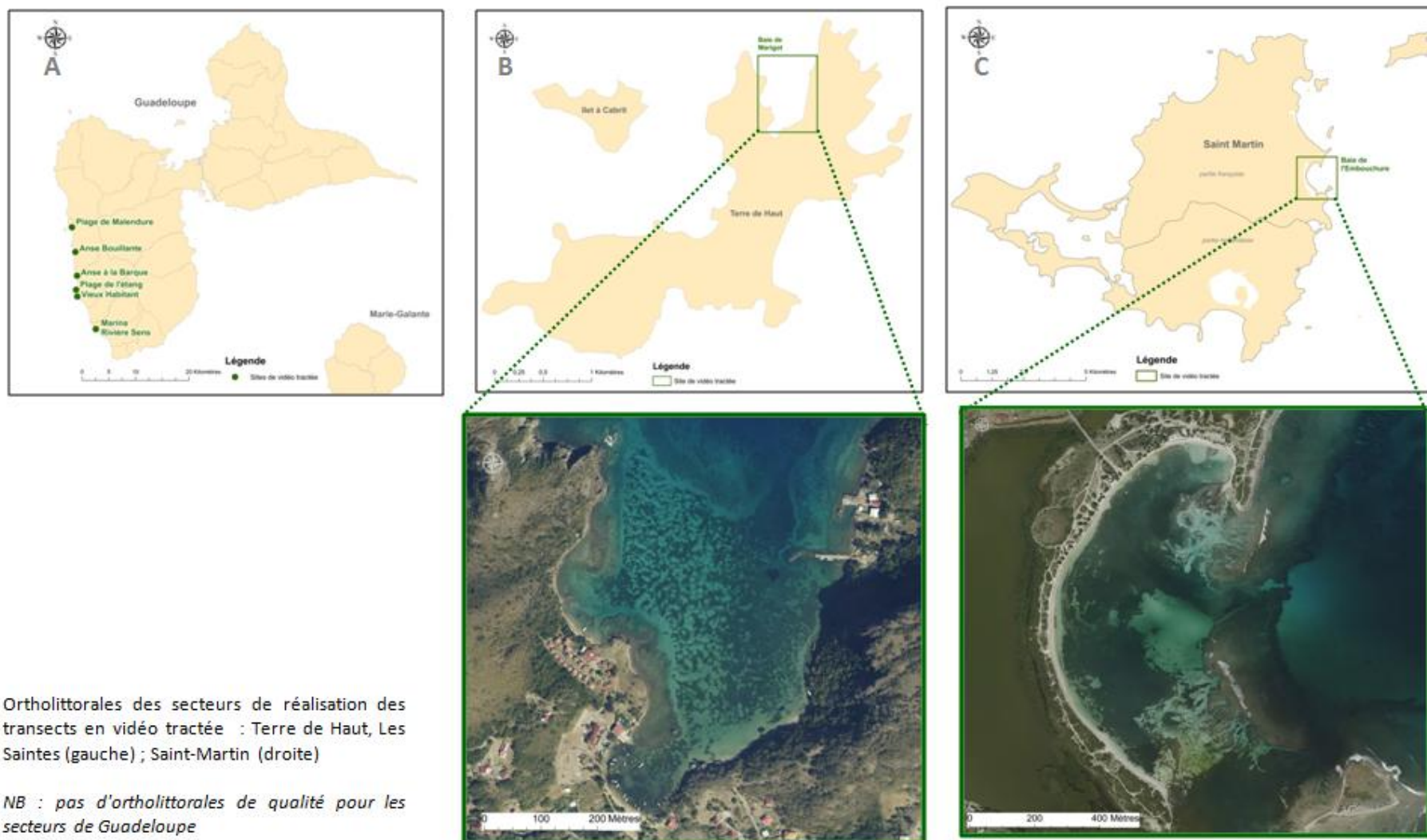


Figure 29 : cartes de situation des secteurs de réalisation des transects en vidéo tractée. A : Guadeloupe ; B : Terre de Haut, Les Saintes ; C : Saint-Martin
Réalisation : Fanny Kerninon. LEMAR/IUEM, 2012. Source des données : BD TOPO® IGN, 2009, BD ORTHO® IGN, 2010

3.2.3. Matériels, moyens et méthodes

Le système est composé par les principaux éléments suivants :

- Une valise avec un écran de visionnage comportant l'enregistreur (PDR100) se reliant à la camera sous-marine cylindrique de type Aysse 650 LCTECH (**Figure 30**) d'une sensibilité 0.01 lux et de faible consommation (90 mA - 12 Volts). La caméra dispose d'une très grande profondeur de champ, la mise au point est fixe avec une netteté entre 5 cm et l'infini. Le PDR, alimenté par batterie, permet d'enregistrer les vidéos sur une carte SD
- Câble de la caméra
- Support-quadrate de la caméra
- Bâche de protection du système
- Gps map Garmin avec affichage de la précision
- Chronomètre
- Sondeur à main

Ainsi que de petits accessoires complémentaires.

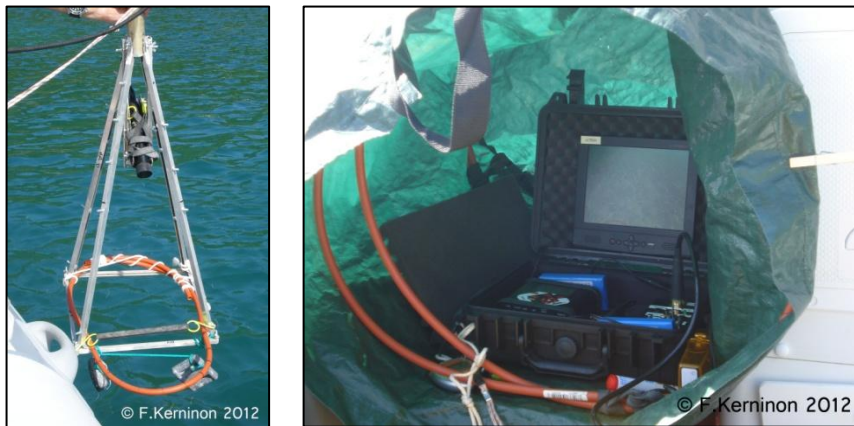


Figure 30 : matériel vidéo

Préparation du terrain :

Avant la phase terrain, l'acquisition d'images aériennes permet de se situer une fois sur site et aussi de repérer la distribution potentielle des herbiers. Un quadrillage géoréférencé du site avec des coordonnées GPS affichées facilite le choix du positionnement des transects vidéos.

Montage et fonctionnement

La caméra, reliée par un câble d'une longueur de 70 m et un bout de sécurité, est fixée sur un trépied quadrate démontable (conception-réalisation C. Hily). Un ou deux plombs fixés à la base du support sur le côté avant, stabilisent l'ensemble et permettent d'incliner la caméra vers le fond lors de la mise en marche. Un anneau gradué visible dans le champ de vision de la caméra est fixé sur le bathy afin d'apporter une notion d'échelle et aussi de visualiser la distance au dessus du fond. Il est également possible de fixer des phares au système. L'espace de stockage de la carte SD de l'enregistreur de la caméra est de 15 giga-octets. On dispose de fichiers au format ".mpg" de très bonne résolution. Le GPS utilisé de la marque Garmin GPS map 60Cx présente une précision de 3 à 5 mètres qui doit être prise en compte dans l'analyse de la fragmentation. Il est important de bien régler l'heure du GPS et celui de l'enregistreur de la camera à l'heure locale.

Moyens humains

Pour réaliser ces missions de terrain, deux personnes au minimum sont nécessaires : une se positionne aux commandes du bateau tout en filant et dirigeant le câble de la camera, une autre est chargée de l'enregistrement des données (enregistrer et examiner les images visibles sur le moniteur et récolter les données complémentaires telles que les positionnements GPS, le temps et effectuer les annotations). Néanmoins, après plusieurs essais, une personne supplémentaire semble être un atout, notamment lorsque le bateau possède une grande puissance et lorsque la mer est agitée ou le vent fort. Cela permet de séparer les tâches de gestion et de navigation. Au laboratoire la partie finale de l'analyse des données vidéos, et de la représentation cartographique requiert quant à elle une seule personne.

Moyens nautiques

Une petite embarcation sans équipement particulier supplémentaire suffit. L'ensemble du matériel nécessaire s'adapte à toutes les embarcations dès lors qu'elles ont un ralenti maîtrisé car il est régulièrement nécessaire d'embrayer et de débrayer dès lors que le vent n'est pas suffisant pour effectuer une radiale en dérive. Pour l'ensemble des sorties terrains réalisées dans le cadre du stage en métropole et en Outre-mer, quatre bateaux différents, aux puissances motrices différentes ont été utilisés. Un zodiac de motorisation 70 chevaux, 4 temps a été utilisé aux Saintes, un semi-rigide équipé d'un moteur 115 chevaux, à Saint-Martin.

3.2.4. Mode opératoire et protocole de terrain

Dans ce cadre, un protocole détaillé précisant la liste et l'ordre des opérations a été réalisé. Une fois le système monté, l'enregistreur est mis en route en surface avant immersion. La camera est tractée à l'arrière du bateau ou sur le côté à très faible vitesse environ 0.5 nœuds (1 nœud maximum) ou en dérive et à une distance au dessus du fond la plus constante possible (**Figure 31**). Chaque radiale vidéo comporte deux phases : une première filme une ardoise où est marqué le nom du site, ainsi qu'un numéro correspondant au numéro de la radiale, une seconde correspond au transect sous-marin. Ces indications sont reportées sur la fiche terrain correspondante. Dès le début de la radiale, un chronomètre est mis en route afin de pouvoir effectuer un point GPS toutes les minutes. Dans l'ensemble, les radiales effectuées ont une durée de 10 minutes. Afin de produire des données vidéos aisément analysables et surtout comparables entre elles, trois paramètres doivent être maintenus les plus constants possible pour une radiale :

- la distance au dessus du fond
- la vitesse : environ 0,4 nœuds
- la durée

Tous les sites prospectés ont fait l'objet d'une fiche de terrain indiquant notamment : la date de la prospection, les observateurs présents, les conditions météorologiques et toutes remarques utiles à l'analyse des données.

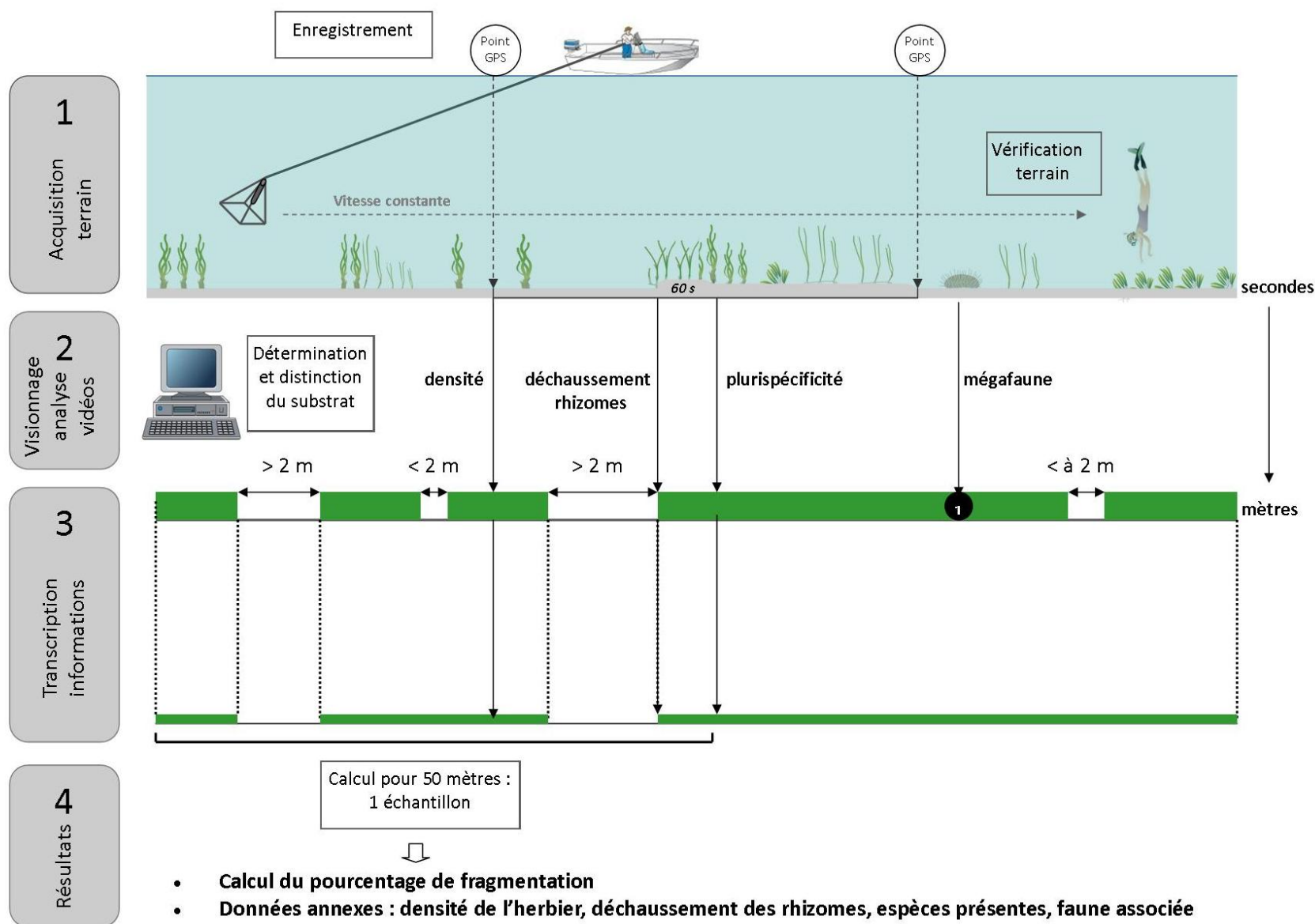


Figure 31 : mode opératoire de l'acquisition des données vidéos à l'analyse des données

3.2.5. Transfert des données et préparation pour le visionnage et analyse des vidéos

Transfert et stockage des données

Les données utilisées pour le calibrage de la méthodologie ici présentée, concernent uniquement celles issues des travaux de terrains réalisés dans les trois sites préalablement cités lors de la mission en Guadeloupe, aux Saintes et à Saint-Martin du 20 au 4 juin 2012.

L'ensemble de ces données en format ".mpg" représentant plus de 10 GO de fichiers vidéo, a été transféré et stocké sur un ordinateur. Les vidéos ont été archivées dans différents dossiers correspondant aux radiales réalisées tout en reportant le lieu, le site et la date de leur réalisation. Ces fichiers ont ensuite été à nouveau copiés puis nommés individuellement en comprenant le numéro de la radiale, le nom du site et la date de réalisation de la vidéo. Après chaque sortie terrain, les points enregistrés dans le système géographique WGS 84 ont été extraits du GPS avec le logiciel "Easy GPS". Les données ont ensuite été exportées avec le logiciel QGIS en projection UTM Zone 20N au format Shape file ".shp". Les données ont ensuite été intégrées à un Système d'Information Géographique, à l'aide des logiciels Arc View 10 et QGIS, en projection UTM Zone 20N.

Détermination du temps et de la distance des segments sous QGIS

Le temps précis entre chaque segment d'une « minute » est déterminé sous QGIS, d'après l'heure associée au point GPS, plus précise que celle du chronomètre. De même, le nombre de mètres entre ces segments est mesuré.

3.2.6. Analyse des vidéos

Sur le temps imparti du stage, seule l'analyse des vidéos réalisées dans la baie du Marigot a été prise en compte pour la détermination de la fragmentation. D'après les Ortholittorales, l'herbier y présente des patchs distincts, ce qui fait de cette baie un site pertinent pour un premier test de détermination de la fragmentation en vue de son application à plus large échelle.

Lors de la sortie terrain, peu de temps a été mis à disposition pour l'utilisation du bateau, de ce fait, les radiales ont été effectuées aléatoirement dans la baie (**Figure 32**). Une bonne couverture du site a pu être néanmoins réalisée représentant une cinquantaine de minutes de film sur une distance totale de 2140 mètres.

Le biais principal identifié pour ce protocole vidéo est la variation potentielle de la vitesse. Il est cependant postulé que la vitesse est constante entre chaque point GPS d'une minute. Après les mesures de distance et de durée entre les segments et quelques calculs, nous obtenons donc pour chaque segment une valeur de vitesse moyenne.

Pour cette méthode, trois postulats de départ sont donc posés :

- sur les segments d'une minute, la vitesse est constante : on retient donc une vitesse moyenne
- un échantillon est égal à 50 mètres
- la fragmentation est prise en compte à partir d'une absence d'herbier de 2 mètres

Pour obtenir une valeur de la fragmentation de l'herbier sur une radiale, le nombre de secondes correspondant à la présence d'herbier est compté entre chaque point GPS pris toutes les minutes. La distance en mètre entre chaque point GPS est calculée. Pour cette analyse, la présence d'herbier est prise en compte dès les premiers brins. Chaque radiale est une séquence de segments de substrat végétalisé et de substrat nu. Cette séquence obtenue en temps (en secondes) lors de la lecture de la vidéo est ensuite transformée en distance (en mètres) sur papier millimétré, ce qui permet d'obtenir la fragmentation de l'herbier par unité de 50 mètres correspondant à un échantillon et un réplicat. La lecture de la vidéo permet également de recueillir de nombreuses autres observations comme le type de substrat, la densité de l'herbier, les espèces présentes etc. (**Annexe 8**).

En amont de l'analyse vidéo, plusieurs méthodes de visionnages ont été préalablement testées :

- en masquant en partie l'écran afin de noter uniquement les informations sur une bande visible de 10 centimètres au centre de l'écran du moniteur
- en masquant en partie l'écran afin de noter uniquement les informations sur une bande visible de 10 centimètres sur la partie droite du moniteur
- en masquant en partie l'écran afin de noter uniquement les informations sur une bande visible de 10 centimètres sur la partie gauche du moniteur
- en plaçant une bande opaque fine au centre de l'écran

Après ces tests, on constate qu'il n'y a pas de différences significatives entre les différentes méthodes ni avec plusieurs

visionnages successifs. Après ces essais sur quelques séquences vidéo, la première méthode utilisant seulement une bande visible centrale est appliquée à l'ensemble des échantillons vidéo qui sont ensuite exprimés par sections de 50 mètres.

Le temps consacré pour l'analyse des données vidéo a été estimé à six heures environ pour une radiale de 10 minutes, sachant que celui-ci est variable d'un échantillon à un autre suivant la fragmentation.

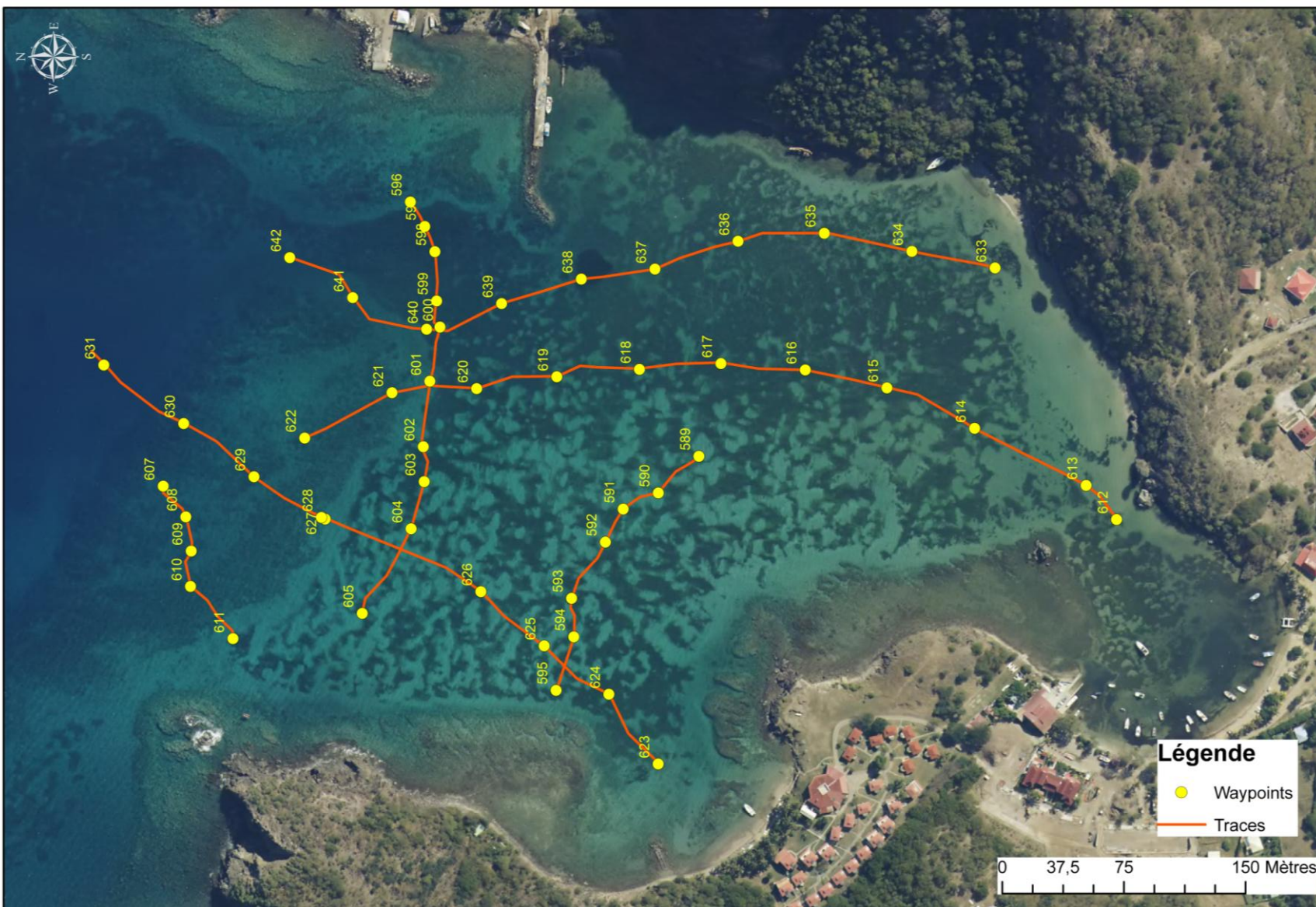


Figure 32 : radiales réalisées dans la baie du Marigot (Terre-de-Haut, Les Saintes, Guadeloupe)

Réalisation : Fanny Kerninon, LEMAR/IUEM, 2012
Source des données : BD Ortho IGN, 2010

3.2.7. Essai de calibration

Malgré les nombreuses imprécisions et doutes avérés précédemment abordés sur la pertinence des orthophotographies pour le détournage des herbiers, une comparaison de la fragmentation par analyse spatiale et par transect vidéo a été tentée. Il s'agit en effet de la seule autre donnée disponible sur ce secteur à titre comparatif.

Calcul de la fragmentation à l'échelle de la radiale

Afin de prouver l'intérêt et la performance de cette technique vidéo pour la détermination de la fragmentation à une échelle plus globale incluant le site d'herbier dans son ensemble, il est nécessaire tout d'abord de vérifier sa cohérence au niveau précis de chaque radiale parcourue. Pour ce faire, grâce à la BD Ortho 2010, la mesure des zones d'herbiers survolées est reportée à la distance totale parcourue. On détermine ainsi sur la l'orthophotographie littorale une valeur de taux de recouvrement et de fragmentation par radiale qui est comparé à celui obtenu par le visionnage des vidéos.

Cette opération a été effectuée sur un échantillon de cinq segments aléatoires compris entre deux points GPS d'une minute géoréférencés et précisément horodatés. Afin d'avoir le temps le plus probant et de préciser les variations éventuelles, cinq visionnages ont été réalisés permettant de prendre en considération uniquement la moyenne. Le décalage de la caméra en dérive à l'arrière du bateau et la prise de points GPS est estimée à 5 mètres dans les fonds de faible profondeur. En effet, si, dans l'application de cette méthode pour la détermination de la fragmentation à une échelle plus large ce décalage n'a pas de conséquence négative sur la précision de la mesure, il est nécessaire de le prendre en compte pour la calibration de la méthode. Pour cette analyse, cinq segments ont été choisis au hasard sur la gamme de profondeur définie.

Echantillons	Segments	Recouvrement de l'herbier en %								Fragmentation déduite en %	
		Analyse SIG BDOrtho 2010	Lecture vidéo 1	Lecture vidéo 2	Lecture vidéo 3	Lecture vidéo 4	Lecture vidéo 5	Moyenne lecture vidéo	Ecart type lecture	Analyse SIG BDOrtho 2010	Moyenne lecture vidéo
S1	623-624	63	66.9	70.6	65.7	63.8	65.5	66.5	2.24	37	33.5
S2	624-625	78	75.1	76.2	74.6	76.2	76.2	75.7	0.76	22	24.3
S3	634-635	65	100	100	100	100	100	100	0	35	0
S4	614-615	97	75	74	74.9	74.9	76.6	75.1	0.94	3	24.9
S5	615-616	88	91.2	91.2	92.3	92.3	94.5	92	1.47	12	8

Tableau 7 : résultats de comparaison pour la fragmentation et le recouvrement entre l'analyse sous SIG des Ortholittorales et vidéo

Résultats du test de calibration

Il n'y a pas de grande variation en termes de résultat en fonction du nombre de visionnages (**Tableau 7**). On constate que pour trois échantillons sur cinq, la différence en termes de pourcentage d'herbier est inférieure à 5% (S1, S2, S5), ce qui montre une corrélation entre les zones d'herbiers visibles sur les Ortholittorales et celles déterminées grâce à la technique de la vidéo. Pour les deux autres échantillons d'une minute, la différence est supérieure à 20% (S3, S4), ce qui amène à conclure sur la non-corrélation des deux supports. Plusieurs hypothèses peuvent être élaborées pour expliquer ces disparités sur ces deux segments :

H 1 : Le recouvrement de l'herbier visible à la vidéo est différent de celui déterminé par les photos aériennes. L'herbier a régressé ou il a progressé

H 2 : Des algues ou des débris végétaux sont présents

H 3 : Une des méthodes est peu fiable ou imprécise

Les orthophotographies littorales de Guadeloupe ici utilisées datent de 2010, soit environ deux ans avant la réalisation des transects en vidéo tractée. L'herbier, étant en dynamique naturelle, cette hypothèse est donc difficilement vérifiable à moins d'effectuer les radiales simultanément à la prise de ces photographies aériennes.

L'échantillon S3, situé au sud-est de la baie du Marigot, est positionné dans une zone au sein de laquelle la fragmentation semble moins importante. Du fait de la pixellisation des Ortholittorales liée à la précision de 50 cm, les limites de ces patches n'ont pas été aisément mesurables sous SIG, altérant donc la précision et la pertinence de ce support pour notre essai de calibration. L'analyse vidéo, n'a pas démontré la présence d'algues ou de détritus, dans ce cas les hypothèses H1 et H3 semblent donc être les hypothèses les plus

probables pour répondre aux différences observées entre les deux méthodes pour cet échantillon.

L'échantillon S4 est situé dans la partie centrale, au sud de la baie du Marigot. L'analyse de la vidéo correspondant a montré la présence d'environ 12,5% de débris végétaux en dérive, qui ajoutée au recouvrement des herbiers augmentent le taux de recouvrement à 87.5%, se rapprochant de la valeur déterminée d'après la BDOrtho 2010. Dans ce cas, H2 pourrait expliquer les disparités observées pour ce segment. Au vu des données existantes sur la présence des herbiers dans ce secteur et la précision du GPS lors de nos relevés, il semble donc difficile de montrer une correspondance entre les deux méthodes à une échelle aussi fine. Cette démarche met également en avant la précision accrue de la méthode par vidéo tractée qui permet de différencier très nettement les zones d'herbiers avec d'autres habitats ou substrats, contrairement aux orthophotographies littorales dont l'analyse, hormis couplée à un traitement d'image par télédétection et une validation sur le terrain, ne peut détecter ce genre d'information. Elle permet de prendre en compte de façon précise la limite des herbiers qui débute par la présence des premiers brins ainsi que les zones de colonisation par des jeunes plants, non visibles sur les orthophotographies. La méthode vidéo semble être un outil pertinent pour la détermination de la fragmentation. Certains secteurs sont des zones d'accumulation de débris végétaux (bois, feuilles, ..) et peuvent être confondus sur les orthophotographies littorales avec des zones d'herbier. Par ailleurs, les zones fragmentées peuvent présenter dans certaines zones des faciès de colonisation par des jeunes plants difficilement détectables par télédétection.

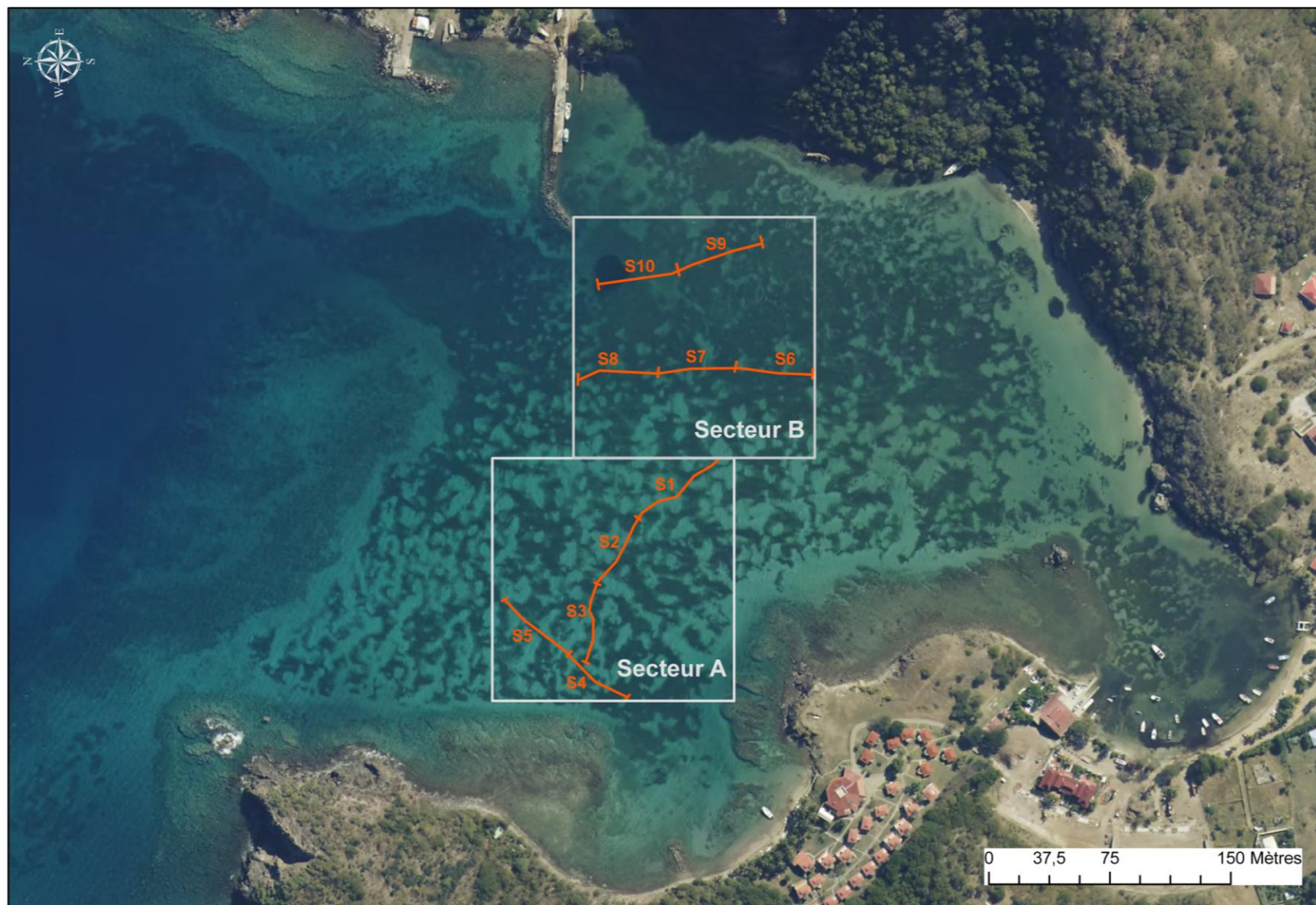


Figure 33 : choix des échantillons vidéos et secteurs d'études dans la baie du Marigot (Terre-de-Haut, Les Saintes, Guadeloupe)

Réalisation : Fanny Kerninon, LEMAR/IUEM, 2012
Source des données : BD Ortho IGN, 2010

3.2.8. Résultats de la détermination de la fragmentation par vidéo-transect

L'objectif du développement de cette méthode est de pouvoir acquérir, grâce à la détermination de la fragmentation par la réalisation de transect en vidéo tractée sous-marine, des données en termes de fragmentation de l'herbier à une échelle plus globale par zone ou pour l'ensemble du site.

Fragmentation globale de l'herbier et recouvrement

Le visionnage de l'ensemble des vidéos réalisées aléatoirement dans l'herbier (**Figure 32**) permet après analyse, d'obtenir un recouvrement de 81%, soit une fragmentation de 19%. Ces résultats précis résultent de la détermination de la présence réelle observée des herbiers au sein de l'enveloppe, même à faible densité.

Fragmentation et recouvrement à l'échelle de secteurs différents

La photographie aérienne de la baie du Marigot offre l'avantage de donner une image globale des herbiers qui permet de stratifier le site : ainsi elle montre un degré de fragmentation plus important sur la partie ouest de la baie (herbier en patchs), la partie à l'est étant visiblement moins fragmentée (herbier continu plus ou moins fragmenté). Il est ainsi possible de travailler à l'échelle intermédiaire au sein d'un site en le stratifiant soit sur des bases physiographiques, environnementales et de pressions. Pour illustrer ces possibilités, deux secteurs situés dans les deux types de couverture ont été analysés. Ainsi deux zones restreintes de 22500 m² ont été définies : A (partie ouest) et B (partie est) (**Figure 33**). Cinq segments de 50 mètres ont été analysés par secteur en termes de recouvrement et de fragmentation (tableau). Plusieurs éléments ont été pris en compte pour caractériser la fragmentation au sein de ces zones : le pourcentage de recouvrement, le pourcentage de fragmentation et le nombre de petits

patchs correspondant aux absences d'herbiers de moins de deux mètres.

	Recouvrement (%)	Fragmentation (%)	Mitage (N éléments)
R1 50m	74	26	0
R2 50m	98	2	1
R3 50m	65.5	34.5	1
R4 50m	55	45	1
R5 50m	83	17	1
Moyenne	75	25	0.8
R6 50m	100	0	0
R7 50m	46	54	0
R8 50m	75	25	0
R9 50m	100	0	1
R10 50m	100	0	0
Moyenne	84	16	0.2

Tableau 8 : résultats de caractérisation de la fragmentation de l'herbier de la baie du Marigot par analyse vidéo

Les moyennes des taux de recouvrement obtenues pour les secteurs A et B sont respectivement de 75 % et de 84 %, soit 25 % et 16 % pour la fragmentation. Les moyennes de ces résultats pour les deux secteurs sont très proches des résultats issus de l'analyse de l'ensemble des données vidéo réalisées dans l'herbier de la baie du Marigot qui ont donné un taux de recouvrement de 81 % et de 19 % pour la fragmentation. Ces résultats issus des premiers tests de la méthode confortent sa pertinence pour le calcul de la fragmentation. D'autres indices peuvent également être utilisés pour caractériser la fragmentation de l'herbier :

Taille moyenne des patches

Pour l'ensemble des radiales réalisées dans la baie du Marigot en vidéo tractée à travers l'herbier (**Figure 32**), à l'exception des radiales hors de l'herbier, la dimension des patches d'herbiers a été mesurée (il peut s'agir d'une largeur ou d'une longueur). Rapportée en classes de tailles, cette information renseigne aussi sur la fragmentation de l'herbier. La taille des patches ayant un rôle en termes de biodiversité (Mizerek *et al*, 2011), cette donnée est donc d'autant plus intéressante.

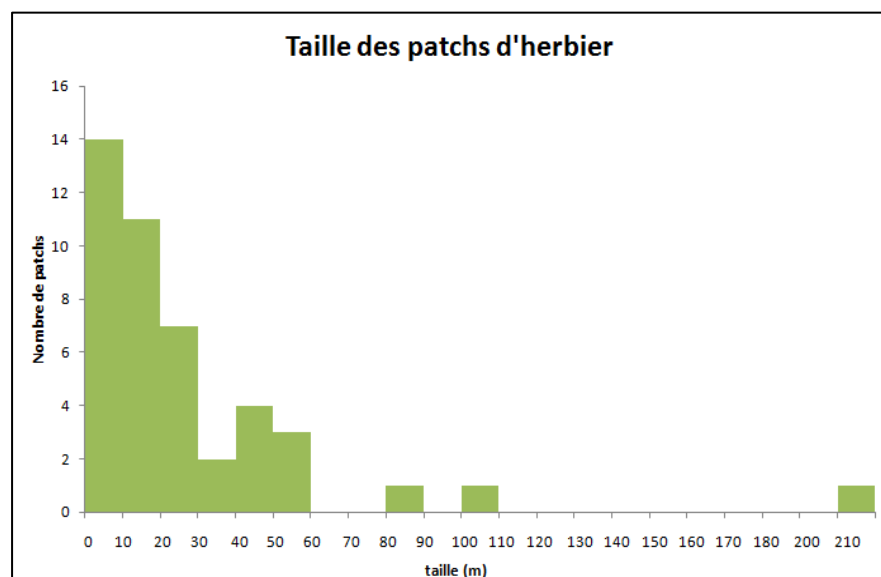


Figure 34 : taille moyenne des patches d'herbiers dans la baie du Marigot par analyse

Ces mesures montrent que l'herbier est en majorité formé de patches dont la taille est comprise entre 1 à 30 mètres.

Une analyse par portion de 50 mètres n'est pas envisageable pour la détermination de la taille des patches, du fait que cela aurait pour conséquence de segmenter les patches d'herbier. En revanche, il est possible d'analyser quand même cet indice par secteur au sein de l'enveloppe globale de l'herbier. Plusieurs radiales ont été réalisées de part et d'autre de l'herbier sur les parties ouest et est de la baie (carte). Les résultats de taille des patches sur ces secteurs mettent clairement en évidence une différence dans la dimension des patches d'herbier en fonction des secteurs de la baie. Les patches survolés par vidéo sous-marine le long des radiales de la partie à l'ouest de la baie du Marigot ont une taille moyenne de 18 mètres, alors que ceux de la partie à l'est de la baie présentent une taille moyenne de 42 mètres. C'est aussi sur ce secteur que les patches d'herbier observés sont les plus grands, jusqu'à 200 mètres de long, formant une zone de recouvrement quasiment continue. L'hydrodynamisme ayant un rôle important dans la fragmentation de l'herbier, il est possible que ces différences résultent d'une exposition aux houles différentes, la partie à l'est de la baie étant plus abritée.

La multiplication de transects vidéo de long en large de l'herbier permettrait d'affiner ce paramètre.

Par ailleurs, d'autres indices déterminés par vidéo transect peuvent être utilisés comme l'indice de proximité, correspondant au nombre de patches dont les bords sont inférieurs à 0,50 mètres ou encore la distance minimale entre deux patches, utilisée pour quantifier l'isolement des patches (Fontan *et al*, 2011).

3.3. Discussion sur le protocole de vidéo tractée pour la détermination de la fragmentation

3.3.1. Le principe

Ce protocole novateur pour la détermination de la fragmentation présente de nombreux avantages. Il permet d'acquérir des données rapidement sur des distances importantes et aussi de se déplacer d'un secteur à l'autre rapidement et ne nécessite pas un grand investissement financier ni de temps de travail. Cette méthode ne nécessite pas non plus l'intervention de plongeurs et est par ailleurs, bien adaptée aux habitats sédimentaires benthiques tels que les herbiers qui montrent des différences nettes à la surface du sédiment (sédiments nus/sédiment végétalisés) contrairement à des habitats sédimentaires différant essentiellement par la granulométrie du sédiment et dont les limites entre eux sont peu discernables par observation de l'aspect du sédiment. Elle permet l'identification du genre jusqu'à l'espèce pour la majorité d'entre elles, contrairement au sonar ou d'autres méthodes embarquées (sondeur multifaisceaux). Cette méthode a aussi présenté des avantages certains par rapport à l'analyse des orthophotographies littorales. Les limites des zones de patches d'herbiers sont nettement identifiables contrairement à l'analyse par des orthophotographies où le risque de confusion est fort. Cette approche non destructrice permet, outre la détermination du degré de fragmentation, l'acquisition de données complémentaires pour caractériser le fonctionnement de l'herbier concernant la faune associée, le type de substrat, la présence de signes de bioturbation, etc. qui peuvent faire l'objet de protocoles vidéo spécifiques.

3.3.2. La technique

- Le matériel

L'ensemble du matériel, démontage ou conditionné en valises étanches présente l'avantage de prendre très peu de place et de poids (déplacement en avion en bagages accompagnés). Rangé dans des sacs étanches, à bord du bateau, le système se monte sur le site de travail en quelques minutes. Concernant l'utilisation de l'enregistreur et notamment de l'écran, une bâche de protection a démontré tout son intérêt en isolant l'écran LCD de l'enregistreur des reflets du soleil et en protégeant le système et tout le matériel électronique des embruns lors des déplacements du bateau entre les différents sites. Néanmoins, en cas de mauvaise météo, il n'est pas conseillé d'utiliser le matériel.

Obtenir la distance parcourue en temps réel serait un plus pour la méthode. Cela permettrait de simplifier l'analyse et de s'affranchir du biais engendré par des écarts de vitesse et d'obtenir des documents vidéo correspondant à une distance précise. L'amélioration des performances des GPS et la diminution de leur coût permet de prévoir cette possibilité dans un délai proche à des coûts raisonnables

- Acquisition vidéo

Il est important d'avoir une bonne coordination entre les personnes présentes sur le bateau et d'échanger régulièrement afin d'obtenir un bon réglage de la caméra, notamment concernant la hauteur par rapport au sol. En effet, il est primordial de se déplacer à une vitesse lente et régulière, car dès lors que la vitesse diminue, la caméra se rapproche du fond et lorsque la vitesse augmente elle remonte, ce qui change le champ de vision. Ceci est important pour réaliser des échantillons de séquences vidéo homogènes et comparables. Il faut pour cela également bien anticiper les variations de profondeurs à l'aide de cartes marines et relever régulièrement la

profondeur à l'aide du sondeur. Lorsqu'ils sont ensablés, les herbiers présentent un aspect clair, ce qui rend plus difficile, voire impossible l'identification de l'ensemble des espèces. Le système présente quelques limites dans des milieux extrêmement turbides dans lesquels l'identification des espèces à une vitesse moyenne est également difficile ou irréalisable. De manière générale pour l'identification des petites espèces telles que celles du genre *Halophila*, il serait possible d'améliorer le protocole en effectuant des arrêts dans la zone d'échantillonnage vidéo pendant ou après le transect en posant le support de la camera sur le fond.

Concernant l'acquisition, le système d'acquisition vidéo a présenté quelques faux contacts liés aux vibrations du moteur ce qui a perturbé légèrement l'acquisition et le visionnage des vidéos en coupant l'enregistrement pendant les radiales. Il a donc fallu réitérer ou prolonger les radiales.

- Visionnage et analyse

Pour le visionnage de la vidéo le logiciel utilisé AVS Media Player permet une précision d'une seconde, soit une variation de plus ou moins un mètre sur le papier millimétré. Une des difficultés rencontrée pendant l'analyse des films était de pouvoir trouver une solution au problème lié aux vitesses de la camera parfois trop rapides. Une solution a été de maintenir sur le transect une vitesse constante puis de ralentir la séquence grâce à un logiciel de traitement vidéo, tel que Windows Movies Maker. Par ailleurs, les échantillons présentant des variations de vitesse ou de hauteur importantes ont été considérés comme non exploitables et exclus de l'analyse.

Les variations légères dans les pourcentages de recouvrement entre les visionnages peut survenir dans le cas où les patches sont peu espacés (autour de deux mètres environ), ce qui amène à prendre en compte ou à exclure ces deux mètres. Il y a donc moins d'erreurs quand les patches sont moins nombreux.

3.3.3 Les résultats : confrontation avec une méthode d'analyse d'image

L'orthophotographie littorale étant la seule source de données concernant les herbiers sur ce site, une analyse par traitement d'image a été effectuée pour tenter de confirmer les taux de recouvrement et de fragmentation du site obtenus par la méthode de vidéo tractée. Pour cela les deux portions d'herbier de fragmentation différentes A et B du site ont été extraites puis analysées avec le logiciel ImageJ par un principe de détourage des zones d'herbier (Auby *et al*, 2011)(Figure 35).

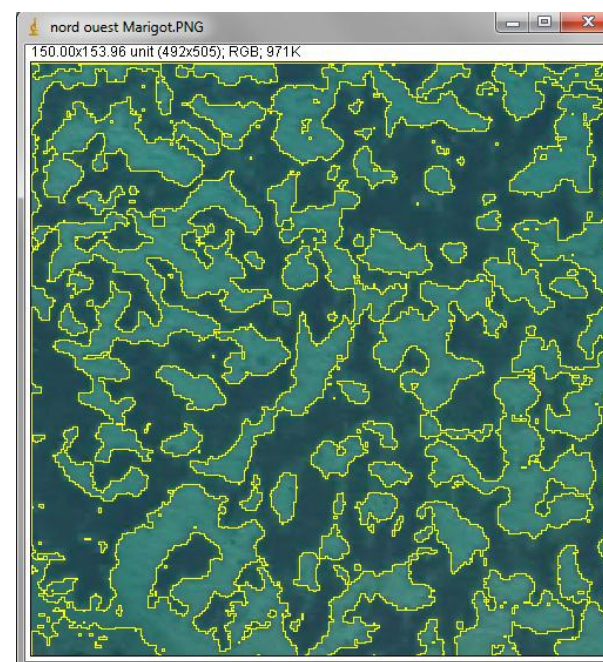


Figure 35 : détourage des zones d'herbiers (en vert foncé) sous Image J. Exemple du secteur nord ouest (zone A)

Après plusieurs essais on obtient pour une analyse à seuil équivalent un taux de recouvrement et de fragmentation pour ces deux secteurs (**Tableau 9**) :

Seuil :	Zone A		Zone B	
	Recouvrement	Fragmentation	Recouvrement	Fragmentation
100	50 %	50 %	85 %	15 %

Tableau 9 : résultats de fragmentation et de recouvrement par traitement d'image sous Image J pour le secteur A de la baie du Marigot

Les résultats du traitement d'image confirment une différence en terme de fragmentation entre les deux secteurs. Néanmoins, il est difficile de pousser l'analyse plus loin car il faut prendre en considération le fait que le logiciel sélectionne l'ensemble des tâches visibles et exclut automatiquement les zones de sable, même celles de taille inférieure à deux mètres de diamètre comprise dans le patch, où encore les zones d'herbiers très clairsemés, non apparentes sur l'Ortholittorale. Rappelons aussi que pour la caractérisation de ce paramètre par l'analyse des vidéos tractées, seules les absences d'herbiers de plus de deux mètres de large sont considérées comme de la fragmentation.

3.4. Protocole synthétique pour la détermination de la fragmentation

Suite à cette discussion sur les points positifs de cette méthode ainsi que sur les aspects à améliorer, un protocole simplifié est proposé pour la détermination de la fragmentation (**Annexe 9**).

3.5. Autres applications possibles de la vidéo tractée

Le visionnage des vidéos pour la détermination de la fragmentation a permis de mettre en évidence d'autres applications de la méthode en vidéo tractée dans le cadre d'une approche à l'échelle site. En effet les vidéos apportent également de nombreuses observations intéressantes sur l'habitat et les biocénoses associées : plurispécificité de l'herbier, faune associée, densité des faisceaux de feuilles, rugosité (présence de microfalaises), etc.

Si des protocoles en vidéo tractée ont déjà été testés dans le cadre d'étude ponctuelles de mégafaune associée (Chalifour et Scolan, 2008), de cartographie des espèces de phanérogame (Gaboriau, 2011), ou de la superficie et les limites de l'herbier (Lejart *et al*, 2010), ils n'ont jamais été utilisés dans le but d'un suivi régulier multicritère des herbiers. Ce genre de suivi pourrait compléter les manques concernant des informations complémentaires nécessaires pour une bonne compréhension de l'écosystème, notamment dans des problématiques de gestion, braconnage d'espèces d'intérêt commercial ou de la complexité et hétérogénéité du site. Leur prise en considération au sein d'une boîte à outils de protocoles pour le suivi des herbiers a donc tout son sens (Chapitre 1).

En guise d'exemple, plusieurs analyses de ces divers paramètres, réalisées à partir de l'ensemble des vidéos enregistrées sur les trois sites des Antilles sont présentées ci-dessous.

3.5.1. Estimation visuelle de la densité de l'herbier

La densité de l'herbier est un critère important dans le suivi des herbiers. Ce paramètre est généralement exprimé par le nombre de pieds (nombre de faisceaux de feuilles par unité de surface, généralement par mètre carré). Cependant il peut également être estimé par un indice simplifié décrivant la densité des pieds en trois classes d'abondance : herbier clairsemé (C : recouvrement de 1 à 40%), herbier moyennement dense (MD : recouvrement de 40 à 80%) herbier dense (D : recouvrement de 80 à 100%). Associée à des données de profondeur, elle permet d'apporter des informations sur la qualité de l'eau.

Lors du visionnage des vidéos, ce paramètre a été pris en compte pour chaque espèce à l'échelle des cinq radiales de 50 mètres réalisées pour le secteur A de l'anse du Marigot aux Saintes. On obtient ainsi une représentation grossière mais robuste de la densité l'herbier à l'échelle du site (**Figure 36**). Ainsi sur cette zone l'herbier est majoritairement dense. A noter qu'une caractérisation plus précise des densités (nombre moyen de pieds ou des biomasses foliaires par classe de densité de chaque espèce) peut être réalisée en effectuant dans chaque classe une série de comptages ou de prélèvements dans des quadrats de 0.1 à 0.25m².

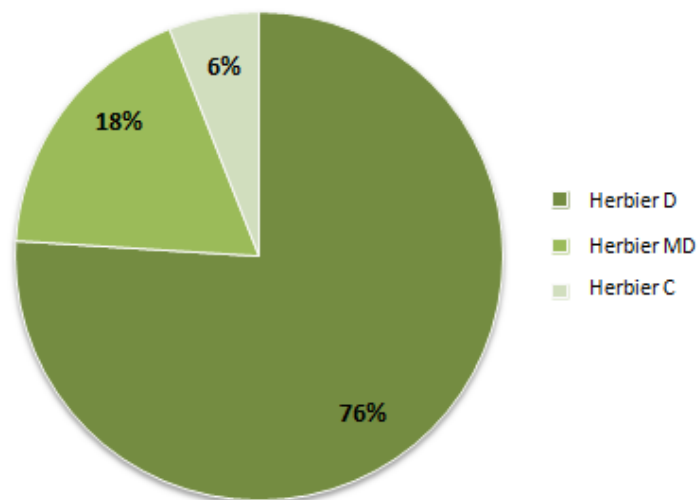


Figure 36 : densité de l'herbier dans le secteur A de la baie du Marigot à Terre-de-Haut (Les Saintes, Guadeloupe)

Ce paramètre peut donc être aisément pris en compte dans l'analyse des films obtenus par vidéo tractée.

3.5.2. Plurispécificité de l'herbier

Chaque espèce ayant des exigences écologiques propres, la diversité spécifique des herbiers sera très variable selon les conditions locales de l'environnement. C'est ainsi que des conditions moyennes, quelques mètres de profondeur, sable fin, hydrodynamisme et charge sestonique modérée, seront des conditions facilitant le développement d'herbiers plurispécifiques (Hily, *et al*, 2010).

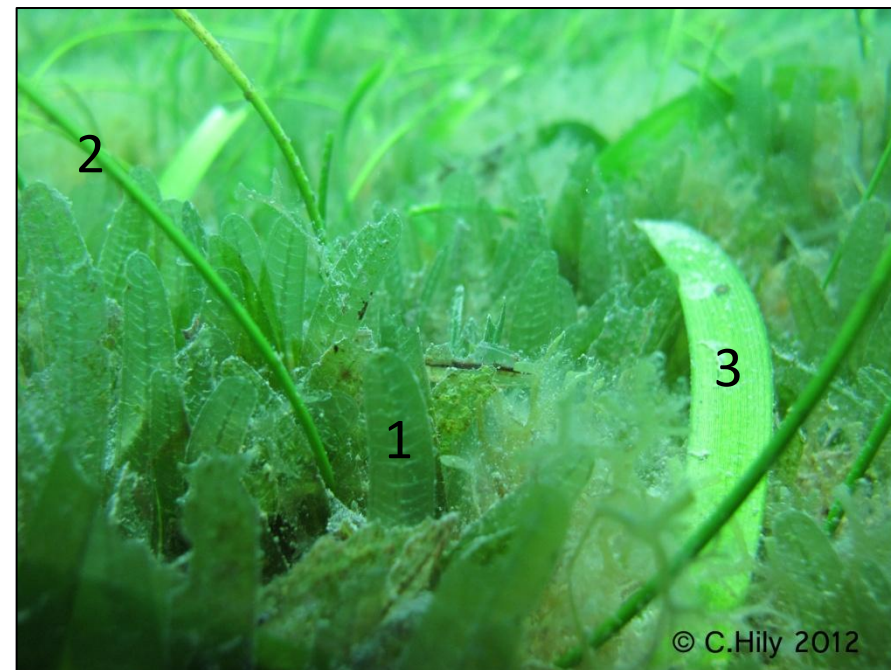


Figure 37 : herbier mixte à *Halophila stipulacea* (1), *Syringodium filiforme* (2) et *Thalassia testudinum* (3), dans la baie de Pompierre à Terre-de-Haut (Les Saintes, Guadeloupe)

Dans le cadre de la DCE, le nombre d'espèces de phanérogames dans une masse d'eau est un paramètre reconnu déterminant en Europe. Dans les suivis actuels aux Antilles, seul *Thalassia testudinum* et accessoirement *Syringodium filiforme* sont pris en compte. Relever donc la présence de toutes les espèces dans le site pour lesquels les suivis actuels ne sont pas encore adaptés, est donc important. Avec un système en vidéo tractée, il est possible de déterminer le genre et l'espèce dans la majorité des cas.

Ainsi la proportion de chaque espèce a été notée lors de l'analyse des vidéos. On obtient donc la proportion des espèces présentes par secteur. Cependant du fait des variations de hauteur et de vitesse, dans certaines parties des bandes vidéo, les espèces présentes n'ont pu être déterminées et rentrent dans une catégorie HI : Herbier indéterminé. Les données du secteur A sont présentées ci-dessous à titre d'exemple :

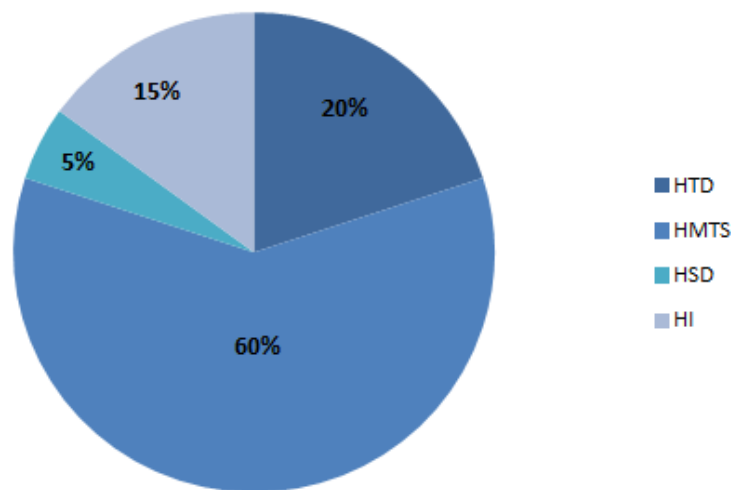


Figure 38 : plurispécificité de l'herbier dans le secteur A de la baie du Marigot. HTD : Herbier à dominance nette de *T. testudinum*, HMTS : herbier mixte à *T. testudinum* et *S. filiforme*, HSD : herbier à dominance nette de *S. filiforme*, HI : herbier indéterminé

Ce paramètre est particulièrement important dans la problématique de l'espèce invasive *Halophila stipulacea*, récemment installée aux Antilles et en voie d'expansion très rapide.

3.5.3. Déchaussement des rhizomes

Les limites des patchs d'herbiers présentent des aspects variés : forme de microfalaise d'érosion, continuité de niveau avec le substrat nu ou en pente douce, ou enfin en pente forte sans falaise d'érosion. Le déchaussement des rhizomes résulte d'un déficit sédimentaire dans l'herbier signe d'une érosion sous les forces hydrodynamiques de la houle ou des courants. La caractérisation de cet élément morphologique très significatif de la dynamique de l'herbier peut être réalisée grâce à la mise au point d'un indice de structure de limite de patch caractérisable lors de l'analyse des bandes vidéo réalisée par la caméra tractée à faible vitesse et à une hauteur du fond de 1 à 2 mètres maximum. Ainsi pour la baie du Marigot les patchs présentant les micro-falaises ont été notés. Il est ainsi possible de déterminer le pourcentage de patchs, montrant des faciès d'érosion.



Figure 39 : rhizomes visibles en limite d'herbier à l'île de Tintamarre à Saint-Martin

3.5.4. Mégafaune

Les milieux formés par les herbiers de phanérogames marines présentent des caractéristiques faisant d'eux un habitat propice pour de nombreuses espèces animales (Hemminga et Duarte, 2000).

Une étude par vidéos tractée a déjà été réalisée en Guadeloupe et a montré son intérêt dans le cadre de l'estimation des stocks de lambis, *Strombus gigas*, (Chalifour et Sclan, 2008). Dans une problématique de biodiversité appliquée aux herbiers, cette approche peut apporter de nombreuses informations utiles sur le rôle fonctionnel des herbiers pour les macro-espèces inféodées (mégafaune).

Ainsi sur l'ensemble des vidéos réalisées dans la baie du Marigot, 57 lambis ont été dénombrés. Associé à la surface échantillonnée, ce type d'observation peut constituer un indice de densité. Néanmoins, seuls les lambis adultes peuvent être observés, les juvéniles n'étant pas assez grands pour être apparents dans l'herbier.

Les vidéos réalisées ont permis de montrer une concentration particulière de cette espèce dans certains secteurs de la baie.

Les oursins sont également visibles, mais de façon moins évidente que les lambis, selon les espèces.



Figure 40 : lambis (*Strombus gigas*) et oursins blancs (*Tripneustes ventricosus*) dans un herbier mixte (*Thalassia* et *Syringodium*) associé à des macroalgues dans la baie de Pompierre (Terre-de-Haut, Les Saintes, Guadeloupe)

3.5.5. Pression de broutage

La matière organique produite par les herbiers et d'autres producteurs primaires présents dans le milieu peut être utilisée par certaines espèces (Hemminga et Duarte, 2000). En zone tropicale, les principaux consommateurs d'herbiers sont les herbivores, principalement représentés par les tortues marines, les dugongs (Océans Pacifique et Indien) et les lamantins (Mer Caraïbes et Golfe du Mexique). Certains mollusques gastéropodes tels que le lambi (*Strombus gigas*) et certains échinodermes, comme les oursins blancs (*Tripneustes ventricosus*) (**Figure 41**), les oursins diadèmes (*Diadema antillarum*), les spatanges rouges (*Meoma ventricosa*) présents dans les herbiers, se nourrissent de débris végétaux.

De fortes pressions d'herbivorie entraînent à terme l'épuisement des ressources végétales (Ballorain, 2010). Certaines espèces étant consommées préférentiellement par ces herbivores, la sélectivité peut modifier durablement la composition spécifique des herbiers, en favorisant le développement des espèces les plus consommées (Ballorain, 2010). La pression de broutage est un élément à prendre en compte dans le suivi des herbiers, car ceux-ci n'auront donc pas du tout les mêmes caractéristiques spécifiques et physiologiques, notamment au niveau de la longueur des feuilles.

La pression de broutage doit être donc aussi étudiée et évaluée par un protocole particulier caractérisant notamment la présence de brouteurs dans l'herbier. Une approche par site à l'échelle de l'herbier est d'autant plus pertinente, que cette pression n'est pas homogène au sein de l'enveloppe.

La vidéo sous-marine permet de visualiser et de localiser les brouteurs et aussi de caractériser globalement l'état des feuilles d'herbiers lors de transects vidéo et plus finement en positionnant à l'arrêt la caméra sur le fond.



Figure 41: herbier de *Thalassia testudinum* brouté par des oursins blancs dans la baie de l'Embouchure (Saint-Martin)

D'autres paramètres, non mesurés lors de la mission, peuvent être également effectués grâce à une technique simple en vidéo tractée :

3.5.6. Limites inférieures et supérieures

La limite inférieure de l'herbier est définie comme étant la limite la plus profonde de l'herbier et la limite supérieure la limite la moins profonde. La définition précise des limites de l'herbier visible, étant plus ou moins franche, est souvent sujette à discussion. On considère ici que l'herbier débute dès la présence des premiers plants, même clairsemés, et qu'il se termine dès l'absence de ces plants vérifiée sur plusieurs dizaines de mètres (50 mètres environ ce qui correspond aux limites retenues de l'enveloppe d'un herbier).

La prise en compte de ces paramètres dans les suivis est importante car les modifications de ces limites peuvent être le reflet d'impacts d'activités humaines en bordure de littoral ou de la qualité de l'eau.

Dans le cadre des radiales vidéo réalisées dans la baie de Marigot, les limites d'herbier sont nettement visibles sur les films obtenus et peuvent donc être positionnées géographiquement dans un SIG. Selon la technique réalisée dans le cadre de l'étude des herbiers du Parc naturel marin d'Iroise (Lejart *et al*, 2010), les limites de l'herbier peuvent être positionnées grâce à la caméra selon une précision dépendant de celle du GPS utilisé.

3.5.7. Superficie

La superficie de l'herbier ou enveloppe globale est définie par les limites d'herbier identifiées par les pieds d'herbiers les plus extérieurs. Au sein de cette enveloppe, l'herbier peut être plus ou moins fragmenté, de densité variable ou de structure variée. Une étude a déjà été réalisée dans ce sens (Lejart *et al*, 2010). La caméra tractée peut-être utilisée uniquement pour déterminer l'enveloppe globale en contournant les limites d'herbier visibles à la caméra et directement enregistrées par GPS puis positionnées géographiquement dans un SIG.

3.6. Conclusion et perspectives de la méthodologie

Les premiers résultats permettent de conforter l'intérêt et le principe de la méthodologie. La vidéo tractée est donc un outil prometteur pour la détermination et le suivi de façon simple et rapide de la fragmentation des herbiers et de l'évolution de leur structure à l'échelle d'un site. Le protocole testé dans cette étude est bien entendu perfectible notamment sur la gestion de la vitesse de traîne dans une limite financière et de complexité d'application du fait qu'il doit être et rester simple, peu coûteux et aisément applicable par des gestionnaires.

Cette méthode présente un grand intérêt pour les secteurs pour lesquels les orthophotographies littorales sont de mauvaise qualité et pour lesquels les herbiers ne sont pas visibles. C'est le cas notamment sur la côte sous le vent de Basse-Terre en Guadeloupe où nous avons effectué quelques transects entre les communes de Bouillante et Basse-Terre. Réalisées simultanément sur le terrain lors de la détermination de la fragmentation ou en adaptant légèrement les protocoles à ces objectifs, les informations complémentaires apportées par la caméra permettent d'acquérir de nombreuses données utiles pour des problématiques de gestion.

Concernant les perspectives, le travail ici réalisé pour la mise au point et la calibration du protocole pour la détermination de la fragmentation sera après quelques validations complémentaires directement utilisable pour le suivi des herbiers dans le cadre de la DCE dans les départements de l'Outre-mer réalisé tout les 3 ans. Ce type d'approche est déjà programmé dans le rapport national pour la DCE herbier Outre-mer, ce qui est d'ores et déjà une validation de l'intérêt de l'approche mise au point ici. La méthode devrait également faire l'objet d'une publication.

CONCLUSION

Au sein des îles françaises de l'Outre-mer, les herbiers de phanérogames marines constituent une richesse patrimoniale à forte valeur écologique, notamment en termes de fonctionnalité. Les menaces grandissantes sur cet écosystème sensible ont renforcé les enjeux de conservation à son égard. Ainsi, une meilleure coordination concernant les actions d'observation et de suivi de ces herbiers à l'échelle de l'Outre-mer au sein d'un réseau unique d'observation est devenue primordiale.

Le bilan réalisé dans le cadre de ce rapport sur les suivis et études sur les herbiers de l'Outre-mer a tout d'abord permis de donner une vision globale et précise des actions précédemment menées, en cours et en projet en particulier dans les Antilles françaises, éléments qui n'étaient pas encore disponibles. Cette synthèse actualisée met ainsi en évidence que les actions en cours se sont développées progressivement et indépendamment les unes des autres en réponse aux initiatives des différentes structures et de l'application récente de la DCE. Malgré ces initiatives qui montrent l'intérêt grandissant porté aux herbiers, beaucoup reste encore à faire pour disposer d'une compréhension homogène permettant une évaluation synthétique des études et suivis des herbiers au sein de ces différentes collectivités de l'Outre-mer.

Les premières réflexions lancées autour de la création d'une typologie des herbiers de l'Outre-mer sont en faveur d'une amélioration des connaissances sur les herbiers tropicaux et vont permettre, en particulier dans le cadre de la DCE, de définir les différents types d'herbier existants, et fournir une base nécessaire pour une comparaison intra et inter-territoires.

Enfin, les résultats de la nouvelle méthodologie en vidéo tractée, testée sur différents sites en Guadeloupe, sur la côte sous

le vent et sur l'île de Terre-de-Haut aux Saintes ainsi qu'à Saint-Martin pour l'étude de la fragmentation, ont permis de conforter le principe de la méthode développée pendant ce stage. La vidéo tractée est donc un outil prometteur pour comprendre la structure, le fonctionnement et l'évolution des herbiers à l'échelle des sites, échelle qui correspond aux besoins exprimés par les gestionnaires pour intervenir sur la conservation de ces écosystèmes. La détermination et le suivi de façon simple et rapide de la fragmentation des herbiers, plus particulièrement dans les secteurs où la distribution des herbiers n'est pas visible sur les orthophotographies littorales sont rendus accessibles avec des moyens limités.

La mission réalisée dans le cadre du stage dans le contexte de l'IFRECOR en Guadeloupe et à Saint-Martin du 20 mai au 4 juin 2012 a permis d'alimenter les différentes thématiques présentées dans ce rapport, par la collecte d'informations et de données, mais aussi la rencontre des acteurs. Les nombreuses sorties sur le terrain ont aussi permis de confirmer la nécessité d'élaborer une typologie des herbiers à l'échelle de l'Outre-mer.

La France a le devoir de s'impliquer pour la conservation des récifs coralliens et des écosystèmes associés de mangroves et d'herbiers. La mise en place prochaine du réseau d'observation des herbiers de l'Outre-mer français permettra de coordonner et de favoriser toutes ces démarches autour des herbiers pour leur meilleure conservation.

BIBLIOGRAPHIE

Allan W Stoner, Mara L Spencer, Clifford H Ryer. 2006. Flatfish-habitat associations in Alaska nursery grounds: use of continuous video records for multi-scale spatial analysis. Fisheries Behavioral Ecology Program, Alaska Fisheries Science Center, National Marine Fisheries Service; S. Marine Science Drive, NOAA, 2030, 97365, Newport, Oregon, USA.

Assis J., Narvaez K., Haroun R. 2007. Underwater towed video: a useful tool to rapidly assess elasmobranch populations in large marine protected areas. *J. Coastal Conservation.*, 11: 153–157.

Auby I., Dalloyau S., Oger-Jeanneret H., Plus M., Sauriau PG., Trut G., 2011. Proposition pour un nouveau protocole de suivi stationnel de *Zostera noltii* dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). 12 p.

Ballorain K., 2010. Ecologie trophique des tortues vertes *Chelonia mydas* dans les herbiers marins et algueraies du sud-ouest de l'océan Indien. Thèse de doctorat de biologie IPHC-DEPE. 286 p.

Beck M.W., Heck K.L., Able K.W., Childers D.L., Eggleston D.B., Gillanders B.M., Halpern B., Hays C.G., Hoshino K., Minello T.J., Orth R.J., Sheridan P.F. et Weinstein M.P. 2001. The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *BioScience* ISBN : 51, 633-641.

Beliaeff B., Bouvet G., Fernandez J-M., David C., Laugier T., 2011. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Le Nickel. 169 p.

Bianchi C.N., Ardizzone G.D., Belluscio A., Colantoni P., Diviacco G., Morri C., Tunesi L., 2003. La cartografia del benthos. In: Gambi M.C., Dappiano M (Eds), Manuale di metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo. *Biologia Marina Mediterranea*, 10 (Suppl.). 367–394.

Belsher T., Lunven M., Le Gall E., Caisey X., Dugornay O., Mingant C., 2003. Observations concerning the expansion of *Caulerpa taxifolia* and *Caulerpa racemosa* in Rade d'Hyères and Rade of Toulon (France). *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park, Fr.*, 21 : 19-28 + 1 carte h.t.

Borum J., Duarte CM., Krause-Jensen D., Greve TM., 2004. European seagrasses: an introduction to monitoring and management. The M&MS project ISBN : 87-89143-21-3. 95 p.

Bouchon C., Bouchon-Navaro Y., Louis M., 2003. Manuel technique d'étude des récifs coralliens de la région Caraïbe. Université des Antilles et de la Guyane – Direction Régionale de l'Environnement, 56 p.

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 pub. : 1-202. ISBN : 2-905540-30-3. 204 p.

Buttifiant A., Mège S., Marie A., Delloue X., Vincent C., 2008. Plan de gestion de la Réserve Naturelle du Grand-Cul-de-Sac-Marin. Approche descriptive et analytique de la baie du Grand-Cul-de-Sac-Marin. 2009-2013. 418 p.

Cassola M., Cuneo C., Coppo S., Parodi V., Costa M., Cosmai T., Moretto P., Bertolotto R., Molinari A. Implementation of a georeferenced underwater towed camera system in a methodological approach to the monitoring of posidonia meadows in Liguria, according to the Water Framework Directive (WFD) 2000/60/EC.

Chalifour, J. and P. Scolan. 2008. Mise au point d'une méthode d'évaluation de la ressource en lambis (*Strombus gigas*) et application à des sites de référence de l'archipel guadeloupéen. CRPMEM Guadeloupe. 44 pp.

Community Environment Network. 2005. Watching the Seagrass Grow – a guide for community seagrass monitoring in NSW (2nd Ed). The Community Environment Network, Ourimbah. 68 p.

Descamp P., Pergent G., Ballesta L., Foulquié M., 2005. Underwater acoustic positioning systems as tool for *Posidonia oceanica* bed survey. C.R. Biologies ISBN : 328: 75-80.

Datry T., Malard F., Niederreiter R., Gibert J., 2003. Video-logging for examining biogenic structures in deep heterogeneous subsurface sediments. C. R. Biologies 326 (2003) 589–597.

Dirberg G., 2005. Rapport intermédiaire stage ZoNéCo : Cartographie des herbiers à phanérogames de Nouvelle-Calédonie & Cartographie des habitats récifo-lagonaires des sites « Pêcherie Récifale ». 28 p.

Fontan E., Dumas P., Ponton D., 2011. Méthodes de cartographie, de caractérisation et de suivi des herbiers marins. Outil interactif permettant une sélection suivant la superficie de l'herbier, sa profondeur et le coût de l'étude. Rapport ZONECO. 112 p.

Foulquié M., Dupuy De la Granrive R., 2003. Site Natura 2000 FR 910 1414 "Posidonies du cap d'Agde". Document d'objectifs. Inventaire de l'existant et analyse écologique. ADENA publ., Agde : 1-301

Fourqurean JW., Durako MJ., Hall MO., Hefty LN., 2002. Seagrass distribution in south Florida: a multi agency coordinated monitoring program. In Porter JW, Porter KG (Ed) The Everglades, Florida Bay and the coral reefs of the Florida Keys. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Fourqurean JW., Duarte CM., Kennedy H., Marbà N., Holmer M., Mateo MA., Apostolaki ET., Kendrick GA., Krause-Jensen D., Mc Glathery KJ., Serrano O., 2012. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geosciences*. DOI: 10.1038/NNGEO1477.

Gaboriau M., 2011. Cartographie des biocénoses marines à l'aide de vidéotranssects et bathymétrie du cœur de Pigeon. Parc national de la Guadeloupe. Rapport stage master 2. 46 p.

Gardner W.D., 1980. Sediment map dynamics and calibration: a laboratory evaluation. J. mar. Res., USA, 38: 17-39.

GIS POSIDONIE. INTERREGIII B Posidonia. 2005. Mise en cohérence, développement, harmonisation et validation de méthodes d'évaluation de la qualité du milieu littoral par le suivi de l'herbier de *Posidonia oceanica*. 7 p.

Green E.P. and Short F.T. 2003. *World Atlas of Seagrasses*. Prepared by the UNEP World Conservation Monitoring Centre. University of California Press, Berkeley, USA.

Haywood MDE., Pitcher CR., Ellis N., Wassenberg TJ., Smith G., Forcey K., McLeod I., Carter AB., Strickland C and Coles RG., 2008. Mapping and characterisation of the inter-reefal benthic assemblages of the Torres Strait, *Continental Shelf Research*. 28: 2304– 2316.

Hébert G., 2010. Cartographie de l'usage potentiel du Grand Cul-de-Sac-Marin par le lamantin : identification des zones d'interactions possibles et localisation de parcs de prérelâché. Rapport de stage de master. Parc National de la Guadeloupe. 40 p.

Hemminga M., Duarte CM., 2000. Seagrass Ecology. Cambridge (United Kingdom): Cambridge University Press. ISBN : 978-0-521-05249-8. 298 p.

Hily C., 2004. REBENT. Suivi des herbiers de zostères. 6p.

Hily C., Duchêne J., Bouchon-Navaro Y., Gigou A., Payri C., Védie F., 2010. Les herbiers de phanérogames marines de l'outre-mer français. Hily C., Gabrié C., Duncomb M. coord. IFRECOR, Conservatoire du littoral. 140 p.

Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2011. Directive Cadre européenne sur l'Eau. Suivis des stations des réseaux de référence et de surveillance des masses d'eaux côtières et de transition au titre de l'année 2010. Volet biologie. Rapport de synthèse : réseau référence. Rapport pour : La DEAL Martinique, 159 p. (Annexes incluses).

Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2010. Directive Cadre européenne sur l'Eau. Réalisation du contrôle de surveillance des masses d'eau côtières et de transition de Transition de la Martinique. Années 2009. Rapport final, Rapport pour: DIREN Martinique, 166 pp. (Annexes incluses).

Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2009. Directive Cadre européenne sur l'Eau. Réalisation du contrôle de surveillance des masses d'eau côtières et de transition de Transition de la Martinique. Années 2008. Rapport final, Rapport pour: DIREN Martinique, 161 pp. (Annexes incluses).

Lejart M., Larzillière A., Hily C., 2010. Etude des herbiers et des champs de blocs du Parc naturel marin d'Iroise: cartographie et caractérisation de l'état de conservation. 184 p.

Lefebvre A., Thompson C.E.L., Collins K.J., 2009. Amos Use of a high-resolution profiling sonar and a towed video camera to map a *Zostera marina* bed, Solent, UK. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 82 (2009) 323–334.

Levêque L., 2004. Contribution à l'inventaire et la cartographie des herbiers de zostère en Bretagne. Ifremer, DEL/AO, 61 p.

Mège S., Delloue X., 2007. Bilan des suivis des herbiers de Phanérogames Marines du Grand Cul-de-Sac-Marin. Rapport du Parc National de la Guadeloupe, 52 p.

Mizerek T., Regan H.M., and Hovel K.A., 2011. Seagrass habitat loss and fragmentation influence optimal management strategies for a blue crab (*Callinectes sapidus*) fishery. *Marine Ecology Progress Series* 427: 247–257.

Moreno D., Aguilera P.A., Castro H., 2001. Assessment of the conservation status of seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows: implications for monitoring strategy and the decision-making process. *Biol. Conservation* 102: 325-332.

Norrisa J., Wyllie-Echeverriab S., Mumford T., Bailey A., Turner T., 1997. Estimating basal area coverage of subtidal seagrass beds using underwater videography. *Aquatic Botany* 58 (1997) 269-287.

Ortolé C., 2012. DEAL Martinique. Dynamique de population de l'espèce invasive *Halophila stipulacea* en Martinique. Rapport de stage de DUT Génie Biologique. 40 p Parc National de la Guadeloupe. 2010. Rapport d'activité 2010. 34p.

Pareto, 2008. Suivi de l'état de santé des communautés benthiques des réserves naturelles marines de Guadeloupe. Année 2007 : définition des sites de suivi et état de référence, rapport provisoire, Mars 2008, 46 pages + annexes.

Pareto, 2010. Suivi de l'état de santé des communautés benthiques des réserves naturelles marines de Guadeloupe. Année 2009 : état des lieux 2009 et évolution 2007-2009, et suivi de la température des eaux. Rapport provisoire, Mars 2010, 95 pages + annexes.

Pareto, 2011. Suivi de l'état de santé des communautés benthiques et des peuplements ichtyologiques des réserves naturelles marines de Guadeloupe, de Saint-Martin et Saint-Barthélemy. Année 2010 : état des lieux 2010 et évolution 2007-2010, et suivi de la température des eaux. Rapport provisoire, Novembre 2010, 95 pages + annexes

Pareto, Impact Mer, Arvam, RN Saint-Martin. 2011. Directive Cadre sur l'Eau : réalisation du contrôle de surveillance des masses d'eau littorales de la Guadeloupe. Biologie, Physico-chimie, Hydromorphologie. Rapport de synthèse de la 3ème année de suivi. Tranche conditionnelle n°2 (2010-2011), rapport final, novembre 2011, 129 pages + annexes.

Pelletier D., & K., Leleu. 2008. Utilisation de techniques vidéo pour l'observation et le suivi des ressources et des écosystèmes recifolagaires. Rapport d'opération ZONECO + Annexes. 117 p.

Rollet C., Breton C, Loubrieu B., Satra Le Bris C., 2010. Moyens mis en œuvre pour la cartographie du plateau continental Guide général. Ifremer. 39 p.

Unsworth R., Collier CJ., Henderson GM., and McKenzie L J., 2012. Tropical seagrass meadows modify seawater carbon chemistry: implications for coral reefs impacted by ocean acidification. *Environmental Research Letters*.

Rooper C.N., Zimmermann M., 2007. A bottom-up methodology for integrating underwater video and acoustic mapping for seafloor substrate classification. *Continental Shelf Research*, 27:947-957.

Roussel E., Duncombe M., 2011. Les mangrove de l'Outre-mer français. Ecosystèmes associés aux récifs coralliens. IFRECOR, Conservatoire du littoral. 145 p.

Scamps, 2005. Rapport de Stage. Les herbiers de Nouvelle-Calédonie : Inventaire, caractérisation et typologie. Télédétection et cartographie. 67 p.

Spencer M.L., Stoner A.W., Ryer C.H., Munk J.E. 2005. A towed camera sled for estimating abundance of juvenile flatfishes and habitat characteristics: Comparison with beam trawls and divers. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 64: 497 - 503.

Unesco reports in marine science 23. 1982. Coral reefs, seagrass beds and mangroves: Their interaction in the coastal zones of the Caribbean. 138 p.

WEBOGRAPHIE

<http://www.ifrecor.org/>

<http://www.seagrasswatch.org/>

<http://www.seagrassnet.org/>

<http://ian.umces.edu/>

Annexe 1 : synthèse des études des herbiers en Martinique

Secteur	Auteurs, date	Données	Document obtenu
Martinique	Ortolé C., DEAL Martinique, 2012	Dynamique de population de l'espèce invasive <i>Halophila stipulacea</i> en Martinique. Stage de DUT Génie Biologique, DEAL Martinique	Oui
Ilets de Sainte-Anne	OMMM, 27 juillet 2011	Marchés pour étude de suivi scientifiques sur les population d'oiseaux et d'herbier des réserves du PNRM. Caractérisation des herbiers dans le périmètre de protection de la réserve naturelle des ilets de Sainte Anne	Oui
Baie de Fort-de-France	Castilla, 2009	Etude des herbiers baie fort de France zone de l'aéroport (rapport de stage)	Non
Grande-Anse, plage de la pointe Marin	Claire SERMAGE, OMMM, 2006	Suivi écologique des herbiers de la côte Sud Caraïbe de la Martinique et impact des ancrages des bateaux de plaisance (rapport stage m2)	Oui
Récif méridional	Sophie Brugneaux avec la collaboration de Cécile Pérès, OMMM, 2006	Contributions aux inventaires floristiques et faunistiques de Martinique. Programme ZNIEFF Mer. Le récif méridional de Martinique. Synthèse	Oui
Martinique	CAREX Environnement, 1999	Synthèse bibliographique et cartographique du milieu marin en Martinique	Non
Martinique	Corema, 1984	Mission Corantilles II sur les côtes de la Martinique. données herbiers?	Non

Annexe 2 : synthèse des travaux de cartographie des herbiers en Martinique

Secteur	Auteurs, date	Données	Données obtenues
Martinique	Ortolé C., DEAL Martinique, 2012	Dynamique de population de l'espèce invasive <i>Halophila stipulacea</i> en Martinique. Stage de DUT Génie Biologique, DEAL Martinique	Rapport : oui Carte pdf : oui Couche : non
Martinique	Hélène Legrand, OMMM, DIREN, Mars 2009	Base de données cartographique des fonds marins côtiers de la Martinique : Biocénoses benthiques. Carte répartition des écosystèmes marins côtiers de la Martinique	Rapport : oui Carte pdf: oui Couches : non
Martinique	Hélène Legrand, OMMM, Mars 2006	Esquisse cartographique au 1/100 000e des biocénoses benthiques de la Martinique Représentation de zones d'herbiers et de zones d'herbiers supposés Beaucoup de secteurs non étudiés	Rapport : oui Carte pdf: oui Couches : non
Martinique	BRGM, 2005	Base de données cartographique des fonds marins côtiers de Martinique, géomorphologie et biocénoses benthiques : Cahier des charges.	Rapport : non Couches : non Carte Jpeg : non
Baie du Robert	Impact-Mer, 2005	Réalisation d'une base de données cartographiques des biocénoses marines et informations associées : Application à la Baie du Robert	Rapport : non Couches : non Carte Jpeg : non
Martinique	Chauvaud S., 1997	Cartographie par télédétection à haute résolution des biocénoses marines côtières de la Guadeloupe et de la Martinique. Estimation de la biomasse et de la production primaire des herbiers à <i>Thalassia testudinum</i> (Thèse de doctorat de l'université de Bretagne Occidentale)	Rapport : non Carte jpeg : non Couches : non

Annexe 3 : synthèse des études des herbiers en Guadeloupe

Secteur	Auteurs, date	Données	Document obtenu
Ilet Pigeon	Matthias GABORIAU, 2011	Rapport stage master 2. Cartographie des biocénoses marines à l'aide de vidéotransects et bathymétrie du cœur de Pigeon	Oui
Guadeloupe	Lacas, S., 2010	Dynamique de la production primaire des herbiers à <i>Thalassia testudinum</i> de Guadeloupe. Rapport de stage de Master 2 en Sciences et Technologies, mention : Biodiversité tropicale : Université des Antilles et de la Guyane : Guadeloupe, 41 pp	Non
GCSM	Bouchon C., Lemoine S., Bouchon-Navaro Y., Louis M., Cordonnier S., 2010. Rapport Dynecar – Université des Antilles et de la Guyane – Parc national de la Guadeloupe	Etude de la contamination des herbiers de phanérogames marines du Grand Cul-de-Sac Marin de Guadeloupe en vue de la réintroduction du Lamantin Analyses sur de nombreux types de contaminants sur les phanérogames marines et sur les sédiments dans 15 stations	Non
Guadeloupe	DIREN Guadeloupe, 2001	Atlas du Patrimoine Guadeloupéen: Espaces Naturels et Paysages.	Non
Guadeloupe	Bouchon <i>et al.</i> , 2003	Manuel de méthodologie comprenant, entre autres, des techniques d'étude des herbiers	Oui
GCSM	Chauvaud, 1997	Biomasse, productivité et estimation de la répartition par télédétection	Non
GCSM	Barans E., 1990	Biomasse, productivité et estimation de la répartition par télédétection	Non

Antilles françaises	Bouchon Claude, Université des Antilles et de la Guyane Laboratoire de biologie marine, inventaire permanent depuis 1982 (quelle fréquence?)	Inventaire des Poissons des Antilles françaises (Liste d'espèces)	Non
Guadeloupe, Saint Martin et Saint Barthélemy	Nédelec Jean-François, DIREN Guadeloupe, RN Saint Barthélemy, RN de Saint Martin, UAG labo bio marine (+OSA,TBM, Carex environnement)	Inventaire des biocénoses marines de Guadeloupe, Saint Martin et Saint Barthélemy	Non
Guadeloupe	Lurel Félix / Mazéas Franck, DIREN Guadeloupe	Inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Faunistique et Floristique Marines de Guadeloupe.	Non

Annexe 4 : synthèse des travaux de cartographie des herbiers en Guadeloupe

Secteur	Auteurs, date	Données	Données obtenues
Ilet Pigeon	Matthias GABORIAU, 2011	Rapport stage master 2. Cartographie des biocénoses marines à l'aide de vidéo transects et bathymétrie du cœur de Pigeon	Rapport : oui Carte jpeg : oui
Guadeloupe	Carte AAMP stratégie régionale Aout 2011	Cartes de synthèse sur les connaissances du milieu marin en Guadeloupe (données multi sources) : - 1 carte les herbiers de phanérogames - 1 carte état de santé - 1 carte connectivité entre les herbiers de phanérogames et les communautés coralliennes	Rapport : non Carte jpeg : oui Couches : non
Guadeloupe, Les Saintes Marie- Galante La Désirade Petite Terre	DIREN, 2009	Couches herbiers	Couches : non Cartes jpeg : oui
Guadeloupe	DIREN Guadeloupe, 2008	Cartographie des ZNIEFF marines et terrestres	Rapport : non Couches : non Carte Jpeg : non Non
GCSM	Carex, 2005	Les unités géomorphologiques et biocénoses marines du Grand-Cul-de-Sac-Marin de la Guadeloupe	Couches : non Carte jpeg : oui
GCSM	TBM, 2005	Cartographie des biocénoses marines côtières du lagon du Grand Cul-de-Sac Marin	Rapport : oui Couches : oui Carte jpeg : oui

Pointe des châteaux	TBM, 2005	Opération Grand Site. Etude du milieu marin côtier de la pointe des châteaux, Saint François, Guadeloupe Cartographie des biotopes marins de la Pointe des Châteaux – TBM – Octobre 2005	Rapport : oui Couches : oui mais erroné Carte jpeg : oui
Ilet Kahouanne	Carex, 2001	Cartographie des fonds marins autour de l'ilet Kahouanne	Rapport : oui Jpeg : oui
Riviera	Carex, 2001	- Cartographie des fonds marins proches du littoral de la riviera, côte Sud de grande terre - Secteur de la Pointe canot (gosier) à l'anse loquet (Saint François) - 1 catégorie d'herbier, 3 catégories mixtes (herbier + autre)	Rapport : oui Cartes jpeg : oui Couches : non
Basse terre/côte sous le vent	Boutry, 2001 (UAG)	Boutry M., 2001. Cartographie des biocénoses marines côtières de la Basse-Terre de la Guadeloupe. Diagnostic écologique et pressions anthropiques. Rapport DESS Université des Antilles et de la Guyane, 60 pp	Rapport : oui Couches : non Cartes jpeg : oui
Guadeloupe, Saint Martin, Saint Barthélémy	Nédelec Jean-François, RN Saint Barthélemy, RN de Saint Martin, UAG labo bio marine (+OSA, TBM, Carex environnement) - Dates différentes selon les cartes	Inventaire des biocénoses marines de Guadeloupe, Saint Martin et Saint Barthélémy. Cartes 1:25000 de la géomorphologie et du type de substrat (habitat) des fonds marins de la Guadeloupe, la Basse-Terre, de la Pointe des châteaux, du GCSM, de l'Ilet Kahouanne, de la Riviera (littoral sud GT), de St Martin et de St Barthélémy	Rapport : oui Cartes jpeg : oui Couches : non

GCSM	Impact-Mer, 2001	Cartographie des biocénoses marines benthiques du cul-de-sac du Marin.	Rapport : non Couches : non Carte Jpeg : non
GCSM	Chauvaud, 1997	Chauvaud S., 1997. Cartographie par télédétection à haute résolution des biocénoses marines côtières de la Guadeloupe et de la Martinique. Estimation de la biomasse et de la production primaire des herbiers à <i>Thalassia testudinum</i> , Thèse de doctorat de l'université de Bretagne Occidentale, 257 pp.	Rapport : non Couches : non Carte Jpeg : non

Annexe 5 : synthèse des travaux de cartographie des herbiers à Saint-Martin

Secteur	Auteurs, date	Données	Données obtenues
Saint-Martin	Courboulès et al., 1992	Cartographie par télédétection des écosystèmes marins de Saint-Barthélemy, Saint-Martin et Anguilla	Rapport : non Carte jpeg: non Couches : non
Saint-Martin	Bouchon C, Y Sans date	Localisation du périmètre de la RN, des récifs coralliens, des herbiers de phanérogames et des mangroves	Rapport : non Carte jpeg: oui Couches : non
Saint-Martin	CAREX, 2001	Cartographie de la frange littorale et du milieu marin peu profond de la Guadeloupe et des îles proches (Saint-Martin, Saint-Barthélemy). Rapport DIREN, 59 pp.	Rapport : oui Carte jpeg : oui Couches : non
Guadeloupe, Saint-Martin, Saint-Barthélemy	Nédelec Jean-François, DIREN Guadeloupe, RN Saint Barthélemy, RN de SaintMartin, UAG labo bio marine (+OSA, TBM, Carex environnement) - Dates différentes selon les cartes	Inventaire des biocénoses marines de Guadeloupe, Saint Martin et Saint Barthélemy. Cartes 1:25000 de la géomorphologie et du type de substrat (habitat) des fonds marins de la Guadeloupe, la Basse-Terre, de la Pointe des châteaux, du GCSM, de l'Ilet Kahouanne, de la Riviera (littoral sud GT), de St Martin et de St Barthélemy	Rapport : oui Carte jpeg : Couches : non
RN Saint-Martin	SARL Chauvaud T.B.M, 2005	Cartographie des habitats marins de la réserve naturelle de Saint-Martin. Distribution des différents types d'herbiers	Rapport : oui Cartes : non Couches : non
RN Saint-Martin	SARL Chauvaud T.B.M, 2007	Cartographie des biocénoses marines et terrestres de la Réserve Naturelle de Saint-Martin	Rapport : oui Cartes : non Couches : non

Annexe 6 : synthèse travaux de cartographie des herbiers à Saint-Barthélemy

Secteur	Auteurs, date	Données	Acquisition
Saint-Barthélemy	Courboulès et al., 1992	Cartographie par télédétection des écosystèmes marins de Saint-Barthélemy, Saint-Martin et Anguilla	Rapport : non Carte jpeg: non Couches : non
Saint-Barthélemy	Bouchon C, Y Date?	Localisation des périmètres de la RN, des récifs coralliens et des herbiers de phanérogames	Rapport : non Carte jpeg: oui Couches : non
Saint Martin	CAREX, 2001	Cartographie de la frange littorale et du milieu marin peu profond de la Guadeloupe et des îles proches (Saint-Martin, Saint-Barthélemy). Rapport DIREN, 59 pp.	Rapport : oui Carte jpeg : oui Couches : non
Réserve naturelle Saint-Barthélemy	Chauvaud S.,TBM, 2001	Cartographie des biocénoses marines côtières de la réserve naturelle de Saint-Barthélemy. Rapport TBM, 22 pp. (par télédétection aérienne)	Rapport : oui Carte jpeg : oui Couches : non
Saint-Barthélemy	Delord E., 2004 Université des Antilles et de la Guyane (Rapport de DESS)	Etat de santé des biocénoses marines (récifs coralliens et herbiers de Phanérogames marines) de l'île de Saint-Barthélemy et mise en place d'un SIG environnement. (par télédétection aérienne)	Rapport : non Cartes : non Couches : non

Annexe 7 : Méthodes de caractérisation et de suivi des herbiers

Indicateurs	Méthode d'évaluation	Protocoles
Caractéristiques des herbiers		
Etendue de l'herbier	- Surface de l'enveloppe de l'herbier	- Cartographie par imagerie et vérité terrain ou par télémétrie acoustique
Taux de recouvrement	- Pourcentage des zones couvertes en herbiers par rapport aux zones non couvertes	- Cartographie par imagerie et vérité terrain ou par télémétrie acoustique - Transects + quadrats : en plongée le long d'un transect avec une plaque translucide divisée en plusieurs carrés. Recouvrement estimé par le plongeur à des intervalles réguliers + communication avec bateau qui enregistre les observations - Transects vidéo - Carrés permanents : micro-cartographie
Taux de mattes mortes	- Conservation index CI $CI = L/(L+D)$ L : surface herbier vivant D : mattes mortes 4 classes	- Détermination des surfaces des herbiers vivant et des mattes mortes
Limite supérieure et inférieure de l'herbier	- Limite de profondeur de l'herbier en général - Limite des pieds - Atteinte de la limite d'un % de couverture	- Cartographie par imagerie et vérité terrain - Télémétrie acoustique sous-marine pour les herbiers subtidiaux. - Balises fixes - Suivi en plongée - Suivi avec lunette de Calfat - Caméra vidéo et sondeur

Fragmentation	- Degré de fragmentation Herbier homogène (H), Herbier fragmenté (F) , Herbier très fragmenté (TF)	- Cartographie haute résolution par imagerie et vérité terrain -Analyse visuelle avec lunette de Calfat ou en plongée sur un gradient maxi-mini de profondeur
	- Taux de couverture par l'herbier par rapport au substrat	- Cartographie haute résolution par imagerie et vérité terrain
	- Indice du patch le plus grand Aire du plus grand patch divisé par l'aire totale de l'herbier multipliée par 100	- Cartographie haute résolution par imagerie et vérité terrain
	- Nombre de patch	- Cartographie haute résolution par imagerie et vérité terrain
	- Dimension fractale des patch Reflète la complexité de la forme des patches $1 \leq \text{Indice} \leq 2$ 1 : périmètre de forme régulière 2 : périmètre de forme irrégulière	- Cartographie haute résolution par imagerie et vérité terrain
	- Indice de proximité Nombre de patch dont les bords sont à moins de 0.5 m (0: la distance du plus proche patch est nulle)	- Cartographie haute résolution par imagerie et vérité terrain
	- Distance euclidienne avec les patches les plus proches - Distance minimale entre deux patches (la distance la plus proche est nulle)	- Cartographie haute résolution par imagerie et vérité terrain

Abondance des phanérogames	- Nombre total de plant par unité d'espace	- Transect le long d'un gradient de profondeur et échantillonnage à intervalle régulier
Densité de plants le long du gradient de profondeur	- Nombre de plants vivant par unité de surface (m ²)	- Echantillonnage (systématique, aléatoire) - par strate - Comptage par quadrat (plusieurs répliques aléatoires) - Carrés permanents
Biométrie foliaire	- Largeur, longueur de la gaine des feuilles	- Mesure de la surface foliaire - Indice foliaire - Coefficient de broutage
Hauteur de la canopée	- Longueur en cm de la plus grande feuille de 100 plants au hasard	- Echantillonnage par collecte de feuille par strate de profondeur - Quadrats - Carrés permanents
Biomasse	- Poids d'herbier par m ²	- Mesure de l'abondance des herbiers le long du gradient de profondeur
Reproduction sexuée	- Nombre de fleurs	- Comptage du nombre de fleurs (fruits ou graines) par unité de surface
Composition taxonomique	- Perte ou gain d'espèce de phanérogames présentes dans une masse d'eau	- Dénombrement des espèces présentes
Wasting Disease	- Wasting Disease index	- Mesure de l'indice sur un échantillon de 15 pieds frais prélevés aléatoirement dans l'herbier

Biodiversité des herbiers		
Epiphytes	- Composition spécifique - Biomasse - Mesure du recouvrement	- Echantillonnage par points aléatoires - Quadrats aléatoires - Transects + quadrats
Macroalgues	- Abondance - Richesse spécifique - Fréquence relative Composition spécifique - Taux de recouvrement - Biomasse - Limite d'extension en profondeur	- Quadrats - Echantillonnage par strates de profondeurs : relevé par des plongeurs - Transect vidéo - Transects + quadrats
Espèces invasives	- Identification de la présences d'espèces invasives	- Transect vidéo - Quadrats
Invertébrés	- Répartition des populations - Diversité faunistique totale - Biomasse spécifique - Densité - Indice biotique AMBI - BENTIX	- Echantillonnage par points aléatoires - Utilisation de quadrats aléatoires - Transects
Macrofaune vagile	- Diversité macrofaune totale	- Haveneau ou filet tiré par un plongeur de maille 1 mm sur une distance de 10 mètres
Macrofaune endogée	- Caractérisation macrofaune endogée	- Carottage puis tamisage (maille 1 mm)

Peuplement s associés aux herbiers	- Caractérisation des peuplements associés aux herbiers	-Quadrats - Comptage le long d'un transect permanent - En plongée le long de transects (poissons)
Bioturbation	- Caractérisation de la bioturbation	- Présence de bioturbateurs (crevettes)
Herbivorie Broutage par les macrobrouleurs	- Présence de signe de broutage - Présence de brouleurs	- Comptage visuel sous marin le long d'un transect - Signe de broutage de (tortues, dugongs, lamantins) - Etude sur la densité des population
Granulométrie du sédiment	- Classe de taille et courbes granulométriques	-Prélèvements de sédiment puis tamisage et courbe granulométrique -Pièges à sédiments - planter les doigts dans le sédiment pour évaluer sa composition
Matière organique	- Prélèvement de sédiment	- Prélèvement puis passage au four
Ripple marks/ marées de sables	- Prise en compte des phénomènes naturels pouvant occasionner des régression d'herbier	- Observation

Caractéristiques de la masse d'eau		
Éléments de pression naturel ou anthropique	- Station d'épuration, sucrerie, distillerie, décharges, cours d'eau à proximité, etc.	- Bilan des activités et installations
Température	- Thermomètre	- Relevé de la température - Données météorologiques
Salinité	- Mesure de la salinité	- Mesure par réfractomètre manuel
Concentration en O2 et H2S	- Mesures des concentrations	- Mesure des concentrations en O2 et H2S
Transparence de l'eau	- Analyse de la transparence	- Disque de Secchi
Particules en suspension	- Analyse du sédiment	- Trappes à sédiment "benthic sediment traps" placées à une 20ème de cm au dessus du sédiment
Concentration en nutriment inorganiques	Analyse de l'eau	- Prélèvement d'échantillon d'eau pour analyse
Concentration en matière organique dissoute	Analyse de l'eau	- Prélèvement d'échantillon d'eau pour analyse
Concentration en substances toxiques	Analyse de l'eau	- Prélèvement d'échantillon d'eau pour analyse
Insolation	Données météorologiques	- Recueil données auprès des stations météorologiques les plus proches
Pluviométrie	Données météorologiques	- Recueil données auprès des stations météorologiques les plus proches
Force et direction du vent	Données météorologiques	- Recueil données auprès des stations météorologiques les plus proches
Evènement climatique	Données météorologiques	- Bilan des évènements climatiques

Données multi sources : les références sont groupées du fait de l'importance du nombre de travaux existants

Borum J., Duarte CM., Krause-Jensen D., Greve TM., 2004. European seagrasses: an introduction to monitoring and management. The M&MS project ISBN: 87-89143-21-3. 95 p.

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 pub. : 1-202. N°ISBN 2-905540-30-3. 204 p.

Descamp P., Pergent G., Ballesta L., Foulquié M., 2005. Underwater acoustic positioning systems as tool for *Posidonia oceanica* bed survey. C.R. Biologies 328: 75-80.

Fontan E., Dumas P., Ponton D., 2011. Méthodes de cartographie, de caractérisation et de suivi des herbiers marins. Outil interactif permettant une sélection suivant la superficie de l'herbier, sa profondeur et le coût de l'étude. Rapport ZONECO. 112 p.

Moreno D., Aguilera P.A., Castro H., 2001. Assessment of the conservation status of seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows: implications for monitoring strategy and the decision-making process. Biol. Conservation 102: 325-332.

Foulquié M., Dupuy De la Granrive R., 2003. Site Natura 2000 FR 910 1414 "Posidonies du cap d'Agde". Document d'objectifs. Inventaire de l'existant et analyse écologique. ADENA publ., Agde : 1-301

Gardner W.D., 1980. Sediment map dynamics and calibration: a laboratory evaluation. J. mar. Res., USA, 38: 17-39.

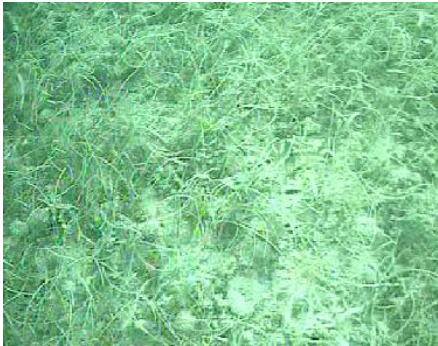
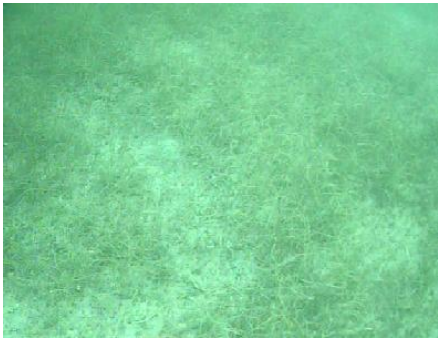
Hily C, 2004. REBENT. Suivi des herbiers de zostères. 6p.

Community Environment Network. 2005. Watching the Seagrass Grow – a guide for community seagrass monitoring in NSW (2nd Ed). The Community Environment Network, Ourimbah. 68 p.

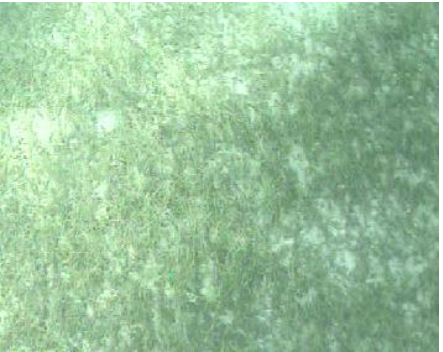
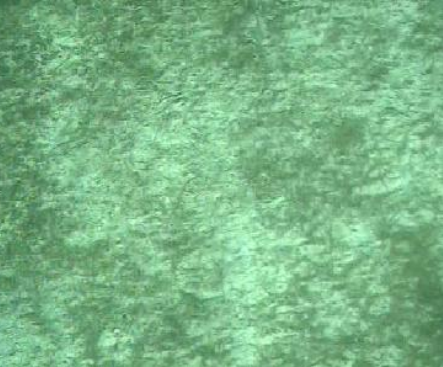
Annexe 8 : classification des biocénoses et substrats pour l'analyse vidéo

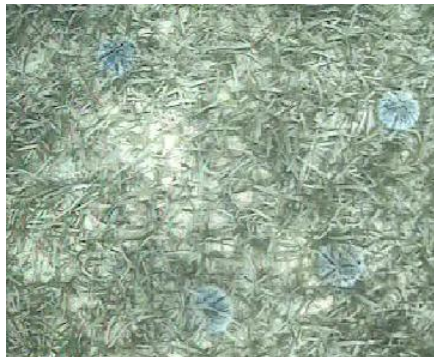
Description de l'herbier			
Nom item	Sous-item	Description	Extrait vidéo
Herbier à <i>Thalassia testudinum</i> monospécifique (HTM)	Herbier dense (-D) Herbier moyennement dense (-MD) Herbier clairsemé (-C)	L'herbier est composé uniquement de <i>Thalassia testudinum</i>	
Herbier à <i>Thalassia testudinum</i> dominant (HTD)	Herbier dense (-D) Herbier moyennement dense (-MD) Herbier clairsemé (-C)	L'herbier est visiblement composé majoritairement de <i>Thalassia testudinum</i> , mais la vitesse de la camera ne permet pas de conclure sur la présence ou l'absence d'autres espèces de phanérogames marines.	
Herbier à <i>Thalassia testudinum</i> dominant et algues indéterminées (HTDA)	Herbier dense (-D) Herbier moyennement dense (-MD) Herbier clairsemé (-C)	L'herbier est composé majoritairement de <i>Thalassia testudinum</i> , mais la vitesse de la camera ne permet pas de conclure sur la présence ou l'absence d'autre espèces de phanérogames marines. Des algues sont installées.	

Herbier à <i>Thalassia testudinum</i> brouté (HTD)	Herbier dense (-D) Herbier moyennement dense (-MD) Herbier clairsemé (-C)	Les herbiers présentent des brins courts et sont souvent occupés par des macrobrouleurs.	
Herbier mixte à <i>Thalassia testudinum</i> et <i>Syringodium filiforme</i> (HMTS)	Herbier dense (-D) Herbier moyennement dense (-MD) Herbier clairsemé (-C)	L'herbier est composé visiblement des deux espèces <i>Thalassia testudinum</i> et <i>Syringodium filiforme</i> en proportion variable de l'une ou l'autre espèce.	
Herbier à <i>Thalassia testudinum</i> de récif (HTR)	Herbier dense (-D) Herbier moyennement dense (-MD) Herbier clairsemé (-C)	L'herbier est composé de <i>Thalassia testudinum</i> souvent clairsemé parmi des roches et blocs récifaux .	

Herbier à <i>Syringodium filiforme</i> dominant (HSD)	Herbier dense (-D) Herbier moyennement dense (-MD) Herbier clairsemé (-C)	L'herbier est visiblement composé majoritairement de <i>Syringodium filiforme</i>, mais la vitesse de la camera ne permet pas de conclure sur la présence ou l'absence d'autres espèces de phanérogames marines.	
Herbier mixte avec algues calcaires (HMAC)	Herbier dense (-D) Herbier moyennement dense (-MD) Herbier clairsemé (-C)	L'herbier est composé visiblement des deux espèces <i>Thalassia testudinum</i> et <i>Syringodium filiforme</i> en proportion variable de l'une ou l'autre espèce accompagné d'algues calcaires dominantes fixées du type <i>Halimeda sp.</i>, <i>Avrainvillea sp.</i>, <i>Penicillus sp.</i>	
Herbier à <i>Syringodium filiforme</i> dominant (HSD) Avec algues (HSDA)	Herbier dense (-D) Herbier moyennement dense (-MD) Herbier clairsemé (-C)	L'herbier est visiblement composé majoritairement de <i>Syringodium filiforme</i>, mais la vitesse de la camera ne permet pas de conclure sur la présence ou l'absence d'autre espèce de phanérogame marine.	

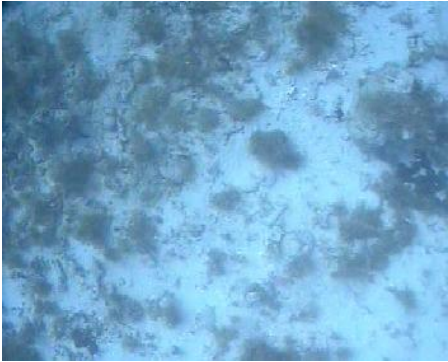
Herbier monospécifique à <i>Halophila stipulacea</i> (HHph)	Herbier dense (-D) Herbier moyennement dense (-MD) Herbier clairsemé (-C)	L'herbier est constitué d'<i>Halophila stipulacea</i>	
Herbier mixte à <i>Halophila stipulacea</i> et <i>Syringodium filiforme</i> (HMHphS)	Herbier dense (-D) Herbier moyennement dense (-MD) Herbier clairsemé (-C)	L'herbier est composé visiblement des deux espèces <i>Halophila stipulacea</i> et <i>Syringodium filiforme</i> en proportion variable de l'une ou l'autre espèce.	
Déchaussement de l'herbier	Nombre de microfalaises	En limite avec l'herbier et le sable, une microfalaise est nettement visible, signe de régression de l'herbier	

Herbier à <i>Halodule sp.</i> ou constitué de jeune <i>Syringodium filiforme</i> (HHdlejs)	Herbier dense (-D) Herbier moyennement dense (-MD) Herbier clairsemé (-C)	La qualité de la qualité de l'eau ou de la vitesse, la vidéo ne permet pas de déterminer précisément l'espèce entre deux espèces suspectées des genres <i>Halodule sp.</i> et <i>Syringodium sp.</i>	
Herbier indéterminé (HI)	Herbier dense (-D) Herbier moyennement dense (-MD) Herbier clairsemé (-C)	La qualité de la qualité de l'eau ou de la vitesse, la vidéo ne permet pas de déterminer précisément l'espèce.	
Macrophyte indéterminé (MAI)		La qualité de la qualité de l'eau ou de la vitesse, la vidéo ne permet pas de déterminer de distinguer les herbiers des autres espèces de macrophytes.	

Activités dans les patchs			
Signes de bioturbation		La présence d'amoncellement de sable indique la présence d'organisme bioturbateurs dans le sédiment.	
Présence d'oursin		Nombre d'oursins.	
Présence de lambis		Nombre de lambis.	

Description du substrat non colonisé par les herbiers

Sable nu (SN)		Le substrat est composé uniquement de sable nu, nettement visible à la vidéo.	
Débris végétaux (algues et herbiers) en dérive (DVD)		La couleur et le mouvement de ces végétaux indiquent qu'ils ne sont pas fixés. Ce type de fond peut prêter à confusion avec des zones d'herbier.	
Algues vertes fixées (AV)		Le substrat est colonisé par des algues vertes bien souvent des genres <i>Caulerpa</i>, <i>Halimeda</i>, <i>Avrainvillea</i>	

Sédiment grossier hétérogène avec couverture d'algues fixées ou en dérive (SGHA)		Les fonds sont constitués de sédiments grossiers hétérogènes et sont couverts d'algues fixées ou en dérive.	
Sédiments grossier et blocs coralliens avec éponges et plumaires (SGBC)		Les fonds sont constitués de sédiments grossiers et de pâtés coralliens colonisés d'éponges et de plumaires.	

Protocole d'étude de la fragmentation de l'herbier en vidéo tractée

Objectifs

L'objectif de ce protocole est de déterminer la fragmentation par la technique de vidéo tractée consiste à remorquer sur moyen naviguant se déplaçant à faible vitesse, un système équipé d'une camera filmant en direction du fond ce qui permet d'obtenir des informations en terme de fragmentation et de recouvrement de l'herbier.

Matériel

Matériel de base

- Caméra sous-marine avec valise du module d'enregistrement vidéo PDR (vérifier présence carte SD) + micro + les 2 batteries
- Câble de la caméra
- Support-quadrat de la camera
- Plombs ou petits sac pour lester le support
- Vis pour monter le support
- Bâche de protection
- Pancho
- Sièges de camping
- Gps map Garmin
- Piles de rechange
- Chronomètre
- Gaffe
- Sondeur à main

Moyens de prise de note

- Ardoise
- Feuilles étanches de plongée
- Feutres
- Protocole de terrain
- crayons papier

Matériel complémentaire

- Ortholittorale du site
- Serviette
- Couteau
- Elastiques, bouts
- Gants
- Graisse silicone
- Nettoyant de contact
- Pinces à linge

Moyens

Moyens humains

Pour le terrain

- 2 personnes au minimum, 3 si possible

Pour l'analyse

- 1 personne

Moyens nautiques

Une petite embarcation sans équipement particulier supplémentaire suffit.

Puissance motrice doit être la plus faible possible, mais un ralentit efficace et maîtrisé pour l'embrayage/débrayage même à forte puissance motrice est nécessaire

Mise en route du matériel

Caméra

- Fixer la caméra au cordon et vérifier que l'ensemble est bien serré et passer le cordon de la camera dans le tube du support, puis fixer la camera au support à l'aide des élastiques.
- Installer la valise de l'enregistreur dans la bâche préalablement installée et brancher le micro
- Connecter la caméra à la valise, puis allumer le système

GPS

- Allumer le GPS et vérifier que le système géodésique d'acquisition des données est celui souhaité (WGS 84) ainsi que le fuseau horaire correspondant à la zone d'étude
- Suivant les GPS, configurer si besoin l'enregistrement en mode traces.

Repérage du site et stratification d'échantillonnage

Se situer sur le site grâce à l'Ortholittorale et au GPS et se déplacer en bateau sur l'herbier

Mise à l'eau de la caméra et début d'acquisition des données

- Ecrire sur une ardoise, le nom du site, le lieu et la date ainsi que le numéro du transect puis filmer pendant quelques secondes l'ardoise. Il sera ainsi plus aisé de retrouver les bandes vidéos pour chaque radiale réalisées.
- Mettre le support caméra à l'eau de préférence à l'arrière du bateau. Bien prêter attention au sens de dérive lorsque le bateau change de cap.
- A la mise en marche du bateau pour le début de la radiale, une personne se positionne aux commandes du bateau tout en filant et dirigeant le câble de la camera (si deux personnes à bord), la seconde s'installe devant l'enregistreur et examine les images visibles tout pour récolter les données complémentaires

Si plus de personnes sont présentes à bord il est possible de séparer les tâches de la conduite du bateau, de la gestion du câble, de la prise de la profondeur.

Au début radiale :

- Débuter l'enregistrement vidéo dès le début du transect et mettre en route simultanément le chronomètre et effectuer un point GPS
- Préciser dans le micro que c'est le début de la radiale
- Noter dans le tableau de la fiche terrain (cf P) le numéro du point GPS, le temps sur le chronomètre et les coordonnées GPS correspondant au début de la radiale. Renseigner également toutes les informations utiles telles que les espèces de phanérogames marines présentes, les autres espèces observées ainsi que le type de substrat.
- Durant toute la durée de la radiale, effectuer des points GPS toute les minutes et poursuivre la prise de note des données complémentaires observées dans le tableau.

A la fin de la radiale, lorsqu'on a quitté l'herbier

- Arrêter l'enregistrement vidéo
- Préciser dans le micro que c'est la fin de la radiale
- Stopper le chronomètre

Fiche de terrain

Date :	Nom herbier :	Observateurs :
Lieu :	Type d'herbier, espèces présentes :	Conditions météo :

Radiale n° :

N° Way point GPS	Temps vidéo (chrono)	Profondeur	Substrat	Densité - Herbier clairsemé (C) - Herbier moyennement dense (MD) - Herbier dense (D)	Observations

Arrêt de la manip

- Eteindre la Camera
- Eteindre le GPS
- Déconnecter l'ensemble du matériel. Attention à ne pas mettre d'eau sur les connecteurs !
- Ranger l'ensemble du matériel dans des sacs étanches

Après le terrain

- Rincer le matériel
- Rincer au nettoyant de contact les embouts électriques
- Décharger les vidéos de la carte SD de l'enregistreur. Pour cela il faut sortir la carte de l'enregistreur et vider les fichiers sur un ordinateur (vérifier le son) en créant des dossiers(ex : date-lieu)
- Faire des copies régulières sur un disque dur externe
- Supprimer les fichiers de la carte
- Charger les batteries de la caméra soit directement sur la valise, soit en chargeant les batteries seules pendant 8 heures.
- Charger les piles du GPS ou en prendre des nouvelles si besoin
- Décharger les données du GPS sur un ordinateur et les intégrer dans un SIG pour analyser les données
- Supprimer les WayPoints du GPS

