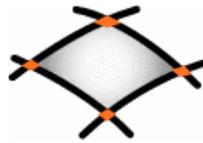


UNIVERSITE DE PERPIGNAN

Faculté des sciences

52 av Paul Alduy 66 000 Perpignan



UPVD
Université de Perpignan Via Domitia

MASTER « Environnements Méditerranéens et Développement Durable »

Mention professionnelle « Environnement et Développement Durable »

Rapport de Stage

Les herbiers subtidaux de Nouvelle-Calédonie :
caractérisation à différentes échelles

Élodie FONTAN



ANNÉE UNIVERSITAIRE 2008-2009

Sous la direction de :

D. PONTON & C. PAYRI

Institut de recherche pour le développement
Centre de Nouméa 101 Promenade Roger Laroque
BP A5 98848 Nouméa Cédex Nouvelle-Calédonie



Institut de recherche
pour le développement

Remerciements

« La réalisation de ce projet est le fruit de très belles coopérations.

Aussi, je tiens particulièrement à remercier chaleureusement:

Mes encadrants Dominique PONTON et Claude PAYRI pour leur soutien, leur confiance et la qualité de leur encadrement : Dominique Ponton pour sa très grande disponibilité et ses nombreux conseils tant professionnels qu'humains, et Claude Payri pour son aide concernant les herbiers et le milieu sous marin en général ainsi que le temps précieux qu'elle m'a accordé.

Je remercie également l'IRD, représenté par M. Colin, pour m'avoir accueilli au centre, et m'avoir permis de réaliser ce travail dans d'excellentes conditions.

Merci à toutes les personnes qui ont participé à l'échantillonnage et au travail de laboratoire. Les différents capitaines du Diodon et de l'Aldric, au cours des six mois d'échantillonnage : Miguel Clarque, Napoléon Colombani et Samuel Tereua. Merci également à Gérard Mou-Tham pour son expérience et son accompagnement lors de plongées mémorables, ainsi qu'au service plongée de l'IRD : Jean-Louis Menou, et Eric Folcher sans qui cette partie terrain n'aurait pu être possible.

Pour le tri granulométrique, je remercie Angelo DiMatteo pour le temps qu'il m'a consacré et également Gérard Philippe, Léocadie Jamet, Jacob Waneux et Marcel Faubourg, pour m'avoir ouvert leur laboratoire, conseillé et permis d'effectuer mes analyses sédimentaires.

Je tiens également à remercier Joseph Baly et Haïzéea Jimenez pour m'avoir accueilli à bras ouverts, accompagné au quotidien dans la bonne humeur et avec qui j'ai partagé d'excellents moments.

Un grand merci à ma famille de Nouvelle-Calédonie, qui après m'avoir insufflé il y a de nombreuses années le rêve d'une vie ailleurs, m'ont accueilli dans leurs vies et leur monde, et me l'on fait aimer, merci pour tout.

Et merci à mes parents qui m'ont transmis leur amour de la vie et de la nature et m'ont toujours soutenu et accompagné pour que je réalise mes rêves les plus fous même ceux qui m'éloigneraient d'eux.

Merci enfin à Anthony pour être toujours là et pour m'avoir suivi jusqu'au bout du monde.

Merci à tous ceux qui de près ou de loin, ont rendu ce stage possible, agréable, inoubliable... »

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	1
2. MATÉRIELS ET MÉTHODES	4
2.1. SITE D'ÉTUDE	4
2.2. DESCRIPTION DES HERBIERS À QUATRE ÉCHELLES SPATIALES	4
2.3. VARIATION TEMPORELLE DES HERBIERS	8
2.4. ASSEMBLAGE DE POISSONS	8
3. RÉSULTATS	10
3.1. DESCRIPTION DES HERBIERS À L'ÉCHELLE INFÉRIEURE AU MÈTRE	10
3.2. DESCRIPTION DES HERBIERS À L'ÉCHELLE 1-10 MÈTRES	14
3.3. DESCRIPTION DES HERBIERS AUX ÉCHELLES SUPÉRIEURE À 10 MÈTRES	16
3.4. VARIATIONS TEMPORELLES DES HERBIERS	20
4. DISCUSSION.....	21
5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	25
6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	26

1. Introduction

Les herbiers à phanérogames marines sont des formations végétales composées d'Angiospermes, ou plantes à fleurs, qui possèdent des entités morphologiques telles que : feuilles, tiges, racines et structures reproductives (fleurs et fruits). Il existe moins de 60 espèces de phanérogames marines à travers le monde (Kirkman & Walker, 1989) qui sont immergées pour une partie (herbiers intertidaux soumis aux marées) ou pour tout leur cycle de vie (herbiers subtidaux). Ces plantes ont adapté leur physiologie et la biologie de leur reproduction, y compris la pollinisation, au milieu sous-marin. Leur système de rhizomes est enfoui dans le substrat et porte un système racinaire dense qui le stabilise. La partie dressée chlorophyllienne est constituée par le feuillage porté par les rhizomes. La reproduction sexuée chez les phanérogames marines est un processus peu fréquent en raison du mode de vie aquatique, et leur distribution est donc le plus souvent déterminée par la dispersion de fractions végétales. Les phanérogames marines poussent par l'apparition successive de modules composés d'un segment de rhizome portant des racines et des feuilles néoformé à partir de la plante mère. Lorsqu'un de ces modules se détache du reste de la plante, il constitue une bouture qui sera, par multiplication végétative, à l'origine de nouvelles colonies (Waycott et al., 2004). Ces colonies forment des herbiers marins qui sont parmi les écosystèmes côtiers les plus répandus au monde (Hemminga & Duarte, 2000). Alors que les herbiers tempérés sont quasi exclusivement mono-spécifiques, les herbiers tropicaux sont généralement composés de plusieurs espèces de phanérogames qui coexistent et dont les stratégies de développement, et donc la dynamique temporelle, diffèrent (Ralph et al., 2007).

Les herbiers jouent un rôle majeur dans le fonctionnement des écosystèmes, tout d'abord en agissant comme une barrière entre les activités terrestres et le reste de l'océan (McRoy & Helfferich, 1977 ; Waycott et al. 2004). Maillon indispensable à la survie de nombreuses espèces, les herbiers marins sont l'interface entre le substrat et l'eau. Ils permettent un recyclage efficace des nutriments, la réduction des régimes de courant, la stabilisation sédimentaire. Ils sont également une source de nourriture directe pour les herbivores (oursins, poissons,...) dont certains sont menacés comme la tortue verte (*Chelonia mydas*) et le dugong (*Dugong dugong*). En se décomposant, les phanérogames produisent des phytodétritus qui profitent aussi à d'autres organismes tels que des amphipodes et qui sont vraisemblablement le siège d'activité chimiosynthétique bactérienne et fongique. De plus, les algues épiphytes qui se développent sur les feuilles représentent une source de nourriture pour différents invertébrés, l'ensemble apportant ainsi un supplément nutritionnel aux brouteurs.

Les herbiers sont également des lieux d'installation et des nourriceries pour les crustacés tels que les crevettes *Penaeidae* (Coles et al., 1985) et pour les juvéniles de nombreuses espèces de poissons, dont beaucoup présentent un intérêt pour la pêche commerciale ou de subsistance (Dahlgren & Eggleston, 2000 ; Cocheret de la Morinière et al., 2002). Les herbiers sont également un habitat essentiel pour beaucoup d'espèces qui y réalisent une partie ou l'intégralité de leur cycle de vie (Beck et al., 2001). L'importance de ces écosystèmes résulte dans le fait qu'ils sont interconnectés avec d'autres écosystèmes très riches tels que mangroves et récifs coralliens par leurs productions secondaires et les transferts trophiques. C'est la présence de ce continuum entre ces habitats qui est à l'origine de leur haute diversité et leur forte abondance en poissons et invertébrés (Dorenbosch et al., 2004 ; Bologna et al., 2008). Les herbiers, par leur position d'écosystème côtier intermédiaire, reflètent par conséquent la santé de tous ces écosystèmes. Ayant une fonction écologique majeure, les herbiers constituent ainsi la clé de voûte de l'écosystème régional.

Dans le monde, la pression démographique s'est développée le long des littoraux, menaçant les herbiers par l'augmentation des activités humaines. Les rejets dans le milieu de nutriments (Orth et al., 2006), de sédiments et d'herbicides (McMahon et al., 2005) entraînent une dégradation de la qualité des eaux côtières néfaste aux herbiers. De plus, la pression croissante sur l'espace littoral, les mouillages, les dragages qui provoquent une augmentation de la turbidité de l'eau, mettent en danger les herbiers. En effet, la turbidité, ou toute autre restriction de la disponibilité en lumière, est la première cause de limitation de la croissance des phanérogames (Cabaço et al. 2008) pouvant aller jusqu'à entraîner leur mort (Lee et al., 2007 ; Ralph et al., 2007). Dans l'ouest du Pacifique, le développement côtier local pour le tourisme, ou les infrastructures de transport, sont les causes majeures de la perte d'herbiers. Ces pertes seront probablement amenées à s'étendre dans d'autres îles du Pacifique du fait du peu d'attention portée à ces habitats et à leur faible niveau de protection (Green & Short, 2003). A une plus grande échelle, les dynamiques spatiales et temporelles des herbiers seront modifiées par les changements climatiques à long terme qui entraîneront une augmentation du débit des rivières, du niveau marin et de la fréquence ou de l'intensité des événements cycloniques. En effet, différents facteurs comme le type et la stabilité du substrat, la topographie et l'hydrodynamisme de la zone, sa climatologie, la turbidité de l'eau ainsi que la pression des prédateurs sont importants dans la détermination de la distribution des espèces de phanérogames. Les phanérogames sont qualifiées d'espèces sentinelles car excellentes indicatrices de changements des conditions du milieu à l'échelle locale (pêche à pied, plaisance, marées vertes), régionale (eutrophisation) et globale (événements climatiques). La surveillance de leur état de santé est d'un grand intérêt en soi, mais constitue également un indicateur de l'évolution des conditions de la qualité environnementale de la zone littorale à différentes échelle spatiales.

La Nouvelle-Calédonie, située à l'est de l'Australie, se trouve très proche du foyer de richesse spécifique Indo-Malais où sont observés les herbiers les plus riches (Hemminga & Duarte, 2000). Les herbiers de phanérogames marines occupent une part importante des fonds du lagon de Nouvelle-Calédonie, notamment le long de la côte ouest. Onze espèces de phanérogames ont été identifiées à ce jour en Nouvelle-Calédonie (IFRECOR, 2005) le long d'un gradient nord-sud. Elles se regroupent en six genres appartenant à la famille des Cymodoceaceae (*Cymodocea*, *Halodule*, *Syringodium*) et celle des Hydrocharitaceae (*Enhalus*, *Halophila* et *Thalassia*). En Nouvelle-Calédonie, les herbiers sont encore assez peu connus à l'exception des zones intertidales peu profondes du lagon sud-ouest où trois à six espèces de phanérogames sont généralement associées en fonction des zones et des expositions. Jusqu'à présent, les études effectuées en Nouvelle-Calédonie se sont limitées à une cartographie à l'échelle supérieure à 100m pour toute la Grande Terre complétée par la caractérisation d'herbiers situés à moins de trois mètres de profondeur car seuls ces derniers peuvent être identifiés par télédétection optique sans ambiguïté (Dirberg, 2005 ; Scamps, 2005).

Huit herbiers tropicaux du lagon de sud-ouest de Nouméa ont été sélectionnés pour effectuer la présente étude. Ces herbiers, exclusivement subtidaux et donc n'étant pas soumis quotidiennement au marnage, ont été choisis autour de six îlots distribués suivant un gradient côte-large. Les trois sites présents autour des deux îlots les plus proches de la côte sont parfois soumis aux impacts anthropiques (eaux côtières eutrophisées), deux sont en position intermédiaire et sont rarement impactés, et enfin trois des sites sont plus au large et ne sont jamais impactés. Ces herbiers ont également été sélectionnés en fonction des connaissances acquises par l'IRD sur ces milieux ces dernières années (Scamps, 2005 ; Mellin, 2007) et en fonction de l'intérêt que les gestionnaires de la Province Sud leurs portent, sept herbiers étant classés en réserve naturelle. Le but de ce travail était la caractérisation de ces huit herbiers, de leur environnement, en particulier des sédiments, et de leur faune associée (invertébrés et poissons). Cette caractérisation a été effectuée grâce à un échantillonnage à différentes échelles spatiales afin d'étudier les différences de composition floristique et l'hétérogénéité des herbiers intra et inter-site. Cette étude portant sur un écosystème dynamique, il a fallu replacer les résultats obtenus dans un contexte de suivi temporel.

2. Matériels et méthodes

2.1. Site d'étude

Huit herbiers, localisés au droit de Nouméa dans le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie (Figure 1), ont été échantillonnés entre le 10/02/09 et le 17/03/09 (voir Annexe 1 pour des photos d'ambiance). Ces herbiers diffèrent principalement par leur profondeur, leur exposition aux courants et leur proximité aux activités humaines (Annexe 2).

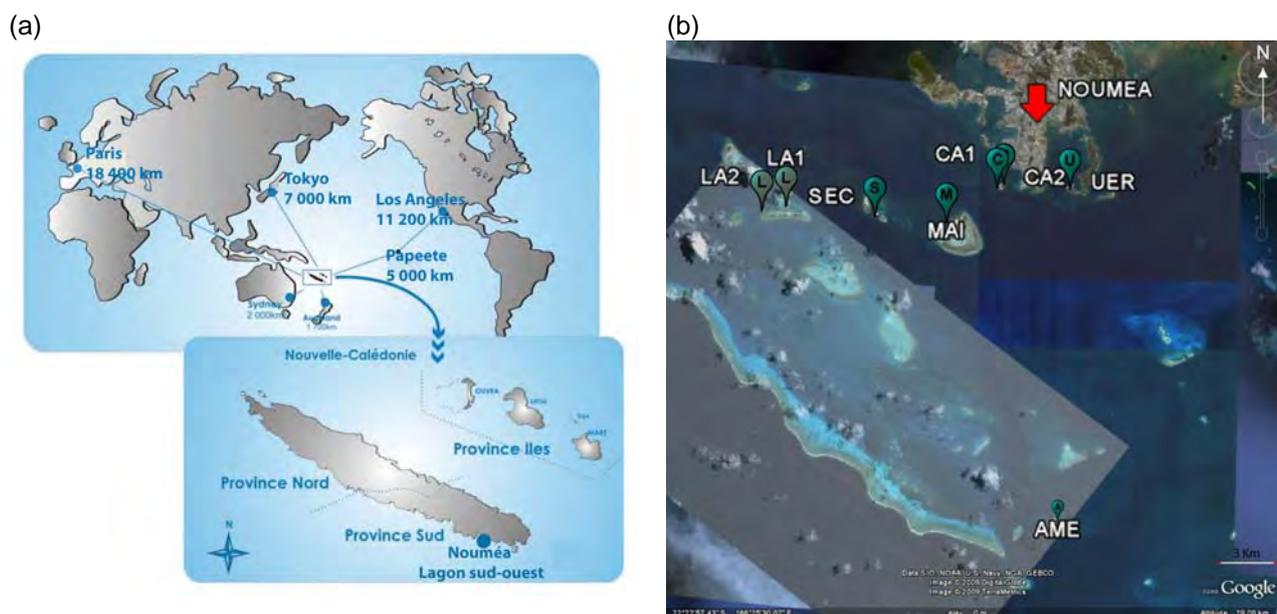


Figure 1: Localisation de la Nouvelle-Calédonie dans le Pacifique (a) et des sites d'étude par rapport à Nouméa (b) qui sont, classés suivant l'éloignement croissant à la côte : UER= îlot Uéré ; CA1= île aux Canards site 1 ; CA2= île aux Canards site 2 ; MAI= îlot Maître ; SEC= îlot Sèche-Croissant ; LA1= îlot Larégnère site 1 ; LA2= îlot Larégnère site 2 ; AME = îlot Amédée.

2.2. Description des herbiers à quatre échelles spatiales

2.2.1. Echelle supérieure à 50 mètres

Pour chaque herbier, un parcours aléatoire d'environ quarante minutes dans la direction générale nord-ouest a été réalisé au mois de mars 2009 et géo-référencé à l'aide d'un G.P.S Garmin 12, placé dans un flotteur étanche tracté par les plongeurs (Annexe 3). Pendant le parcours, des estimations du pourcentage des différentes espèces de phanérogames, coraux et algues, ainsi que des types de substrat repartis en sable ou dalle, sur une surface équivalente à un quadrat de 50 x 50 cm ainsi que l'épaisseur du sédiment ont été relevés toutes les deux minutes. Le long du trajet et sur environ deux mètres de largeur, la macrofaune benthique (étoiles de mer, bèches de mer, oursins, coraux, éponges et bivalves) ainsi que les algues présentes et les monticules de sable ont été photographiés.

2.2.2. Echelle 1 à 50 mètres

Pour chaque site, un transect de 50 mètres a été installé dans la direction générale nord-sud (Annexe 3). Une liste exhaustive des espèces présentes dans le périmètre d'étude a tout d'abord été effectuée avant de commencer la caractérisation des communautés le long du transect. Cette caractérisation s'est appuyée sur cette composition floristique générale ainsi que sur le recouvrement déterminé tous les mètres par un indice de présence allant de 0 à 4 (0 = absence ; 1 = 5 % ; 2 = 25 % ; 3 = 50 % et 4 = 100 %) estimé pour le sable nu, le corail, les algues et chaque espèce de phanérogames. Le pourcentage de chaque catégorie a été ensuite calculé sur 50 m.

2.2.3. Echelle 0,1 à 10 mètres

Perpendiculairement au transect de 50m, trois transects de 10 m ont été placés à 0, 10 et 20 mètres alternativement de chaque côté (Annexe 3). Sur chacun des transects de 10 m, le recouvrement par chaque type de substrat et par les phanérogames a été mesuré par la méthode dite du L.I.T (Line Intercept Transect, Stoddard et Johannes, 1978) permettant d'appréhender la composition floristique et le recouvrement végétal associé (Annexe 4). Pour chaque mètre, la somme en centimètres de chaque catégorie (sable nu, corail, algues ainsi que les espèces de phanérogames) a été relevée. Le pourcentage de chaque catégorie a été ensuite calculé sur 10 m pour la comparaison des échelles.

Pour toutes ces estimations visuelles à différentes échelles, une phase d'apprentissage avec une spécialiste (C. Payri) a été réalisée. Les identifications de chaque espèce présente ont été vérifiées puis leur pourcentage de présence le long d'un transect a été estimé (Annexe 5). Après comparaison et validation des résultats obtenus, une nouvelle comparaison prenant en compte toutes les catégories présente sur le substrat a été effectuée. Après validation des résultats obtenus, toutes les observations ont été effectuées par une seule personne.

2.2.4. Echelle inférieure à 1 mètre

C'est à cette échelle que les prélèvements de matériel végétal et de sédiment ont été effectués par carottage. Le long de chaque transect de 10 m, trois carottes dont la localisation avait été déterminée de manière aléatoire, ont été réalisées, au centre d'un quadrat de 50 x 50 cm (Annexe 3). Les carottes de 9,5 cm de diamètre comprenant substrat et phanérogames (limbes et racines) ont été prélevées, placées dans des poches en plastiques, référencées, et conservées au frais jusqu'au retour au laboratoire où les phanérogames ont été immédiatement séparées des sédiments (Annexe 3).

Au laboratoire, les phanérogames présentes dans les carottes ont été triées par espèce et digitalisées à l'aide d'un scanner Canon LIDE20. Sur chaque image, la longueur des feuilles de chaque pied, depuis le nœud basal jusqu'en haut de la gaine, et leur largeur maximale, le nombre de feuilles par pied, ainsi que le nombre de pieds par carottes, ont été déterminés à l'aide du logiciel Image J¹. Les parties aériennes ont été séparées des racines et des rhizomes en coupant les feuilles à la base de la gaine, ou de l'écaïlle pour *Halophila ovalis*. Feuilles d'une part et racines plus rhizomes d'autre part ont été pesés séparément afin d'obtenir leurs biomasses fraîches (égouttés sur papier absorbant), puis placés 48 h à l'étuve à 60 °C afin d'obtenir les biomasses sèches foliaire et racinaire. Toutes les pesées ont été effectuées sur une balance Mettler AE 200 (précision 0,1g).

Après le tri des végétaux, la partie sédimentaire de chaque carotte a été séchée à l'étuve à 70 °C, puis tamisée mécaniquement pendant 30 minutes sur une colonne de tamis de type AFNOR en acier inoxydable de maille variant de 20 mm à 63 µm. Les refus de chaque tamis ont été pesés sur une balance Mettler AE 240 (précision 0,01 g). Après transformation en pourcentage pondéral, les valeurs obtenues ont été utilisées pour tracer des histogrammes de fréquences et des courbes cumulatives (Figure 2).

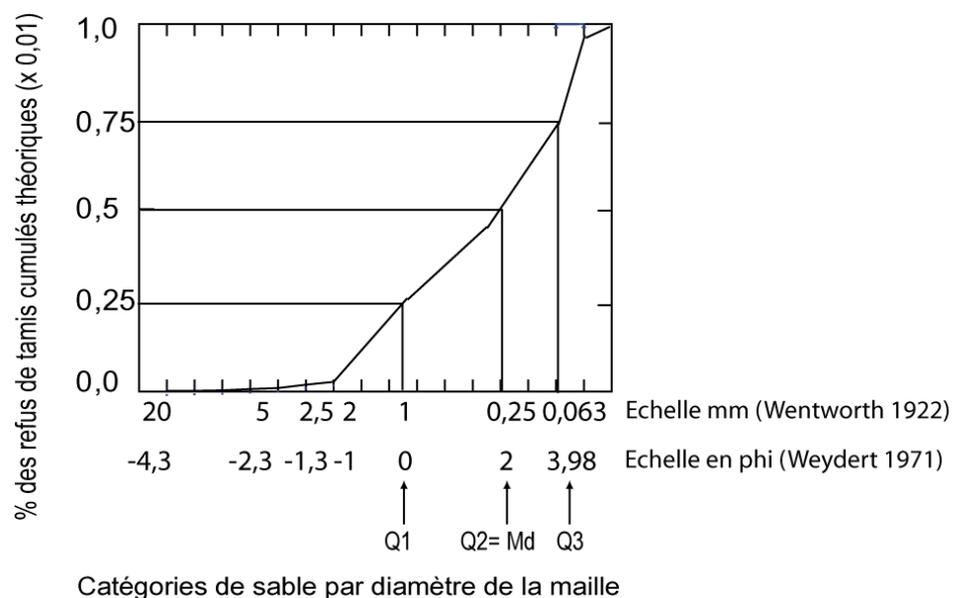


Figure 2: Exemple de distribution théorique des tailles de grains d'une carotte sédimentaire indiquant le pourcentage cumulé pour chaque diamètre de maille. Cette courbe permet d'obtenir les paramètres de positions Φ_x par simple lecture. Ainsi dans cet exemple le 1^{er} quartile (Q1), soit 25 % des refus cumulés ou Φ_{25} , correspond à la maille 1mm sur l'échelle de Wentworth (1922) ou 0 Φ sur l'échelle de Weydert (1971). Le 2^{ème} quartile (Q2), c'est-à-dire la médiane ou 50 % des refus cumulés ou Φ_{50} , correspond à la maille 0,25 mm sur l'échelle de Wentworth (1922), et 2 Φ sur l'échelle de Weydert (1971).

¹ Logiciel disponible gratuitement à <http://rsbweb.nih.gov/ij/>

Différents indices permettant de caractériser les résultats de chaque analyse granulométrique ont été ensuite calculés (Tableau 1) à l'aide des paramètres de positions Φ_5 , Φ_{16} , Φ_{25} , Φ_{50} , Φ_{75} , Φ_{84} et Φ_{95} obtenu pour chaque carotte. Pour ces calculs, l'échelle de Weydert en unité Φ (Weydert, 1971) a été utilisée.

Tableau 1 : Indices granulométriques et formules correspondantes

Catégorie d'indice	Type d'indice	Formule de calcul d'indice	Références
Indice central	Taille Moyenne	$Mz = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}) / 3$	Folk & Ward, 1957
Indice de dispersion	Classement	$D\Phi = (\Phi_{75} - \Phi_{25}) / 2$	Krumbein, 1936
	Triage	$\sigma_i = \{(\Phi_{84} - \Phi_{16}) / 4\} + \{(\Phi_{95} - \Phi_5) / 6,6\}$	Folk & Ward, 1957
Indice de forme	Asymétrie	$Ski = \{(\Phi_{84} + \Phi_{50}) / (\Phi_{84} - \Phi_{16})\} - \{(\Phi_{50} + \Phi_5) / (\Phi_{95} - \Phi_5)\}$	Warren, 1974
	Normalité	$Kg = (\Phi_{95} - \Phi_5) / \{2,44 (\Phi_{75} - \Phi_{25})\}$	Folk & Ward, 1957
	Facteur Hydrodynamique	$FH = Kg - D\Phi$	Weydert, 1971

L'indice central permet de classer les sédiments selon la nomenclature de Weydert (1971), en tant que graviers ($Mz < -2,32\Phi$), sables fins ($1\Phi < Mz < 2\Phi$) ou vases ($Mz > 3,98\Phi$). L'indice de dispersion σ_i peut indiquer l'influence de courants, par exemple les courants de marées. Les indices de forme indiquent la position des particules les plus abondantes par rapport au mode de la distribution. Les valeurs de Ski positives traduisent la dominance de grains grossiers, inversement les valeurs négatives indiquent que les particules fines dominant. Lorsque Kg prend des valeurs inférieures à 1,1, il indique une abondance de particules fines ou grossières. Les valeurs de FH , interprétées selon la nomenclature de Thomassin (1978), permettent d'estimer les conditions hydrodynamiques locales. Des valeurs de FH négatives correspondent à un faible hydrodynamisme où les matériaux sont difficilement remis en suspension. Des valeurs supérieures à 0,5 caractérisent un hydrodynamisme fort qui est défini par des sédiments en cours de transports.

Seule la fraction fine inférieure à $63 \mu\text{m}$ qui représente la partie « vases » a été utilisée pour doser la matière organique et la teneur en carbonates de calcium. En effet, seuls les éléments terrigènes inférieurs à $63 \mu\text{m}$ accèdent au lagon, ils ne peuvent donc être dosés que sur cette fraction. La quantité de matière organique a été dosée par perte par calcination. Chaque échantillon a été pré-séché à 150°C , puis placé pendant 16 heures dans un four à 375°C . La perte de masse après calcination correspond à la matière organique. Chaque masse de sol incinéré est rapporté à la quantité d'échantillon sec pesé sur une balance Explorer OHAUS E12145 (précision 0,1 mg). L'incertitude des résultats est de 5%.

Le taux de carbonates de calcium dans les sédiments a été déterminé par le calcimètre de Bernard selon la méthode de Bonneau & Souchier (1979). Des échantillons d'environ 0,1 g de sédiments ont été pesés à l'aide d'une balance Mettler AE 160 (précision 0,1mg) puis mis en contact avec 3 ml d'acide chlorhydrique. Le dégazement de gaz carbonique résultant de cette

réaction chimique a été mesuré après étalonnage de l'appareil au carbonate de calcium pur. L'incertitude relative sur les résultats, principalement due à l'imprécision de la lecture des graduations du calcimètre, est d'environ 0,25 ml soit 2 %.

2.3. *Variation temporelle des herbiers*

Au début de chaque mois, de octobre 2008 à juin 2009, neuf photographies sous-marines de quadrats 50 x 50 cm placés de manière aléatoire sur chaque site ont été effectuées (Figure 3a). En complément, trois estimations de la taille maximale des espèces de phanérogames présentes dans chaque quadrat ont été effectuées à l'aide d'une règle (Figure 3b). Pour chaque quadrat, un pourcentage de surface de sable nu a été estimé par comparaison avec des photographies calibrées de quadrat type allant de 1 à 100 % de surface de sable (Global seagrass Research Methods, Duarte & Kirkman, 2001).

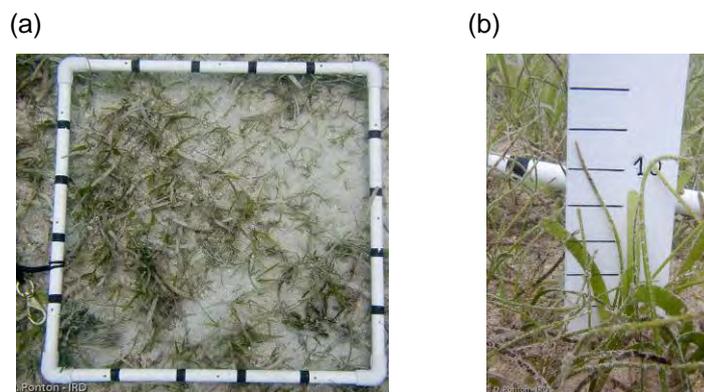


Figure 3: Photographies in situ d'un quadrat 50x50cm (a) et de la règle permettant de mesurer la hauteur des phanérogames (b)

2.4. *Assemblage de poissons*

Lors des sorties de février, mars et juin 2009, les poissons présents dans chaque herbier ont été identifiés et dénombrés par comptages visuels en différents points fixes choisis aléatoirement (Buckland et al., 2001). Trois périodes d'observation de cinq minutes ont été réalisées par un spécialiste (Gérard Mou-Tham).

2.5. *Analyses des données*

2.5.1. ACP

Des analyses en composantes principales (ACP) normées, ont été utilisées pour obtenir des représentations qui synthétisent et structurent l'information contenue dans les données multidimensionnelles recueillies. Cette analyse permet d'observer des regroupements et des différences en se basant sur le calcul des distances euclidiennes entre les n échantillons (carottes ou

transects) et des corrélations entre les p variables car les unités dans lesquelles les données sont exprimées sont différentes les unes des autres (Legendre et Legendre, 2000). Cette représentation d'un ensemble complexe de données est simplifiée en deux dimensions, dont les axes représentent les variables les plus structurantes de l'ensemble des données (Gower, 1967). Ces analyses ont été effectuées pour les échelles spatiales « inférieure à 1 m » et « 0,1-10 m » à l'aide du logiciel Systats 11.0 ® (Wilkinson, 1990).

2.5.1.1. Normalisation des données

Avant d'effectuer chaque ACP, les variables ont été transformées (Legendre & Legendre, 2000) afin qu'elles suivent une distribution de loi normale (Tableau 2). La normalité a été vérifiée par le test de Liliefors.

Tableau 2: Variables et transformation correspondante

Echelle <1m	Variable	Transformation
	Sk	Log (Sk +1)
	FH	$\sqrt{(FH+1)}$
	% Vases	Log (%Vases +1)
	Pds Fll	$\sqrt{(\text{Log} (\text{Pds Fll} +1))}$
Echelle 0,1-10m	Variable	Transformation
	Moy Kg	Log (Moy Kg +1)
	Max Mz	Log (Max Mz +1)
	Min % Vases	$\sqrt{(\text{Min \% Vases} +1)}$

2.5.1.2. Réduction du nombre de variables

La matrice de corrélation de l'ACP permet de réduire le nombre de variables en les résumant par un petit nombre de composantes synthétiques, tout en préservant au maximum la structure de base. Les variables dont le p de corrélation est le plus fort d'un groupe fortement corrélé ($p > 0,5$) ont été retenues. (Tableau 3).

Tableau 3: Variables retenues pour les ACP et variables corrélées. Avec : HO = *Halophila ovalis* ; HU = *Halodule uninervis* ; CS = *Cymodocea serrulata* ; SI = *Syringodium isoetifolium* ; Max = maximum ; Moy = moyenne ; Min = minimum ; L Fll = longueur de feuille ; l max = largeur maximale de feuille ; Pds Fll = Biomasse sèche foliaire ; Pds R² = Biomasse sèche (racines+rhizomes) ; Pds tot = masse totale en sédiments /carotte ; MO = % de matière organique ; CaCO₃ = % de carbonates de calcium ; % sable = % sable présent dans un quadrat ; Prfd max = Profondeur maximale sur site.

Échelles	Variables retenues ACP	Variables fortement corrélées à la variable retenue
Échelle <1m	Densité HU	Max L Fll HU, Moy L Fll HU, Min L Fll HU, Max l max HU, Moy l max HU, Min l max HU
	Max l max HO	Densité HO, Max L Fll HO, Moy L Fll HO, Min L Fll HO, Moy l max HO, Min l max HO
	Max L Fll SI	Densité SI, Moy L Fll SI, Min L Fll SI, Max l max SI, Moy l max SI, Min l max SI
	Max L Fll CS	Densité CS, Moy L Fll CS, Min L Fll CS, Max l max CS, Moy l max CS, Min l max CS
	Pds Fll	Pds R ² , Surface foliaire
	MO	Ski, Mz
	FH	% DΦ,
	CaCO ₃	% Sable, % vases, Si, Prfd max, Pds tot
Échelle 0,1-10m	Prfd max	Algues, CS, Corail, HO, HU, SI, Sable nu
	Moyenne CaCO ₃	Max CaCO ₃ , Min CaCO ₃
	Moyenne MO	Max MO, Min MO
	Moyenne Si	Max Si, Min Si
	Moyenne Ski	Max Ski, Min Ski
	Moyenne Sk	Max Sk, Min Sk
	Moyenne Mz	Max Mz, Min Mz
	Moyenne % Vases	Max % Vases, Min % Vases
	Moyenne FH	Max FH, Min FH, Max Kg, Moy Kg, Min Kg, Max DΦ, Moy DΦ, Min DΦ,

3. Résultats

3.1. Description des herbiers à l'échelle inférieure au mètre

3.1.1. Les sédiments

Les sédiments de tous les sites confondus sont homogènes par leur granulométrie et leur teneur en matière organique. Ils sont composés majoritairement de grains allant de « moyens » (entre 1 et 0,5 mm) à « sablons » (<63 µm). La fraction dominante sur l'ensemble des sites (n = 82) est celle du tamis de maille 0,25 mm, ce qui correspond à des sables très fins (Figure 5a). Les sédiments contiennent en moyenne 3,6 % de matière organique, le maximum étant obtenu pour Larégnère1 (% moy = 4,22 ± 1,1 %) et le minimum pour Larégnère2 (% moyen = 2,57 ± 0,1%). Une grande variabilité dans le pourcentage de matière organique est notée pour les sites Uéré, Larégnère1 et Amédée (Figure 5b et Annexe 6).

Les pourcentages moyens de vases sont pratiquement tous inférieurs à 10%, ce qui correspond à des sédiments faiblement envasés, et les valeurs moyennes varient de 4,04% ± 1,18 pour Larégnère2 à 0,48% ± 0,33 pour Larégnère1 (Figure 5c).

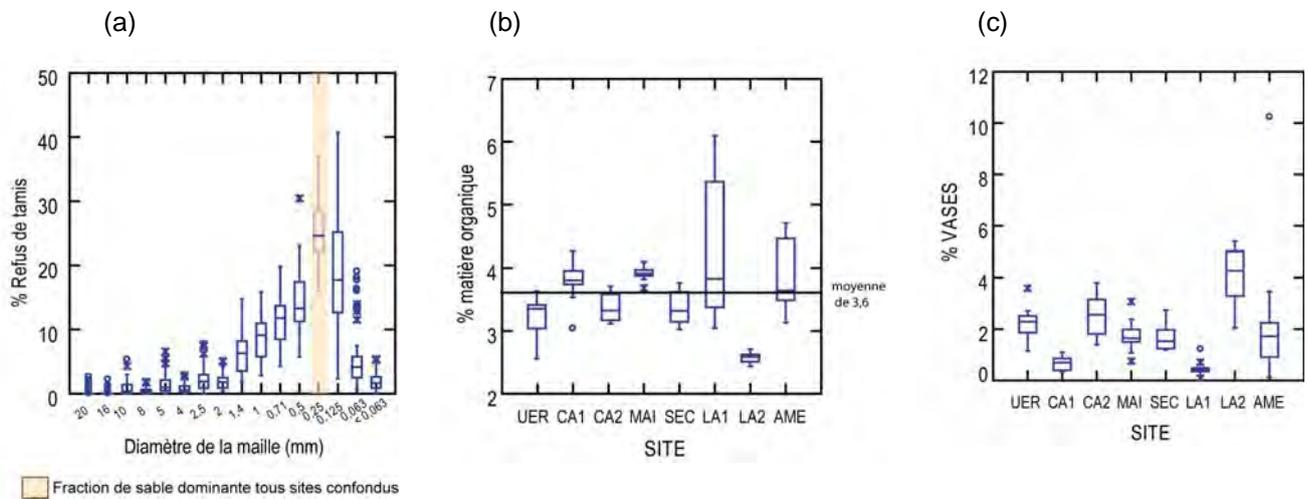


Figure 5: (a) Refus des tamis (en %) en fonction du diamètre des mailles en mm tous sites confondus ; (b) pourcentages de matière organique et (c) pourcentages en vases pour chacun des huit sites classés en fonction de l'éloignement des îlots par rapport à la côte.

De nombreux résultats des analyses sédimentaires présentent des variations suivant le gradient côte-large. Une décroissance de l'indice de tri est par exemple observée en fonction de l'éloignement à la côte. De même, l'indice de tri décroît avec l'éloignement de la côte, de $1,8 \pm 0,2$ pour Uéré à $1,2 \pm 0,2$ pour Amédée (Figure 6b).

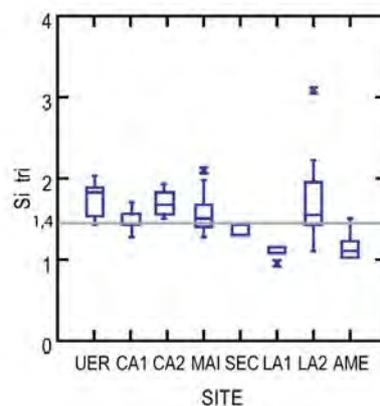


Figure 6: Indice de tri Si pour les différents sites classés en fonction de leur éloignement à la côte.

Une augmentation du pourcentage de carbonates de calcium (CaCO_3), de la taille moyenne des grains (Mz) ou encore du facteur hydrodynamique (FH) est aussi observée en fonction de la distance à la côte. Le taux de CaCO_3 contenu dans les sédiments est très élevé (moyenne = 87,8 %) et varie de Uéré ($70,9 \pm 5,5$ %) qui est proche du littoral et où les sédiments sont donc considérés comme « carbonatés impurs », à Amédée ($97,3 \pm 3,1$ %) situé à proximité de la barrière récifale où les sédiments sont caractérisés comme « carbonatés purs » (Figure 7a et Annexe 6).

Une augmentation similaire de l'indice central Mz exprimé en unité Φ est observée et correspond à une diminution de la taille moyenne des grains en mm de Canard1 (Mz moyen = $0,75 \pm 0,04$ mm) à Larégnère2 (Mz = $0,21 \pm 0,08$ mm). Seul Amédée avec une taille de grains moyenne élevée ($0,45 \pm 0,08$ mm), et Uéré avec un Mz moyen faible ($0,30 \pm 0,09$ mm) sont à part, compte tenu de leurs localisations respectives (Figure 7b et Annexe 6). Enfin le facteur hydrodynamique (FH) est maximal pour Larégnère2 (FH moyen = 0,64), et négatif pour Uéré, Canard2 et Sèche-Croissant. Il présente néanmoins de très grandes variations intrasites (Figure 7c et Annexe 6).

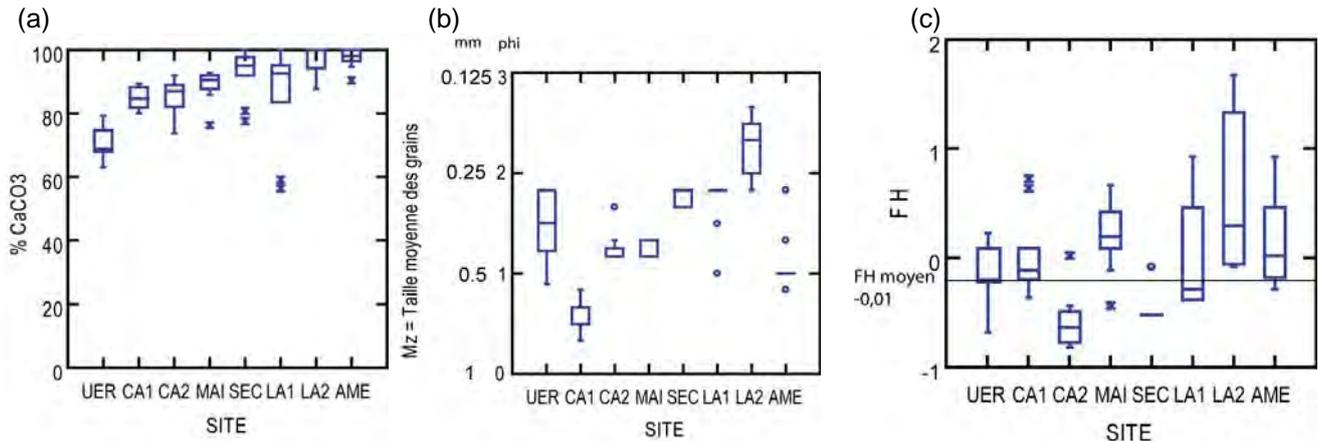


Figure 7: Pourcentage de CaCO₃ (a), taille moyenne des grains (Mz) (b) et facteur hydrodynamique (FH) (c) pour les différents sites classés en fonction de leur éloignement à la côte.

3.1.2. Les phanérogames

Sur les huit sites étudiés, quatre espèces de phanérogames sur les 11 connues en Nouvelle-Calédonie ont été observées : *Halophila ovalis* à feuilles ovales, *Syringodium isoetifolium* à feuilles cylindriques, *Cymodocea serrulata* et *Halodule uninervis* à feuilles longues et plates (Annexe 7).

Comme pour les sédiments, plusieurs paramètres liés aux végétaux varient selon un gradient côte-large. Ainsi le nombre d'espèces de phanérogames augmente avec l'éloignement à la côte, passant de deux pour Uéré et Canard2 à quatre pour Maître, Larégnère1, Larégnère2 et Amédée. Les espèces *Cymodocea serrulata* et *Halodule uninervis* sont présentes sur les huit sites, cette dernière montrant une plus forte occurrence avec l'éloignement à la côte. *Halophila ovalis* et *Syringodium isoetifolium* ne sont présentes que sur les sites éloignés de la côte. La densité de phanérogames par mètre carré varie également en fonction de la distance à la côte, de Uéré (1 568 pieds.m⁻²) à Amédée (6 113 pieds.m⁻²). Une grande variabilité intrasite est observée à Maître, Larégnère1 et Amédée (Figure 9a et Annexe 6).

Le nombre maximal de feuilles par pied, toutes espèces confondues, est observé pour les sites Amédée, Canard2 et Larégnère1, ce paramètre étant corrélé à la densité des phanérogames (Annexe 6).

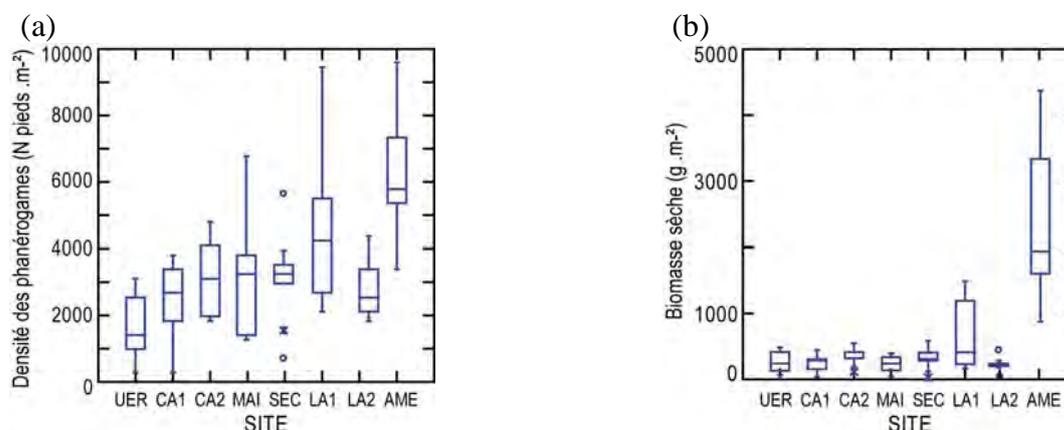


Figure 9: Densités de phanérogames (a) et biomasse sèche (feuilles + racines-rhizomes) (b) pour les différents sites classés en fonction de leur éloignement à la côte.

Les valeurs de biomasse sèche présentent une grande variabilité et pas de réelle relation avec la distance à la côte mais sont fortement liées aux longueurs de feuilles mesurées. La biomasse sèche (feuilles + racines-rhizomes) moyenne est nettement plus élevée à Amédée ($2\,348 \pm 1\,186 \text{ g.m}^{-2}$) (Figure 9b) où beaucoup de jeunes pousses ont été observées mais également où les hauteurs maximales de feuilles présentent la plus grande homogénéité. Larégnère1 présente de fortes valeurs de biomasse sèche dues à une masse élevée de la faction racine-rhizome, supérieur de neuf fois celui des feuilles (Annexe 6). C'est principalement des jeunes pousses de petites tailles qui ont été mesurées, toutes espèces confondues (Annexe 8).

3.1.3. ACP à l'échelle inférieure au mètre

Les deux premiers axes de l'ACP effectuée avec les 11 variables conservées sur 43 expliquent respectivement 29,5 et 17,9 % de la variance totale. Les variables qui contribuent le plus à expliquer la dispersion des données sur l'axe 1 sont, par ordre d'importance décroissant, la largeur des feuilles de l'espèce *Halophila ovalis* ($\text{MaxlmaxHO} = 0,430$), la teneur en CaCO_3 ($0,401$) et la longueur des feuilles de l'espèce *Cymodocea serrulata* ($\text{MaxLFllCS} = -0,385$). Sur l'axe 2, les variables présentant les plus fortes contributions sont la biomasse sèche foliaire ($\text{Pds Fll} = 0,555$) et le pourcentage de sable observé par quadrat ($\% \text{ sable} = -0,551$) (Figure 10b).

La projection des observations sur le plan 1-2 ne permet pas de différencier nettement les sites d'étude entre eux (Figure 10a), la variabilité intra-site étant très importante sauf à Amédée. Les sites se répartissent suivant un gradient côte-large le long de l'axe 1. En effet, plus les sites sont éloignés de la côte, plus ils présentent un taux élevé de CaCO_3 , une présence importante de

Syringodium isoetifolium (influençant fortement la biomasse sèche foliaire), de *Halophila ovalis* et par une baisse de la présence de *Cymodocea serrulata*.

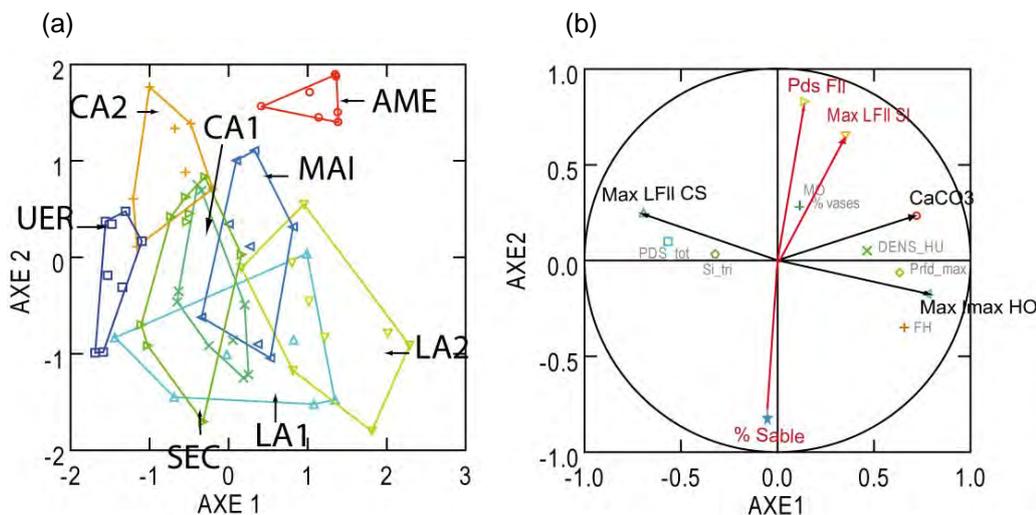


Figure 10: Projection des échantillons dans l'espace factoriel 1-2 de l'ACP, chaque point correspondant à une carotte et les contours regroupant les observations par sites d'étude (a). Cercles des corrélations entre variables (b). Avec : HO = *Halophila ovalis* ; CS = *Cymodocea serrulata* ; SI = *Syringodium isoetifolium* ; Dens_HU = nombre moyen de pieds de *Halodule uninervis* par carotte ; Max = maximum ; Moy = moyenne ; Min = minimum ; LFII = longueur de feuille ; lmax = largeur maximale de feuille ; Pds Fil = Biomasse sèche foliaire ; Pds R² = Biomasse sèche (racines+rhizome) ; Pds tot = poids total en sédiments /carotte ; MO = % de matière organique ; CaCO₃ = % de carbonates de calcium ; % sable = % sable présent dans un quadrat ; Prfd max = Profondeur maximale sur site.

3.2. Description des herbiers à l'échelle 1-10 mètres

3.2.1. Les phanérogames, algues et coraux

Cette plus grande échelle a permis d'observer sur certains sites des espèces qui étaient absentes à l'échelle inférieure. Par exemple l'espèce *Halophila ovalis*, observée en très faible nombre à Canard1 et Sèche-Croissant, et l'espèce *Syringodium isoetifolium*, présente en grand nombre à Canard2 et en plus petit nombre à Uéré.

Tout comme pour l'échelle inférieure à 1m, l'abondance en espèces de phanérogames, d'algues ou de coraux mesurée présente des variations suivant un gradient côte-large. Une tendance à la diminution de l'abondance des algues (de 88 ± 114 à 24 ± 25), de l'espèce *Cymodocea serrulata* (de 271 ± 48 à 71 ± 24) et du sable nu (de 436 ± 65 à 221 ± 50) est observée d'Uéré à Amédée (Figure 11a, b et c). Cette dernière catégorie reflète la densité relative de l'herbier (ne prenant pas en compte les algues et coraux) qui est élevée à Canard2 (295 ± 88 de cm de sable) et Amédée et faible à Uéré (573 ± 168 cm de sable avec une grande variabilité) et Larègnère1 (628 ± 44 cm de sable).

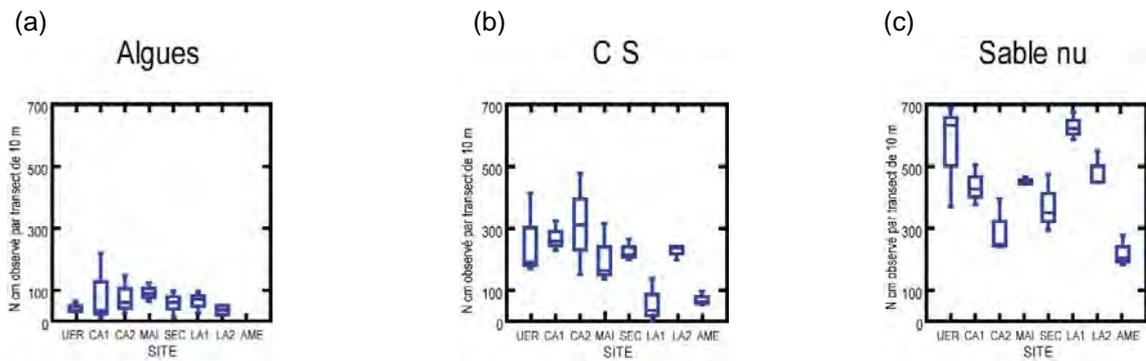


Figure 11: Abondance en cm observés par transect de 10m d'algues (a), de *Cymodocea serrulata* (b) et du sable nu (c) pour les différents sites classés en fonction de leur éloignement à la côte.

Une tendance à l'augmentation de l'abondance d'*Halophila ovalis* et *Halodule uninervis* est aussi observée pour les sites éloignés à la côte (Figure 12a et b), les abondances absolues (mesurées en cm) observées pour cette dernière étant maximales à Sèche-Croissant (334 ± 71), puis Amédée (242 ± 6).

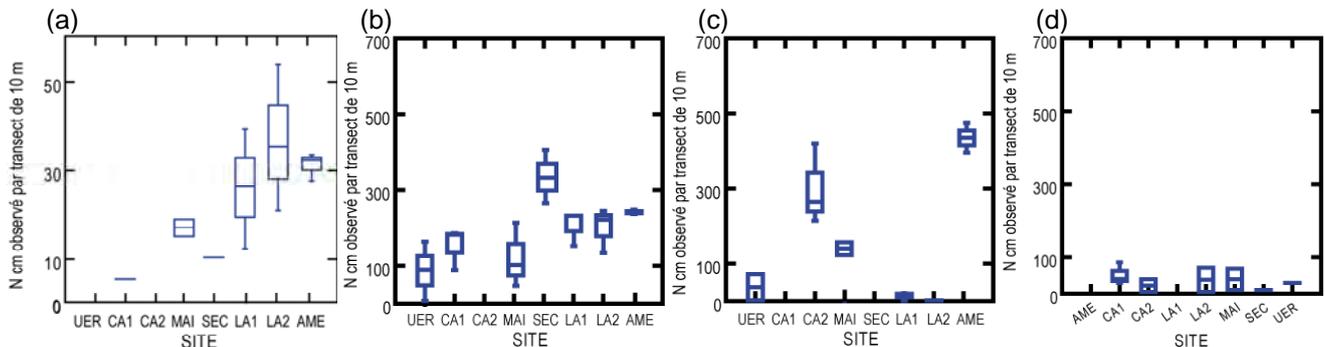


Figure 12: Abondance en cm observés par transect de 10m de *Halophila ovalis* (a), de *Halodule uninervis* (b), de *Syringodium isoetifolium* (c) et de coraux (d) pour les différents sites classés en fonction de leur éloignement à la côte.

Les abondances de *Syringodium isoetifolium* (Figure 12c) et celles des coraux (Figure 12d) ne montrent aucune relation avec la distance à la côte. Cette phanérogame est beaucoup plus abondante aux sites Canard2 (299 ± 107 cm observés) et Amédée (435 ± 40 cm observés), sites présentant la plus grande densité de phanérogames alors qu'elle est absente à Canard1, Sèche-Croissant et Larégnère2 (Figure 12c). Les coraux sont plus abondants à Canard1 (52 ± 30 cm observés) et Maître (27 ± 37 cm observés, Figure 12d).

3.2.2. ACP à l'échelle 0,1 à 10 mètres

Les deux premiers axes de l'ACP effectuée avec les 17 variables conservées sur 39, expliquent respectivement 27,5 et 20,6 % de la variance totale. Les variables qui contribuent le plus à expliquer la dispersion des données le long de l'axe 1 sont, par ordre d'importance décroissant, l'abondance de *Halophila ovalis* ($HO = 0,442$), la teneur moyenne en $CaCO_3$ ($CaCO_{3moy} = 0,414$) et l'abondance de *Halodule uninervis* ($HU = 0,358$). Sur l'axe 2, les variables présentant les plus

fortes contributions sont la teneur moyenne en matière organique (MoyMO = -0,495) et le pourcentage de vases moyen observé (% vases = 0,495, Figure 13b).

La projection des observations sur le plan 1-2 montre des différences nettes entre chacun des sites étudiés sauf Maître et Sèche-Croissant (Figure 13a). La variabilité intrasite est peu importante en raison du faible nombre d'échantillons par site (N=3). Les variables utilisées permettent d'observer le long de l'axe 1 une succession des sites suivant la distance à la côte. Les sites Larégnère1 et 2 et Amédée apparaissent ainsi très distincts des autres sites. Les sites les plus éloignés de la côte sont caractérisés par un taux élevé de CaCO₃, des fortes abondances d'*Halophila ovalis* et d'*Halodule uninervis* et une diminution de l'abondance des algues.

Le long de l'axe 2, les sites Larégnère1 et 2 sont bien séparés. Cet axe est représentatif du pourcentage de vases moyen obtenu opposé à la teneur en matière organique de ces mêmes sédiments. En résumé, plus ils y a de vases qui se déposent sur un site, plus la part de sédiments terrigène ou carbonatés augmente, ce qui entraîne une diminution du pourcentage de matière organique provenant probablement en partie de la décomposition des feuilles des phanérogames.

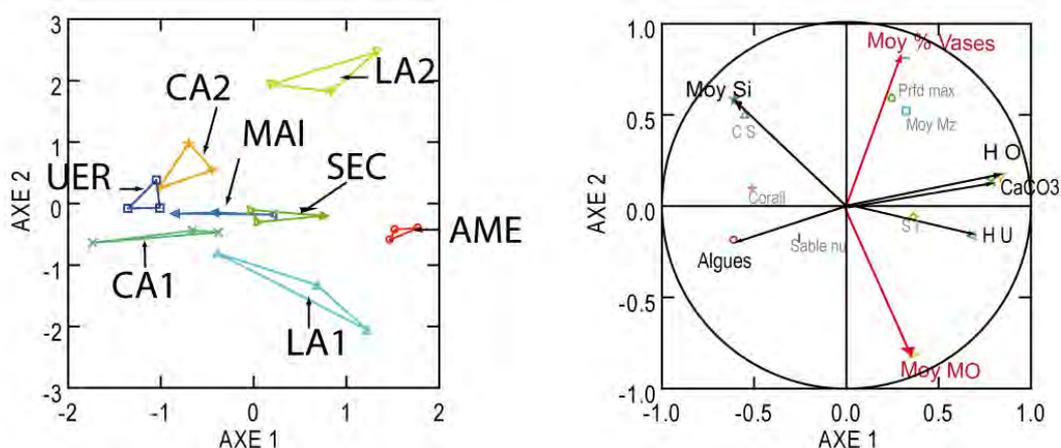


Figure 13: Projection des échantillons dans l'espace factoriel 1-2 de l'ACP chaque point correspondant à un transect et les contours regroupent les observations par sites d'étude (a) et cercle des corrélations entre variables (b).

Sur ce premier plan factoriel, il est possible de différencier quatre groupes de sites, le premier correspondant à Amédée, le second correspondant à Larégnère2, le troisième à Larégnère1 et le quatrième regroupant Canard1 et 2, Uéré, Maître et Sèche-Croissant.

3.3. Description des herbiers aux échelles supérieure à 10 mètres

3.3.1. Les phanérogames, algues, coraux et sable nu

Pour les échelles supérieures à 10 m, les paramètres étudiés ne varient pratiquement pas en fonction du gradient côte-large, seule l'abondance de l'espèce *Cymodocea serrulata* semble diminuer avec la distance à la côte (Annexe 9). Les résultats à ces deux échelles sont similaires, l'échelle supérieure à 50m montrant en plus une grande variabilité des résultats obtenus pour toutes

les variables et à chaque site. On notera la présence à l'échelle supérieure à 50m de corail, d'*Halophila ovalis* et de *Syringodium isoetifolium* pour certains sites comme Uéré, Canard1 et Sèche-Croissant, alors qu'ils n'avaient pas été observés à des échelles plus petites.

3.3.2. Les invertébrés

Le nombre de catégories d'invertébrés diminue avec la distance à la côte, ainsi que l'occurrence des algues, des holothuroides et des cnidaires. Au total, 29 catégories d'éléments biotiques composant le paysage sous marins ont pu être identifiées, le maximum (16) ayant été relevé à Canard2 et Uéré et le minimum (8) à Amédé (Figure 14a). Les algues sont la catégorie la plus fréquemment observée, avec un nombre d'observations qui décroît de Uéré (111 occurrences) à Amédé (18), Canard 2 se distinguant par seulement 47 occurrences alors que ce site est à une faible distance à la côte (Figure 14b). Les holothuroides sont observés en grand nombre sur les sites proche de la côte, en particulier à Canard2 (70 occurrences, Figure 14c).

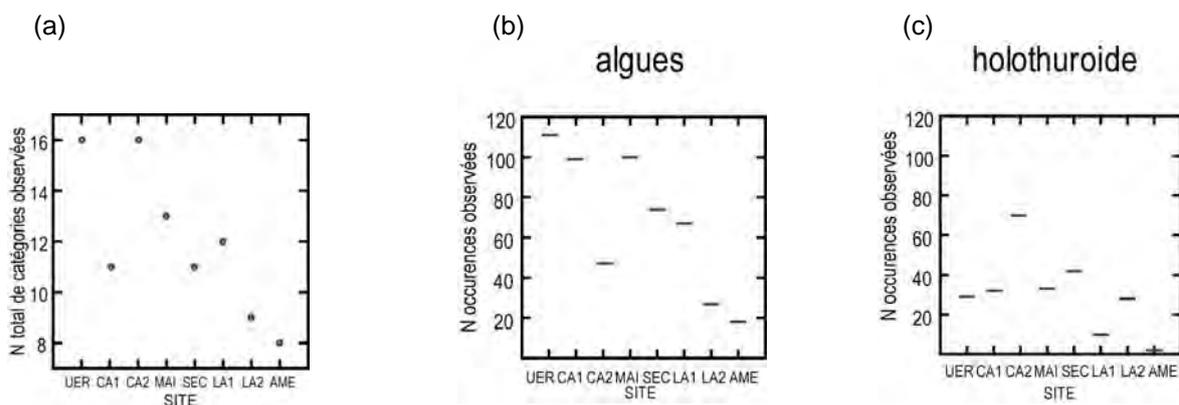


Figure 14 : Nombre total de catégories observées (a), nombre d'occurrence des algues (b) et des holothuroides (c) pour les différents sites classés en fonction de leur éloignement à la côte.

La catégorie « cnidaires » est fréquemment observée sur les sites de Maître et Larégnère2 avec respectivement 100 et 94 occurrences et décroît pour les autres sites. Les spongiaires sont présents sur les mêmes sites que les cnidaires mais leur occurrence ne présente pas de relation avec la distance à la côte. De même, les mollusques sont présents en grand nombre à Uéré et Larégnère1 et les individus de grandes tailles, telles que tortues et raies (deux espèces différentes pour chaque catégorie), n'ont été observées que pour les sites de Maître et Larégnère1.

3.3.3. Les poissons

Au total, 95 espèces de poissons ont été observées sur les huit sites étudiés, dont 47 sont représentées par moins de cinq individus par site (Annexe 10). Seulement deux espèces sont communes aux huit sites : *Lethrinus variegatus* et *Dascyllus aruanus*. Le nombre d'espèces observées par site augmente avec la distance à la côte, de 18 à Uéré jusqu'à 46 à Amédée

(Tableau 6). Les *Pomacentridae*, ainsi que les genres *Lethrinus* et *Siganus*, sont les principaux représentants de ces individus observés, tous sites confondus. D'autres poissons sont parfois présents en grande quantité sur un site en particulier comme les *Mullidae* à Sèche-Croissant, les *Labridae* et *Scaridae* pour le site Amédé et les *Apogonidae* observée exclusivement à Uéré.

Le nombre d'individus observés ne semble pas être en relation avec la richesse spécifique des sites, le nombre maximal atteint étant pour Canard2 8 950 individus observés contre un minimum de 86 à Uéré.

Tableau 6: Nombres d'espèces de poissons et d'individus observés sur chacun des huit sites étudiés en de février, mars et juin 2009.

Site	UER	CA1	CA2	MAI	SEC	LA1	LA2	AME
N espèces observées	18	27	20	35	34	36	42	46
N individus observés	86	386	8 950	650	1 191	429	319	487

3.3.4. Comparaison des échelles pour les groupes de site obtenus par l'ACP

Suite aux ACP aux deux plus petites échelles spatiales, des regroupements de sites ont été effectués. Les quatre axes étant représentés quasiment par les mêmes variables, les groupes de sites diffèrent principalement par le pourcentage de CaCO_3 et les proportions de *Halophila ovalis* et de *Cymodocea serrulata*, tous trois fortement liés à la distance à Nouméa, le taux de matière organique lié négativement au pourcentage de vase, ou encore la proportion de différentes espèces de phanérogames, de coraux ou d'algues.

Une comparaison des caractéristiques de ces groupes de sites suivant les échelles de description met en évidence de grandes variabilités intrasites pour les données recueillies à l'échelle inférieure au mètre (échelle 1, Figure 15), l'étendue de ces données étant supérieure ou égale à celle des autres échelles. Les valeurs enregistrées à l'échelle 1-10 m (échelle 2) sont généralement très similaires à celles obtenues à l'échelle 1, ce qui est normal vu leurs positions spatiales respectives. L'échelle supérieure à 50m (échelle 4) permet d'observer des espèces que l'on ne voit pas aux échelles inférieures et tout comme l'échelle 1, permet de mettre en évidence la grande hétérogénéité intra et intersites.

En général, une diminution des espèces de phanérogames est observée entre les échelles 1 à 3 et la 4^{ème}. Cette diminution correspond au moment où, dans le parcours aléatoire, les relevés ont été effectués en limite ou à l'extérieur de l'herbier, et où donc les pourcentages de sable et/ou d'algues peuvent fortement augmenter.

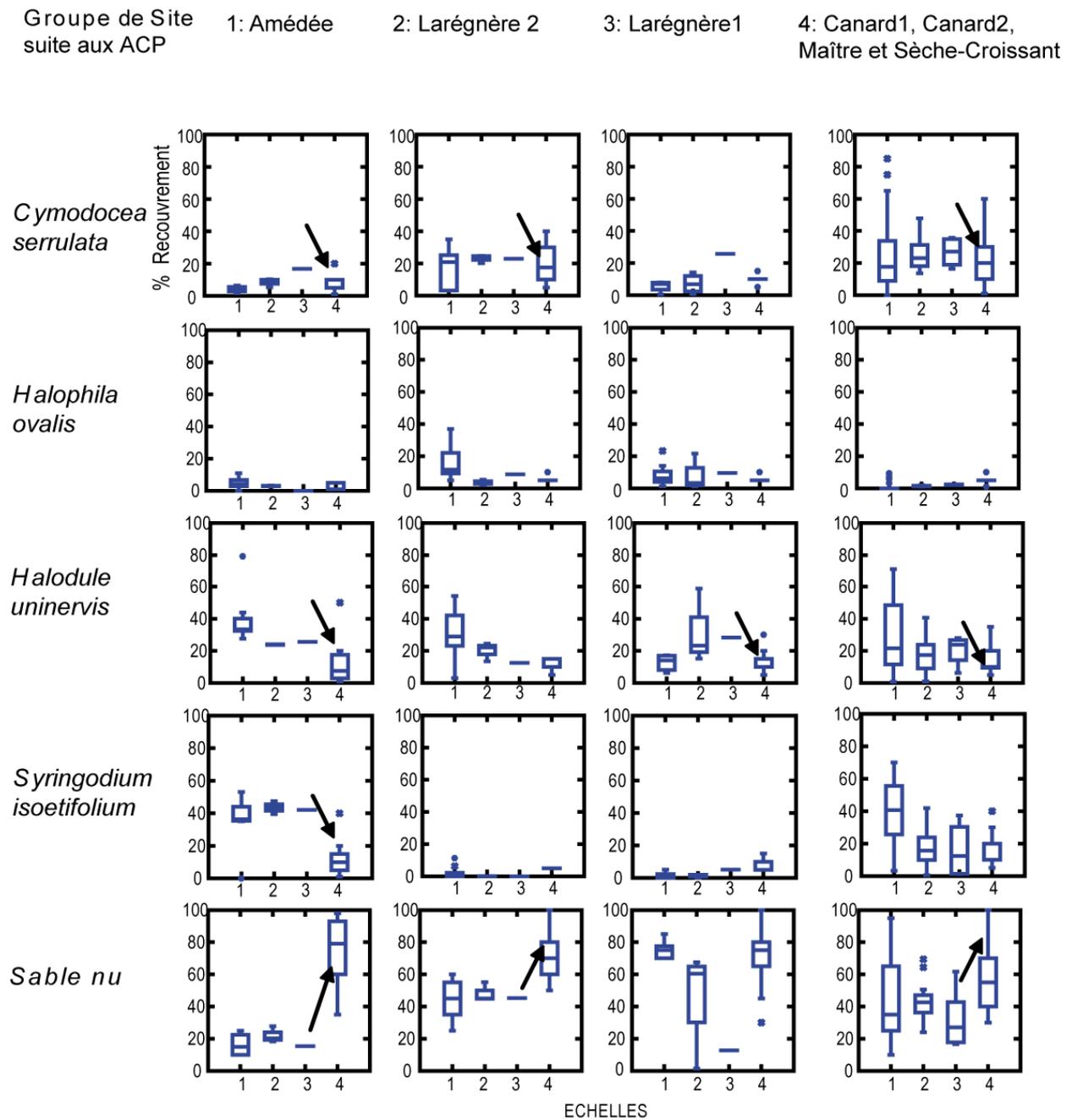


Figure 15: Pourcentages de recouvrement des quatre espèces de phanérogames et de la catégorie « sable nu » observés pour les groupes de sites définis à partir des ACP et aux quatre échelles d'observation : <1m= échelle 1, 0,1-10m= échelle 2, 1-50m= échelle 3 et >50m= échelle 4. Les flèches indiquent le sens de variation du pourcentage de recouvrement entre les échelles 1, 2 et 3 et l'échelle 4.

Les groupes de sites constitués à partir des ACP se différencient bien les uns des autres par le pourcentage de recouvrement des espèces de phanérogames. Le pourcentage de recouvrement d'*Halodule uninervis* différencie les groupes 1, 2 et 3 et celui de *Cymodocea serrulata* caractérise le site Larégnère2. De même le pourcentage d'*Halophila ovalis* sépare les trois premiers groupes du quatrième tout comme le pourcentage de *Syringodium isoetifolium* qui en plus isole le site Amédée. Les groupes définis par les ACP semblent se retrouver aux quatre échelles étudiées malgré la grande variabilité observée pour le groupe 4.

3.4. Variations temporelles des herbiers

La surface de recouvrement des phanérogames présente des variations dans le temps sauf à Uéré où cette saisonnalité n'est pas observée (Figure 16). Une période de maximum de recouvrement est observée aux environs du mois de février, suivi d'une phase de déclin. Une augmentation de la variabilité des pourcentages de recouvrement par le sable est également observée au cours du temps. Pour des sites plutôt denses en phanérogames que sont Amédé, Canard2 et Maître, un éclaircissement de certaines zones dû à une baisse du nombre de pieds de phanérogames et donc à une augmentation de la surface de sable nu est observé au cours du temps.

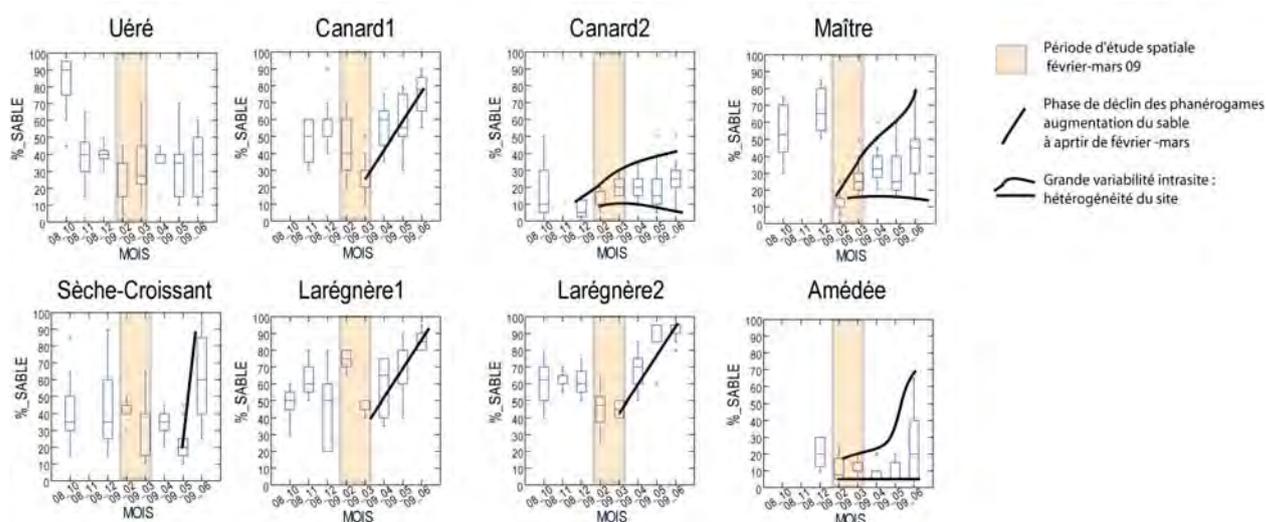


Figure 16: Pourcentage de sable pour les huit sites étudiés d'octobre 2008 à juin 2009

Les hauteurs du feuillage des phanérogames varient peu au cours du temps (Annexe 11). Une augmentation de la taille maximale de *Syringodium isoetifolium* est observée de février à avril-mai 2009 pour les sites Amédé, Canard2 et Larègnère1 alors que pour *Halodule uninervis*, une augmentation de hauteur, faible, n'est visible que pour quatre des huit sites étudiés (Amédé, Canard1, Canard2 et Sèche-croissant). Les hauteurs de canopée de *Cymodocea serrulata* et *Halophila ovalis* sont globalement très stables pour tous les sites. Le renouvellement par les jeunes pousses est également observable à travers la gamme importante des mesures qui peuvent s'étendre de 2 à 20 cm par exemple pour *Halodule uninervis* sur le site Amédé. Pour *Syringodium isoetifolium*, chez qui les feuilles poussent sans se renouveler, les hauteurs varient seulement de 15 à 30 cm en mai 09 sur ce même site. La période durant laquelle la caractérisation des herbiers a été effectuée se situe en fin d'été pour l'hémisphère sud. C'est une période durant laquelle les plantes étudiées sont au maximum de leur densité dans des herbiers relativement homogènes et où certaines espèces de plantes sont en pleine croissance sur certains sites. A partir de ces premiers résultats, il semble que c'est la densité de plante qui fluctue au cours des saisons plutôt que la hauteur des feuilles.

4. Discussion

Certaines caractéristiques des herbiers étudiés correspondent à celles que l'on peut trouver dans la littérature aussi bien pour les herbiers intertidaux que subtidaux. Les phanérogames marines peuvent occuper différents types de substrat, de vaseux à rocheux, suivant les espèces (Hemminga & Duarte, 2000). Certaines espèces, comme celles du genre *Phyllospadix*, ne se développent que sur des rochers (Den Hartog, 1970). Mais la plupart des herbiers se développent sur un substrat sableux à sablo-vaseux (Hemminga & Duarte, 2000 ; McKenzie, 2007). Plusieurs études ont montré que les caractéristiques des sédiments jouent un rôle dans la croissance des rhizomes, la germination, la survie et donc la distribution des espèces (Short, 1987 ; Barko et al., 1991 ; Terrados et al., 1998 ; Halun et al., 2002 ; Bradley & Stolt, 2005 ; van Katwijk and Wijgergangs, 2004). Dans le cas des sites étudiés, le substrat est toujours meuble et va du sédiment sablo-vaseux à sableux, ce qui correspond aux exigences des quatre espèces de phanérogames observées (IFRECOR, 2005; Annexe 7). Ces sédiments contiennent de la matière organique qui est un élément important pour les herbiers car elle augmente de manière significative la capacité d'échange cationique du sédiment et retient les nutriments assimilables par les plantes (Hemminga & Duarte, 2000). Cette matière organique est un réservoir de nutriments lentement assimilables mais elle peut, si elle est trop abondante, causer la mort des phanérogames par un développement de l'activité bactérienne qui provoque une accumulation de phytotoxines (McKenzie, 2007). Concernant le taux de matière organique moyen des sédiments analysés, il est homogène et faible, en moyenne de 3,5 %, ce qui correspond aux valeurs généralement observées pour d'autres herbiers (Hemminga & Duarte, 2000). Cette teneur en matière organique peut varier en fonction de la présence de phanérogames qui l'augmentent non seulement par leur détritiques mais aussi en favorisant le dépôt des particules en suspension (Duarte et al., 1999 ; Garcia et al. 1999).

Les herbiers considérés dans cette étude sont mixtes, comme souvent en milieu tropical (Hemminga & Duarte, 2000; Waycott et al., 2004 ; Hori et al., 2009), et au total quatre espèces de phanérogames y coexistent. De manière générale, les herbiers sont constitués de une à sept espèces de phanérogames, ce chiffre variant selon la latitude et différents paramètres environnementaux. À la latitude de la Nouvelle-Calédonie (22° S), le nombre d'espèces observées est le double de ce qui peut être prédit à partir des données de la littérature (Hemminga & Duarte, 2000), mais ce chiffre correspond au nombre d'espèces qui sont généralement associées aux sédiments comptant moins de 4 % de vase (Terrados et al., 1997). Les quatre espèces identifiées lors de cette étude sont les mêmes que celles observées par Scamps (2005) dans la partie infralittorale du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. Contrairement à ce qui avait été avancé par cet auteur, la présente étude a mis

en évidence des herbiers au-delà de sept mètres de profondeur puisque des herbiers mixtes diffus ont été observés jusqu'à environ 11 mètres à Larégnère et Amédé. Cette différence indique les limites, en termes de profondeur, de la méthode utilisée par Scamps (2005) pour cartographier les herbiers subtidiaux, l'effet de la bathymétrie sur les signatures spectrales détectées par télédétection optique n'étant toujours pas résolu. Concernant les espèces de phanérogames observées, les mesures de longueur et largeur maximale des feuilles de *Halophila ovalis* et de *Syringodium isoetifolium* correspondent à celles mentionnées dans la littérature pour les herbiers tropicaux de l'ouest de l'Indo-Pacifique (Waycott et al., 2004), de la Grande Barrière australienne (Lanyon, 1986) et de Nouvelle-Calédonie (IFRECOR, 2005). Néanmoins, ces deux espèces présentent respectivement les valeurs les plus petites et les plus grandes de la littérature. Concernant *Cymodocea serrulata* et *Halodule uninervis*, les valeurs obtenues au cours de l'étude sont toujours supérieures à celles observées ailleurs dans le monde. La biomasse ou la densité des herbiers étant liées aux espèces de phanérogames les composant, à la morphologie de leurs feuilles et de leur système racinaire, il est difficile de comparer les résultats obtenus dans le cadre de cette étude avec ceux des études faites sur des herbiers européens principalement monospécifiques (Garcia et al., 1999 ; Auby & Trut, 2008), ou avec des plantes très différentes ailleurs dans le monde (Duarte & Chiscano, 1999). Enfin, des variations saisonnières de la surface de recouvrement par les végétaux ont été observées dans cette présente étude contrairement à ce qui est attendu sous les tropiques, du fait des variations de luminosité et de température moins prononcées au cours de l'année (Hemminga & Duarte, 2000).

De nombreuses variables étudiées au cours de cette étude montrent des différences importantes entre sites. Ainsi des différences plus importantes entre deux sites d'un même îlot (ceux de Canard et de Larégnère), qu'entre deux sites très éloignés, ont pu être observées pour la composition floristique, la densité de plantes, ou encore pour le nombre de poissons observés par site. Ces différences à l'échelle du site d'étude peuvent être en partie expliquées pour l'île aux Canards par le facteur d'hydrodynamisme (FH calculé) qui diffère fortement entre les deux herbiers. L'hydrodynamisme est un paramètre très important pour l'installation et le développement des herbiers marins car il contrôle la présence et la proportion des particules sédimentaires de différentes tailles (Chevillon, 1992). Ainsi, les herbiers de Nouvelle-Calédonie ne sont pas disposés uniformément tout autour des îlots, mais plutôt à l'opposé de la direction des vents dominants que sont les alizées (Gabrié et al., 2005). Concernant l'îlot Larégnère, les deux sites se différencient par la teneur en matière organique, en vase et la densité de plantes. Comme ces sites diffèrent aussi par leur profondeur (5 m en moyenne pour l'un et 9,5 m pour l'autre), il est possible que la disponibilité en lumière joue un rôle important (Dennison & Alberte, 1986 ; Duarte, 1991 ; Lee et al., 2007). Il serait ainsi intéressant de vérifier si les différences observées entre ces deux sites sont plutôt dues à l'hydrodynamisme ou bien à la profondeur.

De nombreux paramètres étudiés au cours de cette étude montrent également une variation en relation avec la distance à la côte. Ces paramètres sont la teneur en carbonates de calcium, en vase, la densité de phanérogames, ou encore le nombre d'espèces d'invertébrés épigés observés. La comparaison des données obtenues au cours de cette étude avec celles de la littérature mondiale est difficile car les études portant sur l'influence de la distance à la côte ont souvent été effectuées dans des environnements présentant aussi un gradient de profondeur (Carruthers & Walker, 1999 ; Kendrick et al., 1999). Cependant, il est possible de comparer avec d'autres études effectuées en Nouvelle-Calédonie. Les fonds meubles du lagon de Nouvelle-Calédonie sont constitués de sédiments ayant deux origines : les apports terrigènes de la Grande-Terre dus à l'érosion par les pluies, et la dégradation des récifs coralliens qui subissent l'agression de la houle et une érosion biologique. Deux gradients sédimentaires inverses sont ainsi observés : une diminution de la barrière vers la côte des sédiments carbonatés, qui s'observe dans les taux de CaCO_3 ; et une diminution de la côte vers le récif des sédiments terrigènes silicatés, qui se retrouve dans les taux de vase (Chevillon, 1992 ; Clavier, 1995). Superposées à ces gradients, des variations intersites peuvent également être observées. Celles-ci sont liées à la faune associée, en particulier la macrofaune benthique constituée d'individus fouisseurs ou filtreurs qui sont généralement de grands modificateurs du milieu à travers divers processus de broutage, de remaniement des sédiments ou de recyclage des nutriments (Eklöf et al., 2008 ; Honkoop et al., 2008). Ce lien entre invertébrés et sédiments peut en partie expliquer la relation qui a pu être mise en évidence dans la présente étude entre la proportion de vase et la quantité d'holothuroides, les deux diminuant avec la distance à la côte. L'hypothèse que les holothuries observées préfèrent un milieu vaseux pour se nourrir en filtrant cette vase peut être avancée. En Nouvelle-Calédonie, il existe très peu de données concernant les communautés de macro-invertébrés benthiques associées aux herbiers et les informations disponibles relèvent majoritairement de programmes de recherches généraux (Richer de Forges, 1991 ; Clavier, 1995) ou d'études très localisée (Conand, 1988 ; Goiran, 1990 ; Lefort, 1991).

La structure tridimensionnelle des herbiers, d'autant plus importante que les herbiers sont mixtes, est une caractéristique importante de ces écosystèmes par les bénéfices qu'elle apporte aux communautés d'invertébrés mais surtout aux poissons associés (Hori et al., 2009), tels que la création de différents micro-habitats très variés. Ainsi, les différences intersites observées pour de nombreuses variables environnementales influençant la structure de l'herbier, celles-ci peuvent également expliquer en partie la répartition du nombre de poissons, ou du nombre d'espèce de poissons du lagon, en fonction de la distance à la côte (Hori et al., 2009). De plus, les herbiers des îlots du lagon de Nouvelle-Calédonie jouent un rôle important pour la croissance, souvent liée à la survie, des juvéniles de poissons comme Labridae, Lethrinidae, Mullidae et Siganidae

(Mellin, 2007). Des travaux exploratoires ont montré que les juvéniles d'une même espèce pouvaient présenter des différences de croissance entre herbiers distants de quelques miles nautiques (Mellin 2007). Ces résultats complétés par la présente étude créent une piste intéressante à explorer. Elle prendrait en compte la variabilité intersites des paramètres environnementaux et végétaux mis en évidence lors de cette étude afin de tenter d'expliquer la répartition dans le lagon des juvéniles de poissons et les éventuelles différences de croissance observées.

Une forte hétérogénéité intrasite a été observée au cours de cette étude pour certains paramètres importants comme la densité et la biomasse des phanérogames ou encore le taux de matière organique ou de vases. Cette hétérogénéité intrasite est principalement due à la dynamique complexe des herbiers, conséquence de la présence de phénomènes de succession des différents substrats et végétaux. En effet, tout comme dans les systèmes terrestres, les herbiers sous-marins mixtes sont composés d'espèces de phanérogames pouvant être pionnières ou climaciques. Selon les perturbations du milieu, c'est une espèce ou une autre qui va se développer. Un herbier est sujet à une dynamique intense impliquant la perte continue de pousses due à des perturbations et leur remplacement ce qui crée un équilibre dynamique (Hemminga & Duarte, 2000 ; Ralph et al., 2007 ; Mellors et al., 2007 ; Hori et al., 2009). Ainsi l'hétérogénéité observée des différents paramètres étudiés est liée à des perturbations allant de l'échelle de l'individu (holothuries par exemple) à celle de l'herbier tout entier (Larkum & Den Hartog, 1989 ; Irlandi, 1994 ; Robbins & Bell, 1994). Ces différentes perturbations du milieu peuvent être identifiées par exemple par la présence d'invertébrés créant des buttes de sable et des trous, par l'hydrodynamisme qui peut varier à l'échelle d'un site, par la présence de zone de mouillage de bateaux, mais également par la pression sélective du broutage. En effet, les tortues vertes (*Chelonia mydas*) et grosse tête (*Caretta caretta*), et également des dugongs (*Dugong dugong*), ont été observés sur plusieurs sites. Les herbivores consomment en majorité les jeunes feuilles, plus pauvres en lignine (Moss & Miller, 1976 ; Thayer et al., 1984 ; Walker, 1989), de préférence les pousses de *H. ovalis* ou *H. uninervis*. La consommation de phanérogames et/ou d'épiphytes par les brouteurs permet donc de créer et de maintenir une hétérogénéité spatiale du milieu, et joue également un rôle dans la succession des espèces de phanérogames présentes. Ainsi les espèces pionnières telles que *Halophila ovalis* ou *Halodule uninervis* reprennent place dans les zones broutées ou les zones de remaniement de sédiment plus ou moins stables.

Les résultats obtenus durant cette étude devraient permettre de mettre en place une stratégie d'échantillonnage optimale afin de caractériser ces habitats ou d'effectuer des suivis d'herbiers et de leur faune associée. Pour ceci, il apparaît maintenant indispensable d'utiliser plusieurs échelles de description, de celle inférieure au mètre en utilisant les carottes de prélèvement et les quadrats, à celles de plusieurs centaines de mètres en effectuant des parcours aléatoire. Ce couplage de

différentes échelles est déjà utilisé en analyse descriptive de structures de paysage agricole (Schermann & Baudry, 2002). Cette étude a également permis d'observer un équilibre dynamique des herbiers. Toute caractérisation d'un herbier réalisée ponctuellement dans le temps devra intégrer les données concernant les variations saisonnières, observées principalement ici par le pourcentage de recouvrement du substrat par les phanérogames. Cette étude a aussi montré que certains paramètres importants à prendre en compte pour les études d'écosystèmes tels que les herbiers peuvent être soumis à un biais dû à l'observateur. C'est le cas en particulier pour les relevés du taux de recouvrement des phanérogames. Ceci suggère qu'il serait préférable pour les travaux futurs, d'utiliser par exemple une méthode d'automatisation du recueil des données par des logiciels informatiques à partir de photographies des quadrats (Dumas et al., 2009). Ce travail suggère également que d'autres paramètres doivent être relevés, comme la surface de recouvrement des algues et des coraux par exemple, qui sont très importants dans la caractérisation d'un herbier, ne serait ce que pour évaluer son hétérogénéité. Il en est de même pour la prédation, bien que celle-ci soit par ailleurs difficile à mesurer. Enfin, les paramètres environnementaux tels que le taux de sels nutritifs présents dans la colonne d'eau et l'eau interstitielle, les métaux lourds pour les herbiers proches des côtes (Rigollet, 1998), la turbidité de l'eau (Dennison et al., 1993) et la présence et la force de courants (Doty, 1971), pourront être éventuellement relevés. Complétés par des paramètres biologiques tels que la présence d'épiphytes ou leur pourcentage de recouvrement (Hily, 2004), tous ces éléments pourront apporter des informations clés sur l'environnement des différents herbiers et leur faune associée, pour ainsi compléter les différentes perspectives dégagées au cours de la présente étude.

5. Conclusion et perspectives

Cette étude a permis de répondre aux objectifs fixés et a ouvert de nouvelles perspectives et orientations. Elle fait apparaître la nécessité d'une méthode d'échantillonnage adaptée aux herbiers tropicaux et à leur dynamique spatiale et temporelle. Même si de nombreuses questions sont encore sans réponse, cette étude a mis en évidence l'importance de paramètres tels que la distance à la côte dans la répartition et la caractérisation des herbiers. Ce gradient, peut être lié aux activités humaines du grand Nouméa, devra être testé ailleurs autour de la Grande-Terre afin d'appréhender l'impact réel de l'Homme et de ses activités. Les herbiers étant des écosystèmes d'une grande importance écologique, leur protection contre des activités néfastes (agriculture, mine, eaux usées) et leur suivi sont nécessaires afin que leur fonctionnement soit préservé. Cette étude, grâce aux informations recueillies, devrait permettre le développement d'outils opérationnels simples de suivi des herbiers subtidiaux. Le but ultime sera de pouvoir détecter les premiers signes de dégradation des herbiers qui ne sont souvent visibles qu'à petite échelle.

6. Références bibliographiques

- AUBY I., TRUT G., (2008). Echantillonnage des sites de référence DCE pour les paramètres "faune invertébrée benthique" et "végétation" - District Hydrographique Adour-Garonne – Ifremer ; Direction Environnement littoral ; Laboratoire Environnement Ressources d'Arcachon.
- BARCO J.W., GUNNISON D., CARPENTER S.R., (1991). Sediments interaction with submersed macrophyte growth and community dynamics. *Aquatic Botany* 41, 41-65.
- 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., WEINSTEIN M.P., (2001). The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *BioScience* 51, 633-641.
- BOLOGNA P.A.X., PAPAGIAN R., REGETZ S., DALE C., (2008). Assessment of turtle grass (*Thalassia testudinum* ex Banks Koning) community structure in a UNESCO Biosphere Reserve. *Journ. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 365, 148-155.
- BONNEAU M., SOUCHIER B., (1979). Méthodes pratiques d'analyses des sols. In : Pédologie : constituants et propriétés des sols, Masson, Paris, 147, 505-539.
- BRADLEY M.P., STOLT M.H., (2005). Landscape-level seagrass-sediment relations in a coastal lagoon. *Aquatic Botany* 84, 121-28.
- BUCKLAND S.T., ANDERSON D.R., BURNHAM K.P., LAAKE J.L., BORCHERS D.L., THOMAS L., (2001). Introduction to distance sampling. Estimating abundances of biological populations. Oxford University Press, Oxford.
- CABAÇO S., SANTOS R., DUARTE C.M., (2008). The impact of sediment burial and erosion on Seagrasses: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 79, 354-366.
- CARRUTHERS T.J.B., WALKER D.I., (1999). Sensitivity of transect across depth gradient for measuring changes in aerial coverage and abundance of *Ruppia megacarpa* Masson. *Aquatic Botany*. 65, 281-292.
- CHEVILLON C., (1992). Biosédimentologie du grand lagon nord de la Nouvelle-Calédonie. Thèse Doct. Edition ORSTOM. 225 p.
- CLAVIER J., (1995). Programme LAGON : le bilan. Rapport ORSTOM, Nouméa, 70 p.
- COCHERET DE LA MORINIERE E., POLLUX B.J.A., NAGELKERKEN I., VAN DER VELDE G., (2002). Post-settlement life cycle migration patterns and habitat preference of coral reef fish that use seagrass and mangrove habitats as nurseries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 55, 309-321.
- COLES R.G., LEELONG W.J., SQUIRE L.C., (1985). Seagrass beds and prawn nurseries mapped in North East Queensland. *Australian Fisheries*. 44 (9).
- CONAND C., (1988). Les holothuries aspidochirotés du lagon de Nouvelle-Calédonie : biologie, écologie et exploitation. Paris : ORSTOM. Etudes et Thèses : Sci. Nat., Université de Bretagne Occidentale : Brest, 393 p.
- DAHLGREN C.P., EGGLESTON D.B., (2000). Ecological processes underlying ontogenetic habitat shifts in a coral reef fish. *Ecology* 81, 2227-2240.
- DEN HARTOG C., (1970). The Seagrasses of the World. Amsterdam: North Holland.
- DENNISON W.C., ALBERTE R.S., (1986). Photoadaptation and growth of *Zostera marina* L. (eelgrass) transplants along a depth gradient. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 98, 265-282.
- DENNISON W.C., ORTH R.J., MOORE K.A., STEVENSON J.C., CARTER V., KOLLAR S., BERSTROM P.W., BATIUK R.A., (1993). Assessing water quality with submersed aquatic vegetation. *Bioscience* 43 (2), 86-94.
- DIRBERG G., (2005). Cartographie des herbiers à phanérogames de Nouvelle-Calédonie & Cartographie des habitats récifolagons des sites « Pêche Récifale ». Rapport intermédiaire de stage ZoNéCo. IRD.
- DORENBOSH M., VAN RIEL M.C., NAGELKERKEN I., VAN DER VELDE G., (2004). The relationship of reef fish densities to the proximity of mangrove and Seagrasses nurseries. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 60, 37-48.
- DOTY M. S., (1971). Measurements of water movement in reference to benthic algal growth. *Bot. Mar.* 14, 32-35.
- DUARTE C.M., (1991). Seagrass depth limits. *Aquat. Bot.* 40, 363-377.
- DUARTE C. M., BENAVENT E., SANCHEZ M.C., (1999). The microcosm of particles within seagrass (*Posidonia Oceanica*) canopies. *Mar. Ecol. Progress Series* 181, 289-95.
- DUARTE C.M., CHISCANO C.L., (1999) Seagrass biomass and production: a reassessment. *Aquatic Botany*. 65, 159-74.
- DUARTE C. M., KIRKMAN H., (2001). Global seagrass Research Methods. Elsevier Sciences B.V., 141-153.
- DUMAS P., BERTAUD A., PEIGNON C., LEOPOL M., PELLETIER D., (2009). A "quick and clean" photographic method for the description of coral reef habitat. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 368, 161-168.
- EKLÖF J. S., DE LA TORRE-CASTRO M., GULLSTROM M., UKU J., MUTHIGA N., LYIMO T., BANDEIRA S.O., (2008). Sea Urchin Overgrazing of Seagrasses: a Review of Current Knowledge on Causes, Consequences, and Management. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 79(4), 569-580.

- FOLK R.L., WARD W.C., (1957). Brazos river bar: a study of significance of grain size parameters. *Journ. Sedim. Petrol.*, 27, 3-26.
- GABRIÉ C., CROS A., CHEVILLON C., DOWNER A., (2005). Analyse écorégionale marine de Nouvelle-Calédonie, atelier d'identification des aires de conservation prioritaires, 78p.
- GARCIA E., DUARTE C.M., GRANATA T., (1999). An approach to the measurement of particle flux and sediment retention within seagrass (*Posidonia Oceanica*) meadows. *Aquatic Botany* 65, 255-68.
- GOIRAN C. (1990). Etude d'un mollusque Strombidae du lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie: *Strombus luhuanus*. DEA Université Aix-Marseille III, 31 p.
- GOWER J.C., (1967). Multivariate analysis and multivariate geometry. *The Statistician* 17, 13-28.
- GREEN E.P., SHORT F.T., (2003). *World Atlas of Seagrasses*, UNIVERSITY OF CALIFORNIA PRESS, London.
- HALUN Z., TERRADOS J., BOTUM J., KAMP-NIELSEN L., CARLOS M.D., MIGUEL D.F., (2002). Experimental evaluation of the effects of siltation-derived changes in sediment conditions on the Philippine seagrass *Cymodocea rotundata*. *Journ. of Exp. Mar. Biol. and Eco.* 279, 73-87.
- HEMMINGA M.A., DUARTE C.M, (2000). *Seagrass Ecology*. Cambridge University Press, New York, 298p.
- HILY C., (2004). Fiche technique REBENT n°4 (V2): suivi des herbiers de Zostères. <http://www.ifremer.fr/rebent/>
- HONKOOP P.J.C., BERGUIS E.M., HOLTHUIJSEN S., LAYALEYE M.S.S., PIERSMA T., (2008) b. – Molluscan Assemblages of Seagrass-Covered and Bare Intertidal Flats on the Banc D'arguin, Mauritania, in Relation to Characteristics of Sediment and Organic Matter. *Journal of Sea Research*. 60(4), 235-243.
- HORY M., SUZUKI T., MONTHUM Y., SRISOMBAT T. TANAKA Y., NAKAOKA M., MUKAI H., (2009). High seagrass diversity and canopy-height increase associated fish diversity and abundance. *Mar. Biol.* 156, 1447-1458.
- IFRECOR, (2005). Fiche d'identification des phanérogames marines de Nouvelle-Calédonie. © Copyright IRD, 2005, 28p.
- IRLANDI E.A., (1994). Large-and small-scale effects of habitat structure on rates of predation: how percent coverage of seagrass affects rates of predation and siphon nipping on an in faunal bivalve. *Oecologia* 98, 176-183.
- KENDRICK G.A., ECKERSLEY J., WALKER D.I., (1999). Landscape-scale changes in Seagrasses distribution over time: a case from Success Bank, Western Australia. *Aquatic botany* 65, 293-309.
- KIRKMAN H., WALKER D.I., (1989). Regional studies- Western Australian seagrass. In *Biology of Seagrasses*, ed. A.W.D. Larkum, A.J. McComb & S.A. Sheperds. New York: Elsevier, 157-81.
- KRUMBEIM W.C., (1936). Application of logarithmic moments to size frequency distribution of sediments. *Journ. Sedim. Petrol.*, 6, 35-47.
- LANYON J., (1986). Guide to the identification of Seagrasses in the Great Barrier Reef Region. GREAT BARRIER REEF MARINE PARK AUTHORITY SPECIAL PUBLICATION SERIES 3; Townsville, Queensland, 54p.
- LARKUM A., DEN HARTOG C., (1989). Evolution and biogeography of Seagrasses. In: Larkum A., McComb A., Sheperds S., (Eds.), *Biology of Seagrasses: a treatise on the biology of Seagrasses with special reference to the Australia region*. Elsevier Science Publisher, Amsterdam, 112-156.
- LEE K.S., PARK S.R., KIM Y.K. (2007). Effects of irradiance, temperature, and nutrients on growth dynamics of Seagrasses: A review. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 350, 144-175.
- LEFORT Y. (1991). Etude des populations de pectinidés du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. Thèse, Université Bordeaux I. 234 p.
- LEGENDRE P., LEGENDRE L., (2000). *Numerical Ecology*, Elsevier, Amsterdam, 2nd edition 853 p.
- McKENZIE L.J. (2007). Relationships between seagrass communities and sediments properties along the Queensland coast. Reef and Rainforest Research Centre Ltd, Cairns, 25p.
- McMAHON K., BENGSTON NASH S., EAGLESHAM G., MÜLLER J.F., DUKE N.C., WINDERLICH S., (2005). Herbicide contamination and the potential impact to seagrass meadows in Hervey Bay, Queensland, Australia. *Marine Pollution Bulletin* 51, 325-334.
- McROY C.P., HELFFERICH C., (1977). *Seagrass Ecosystems: a scientific perspective*. Mar. Sciences 4. M. DEKKER, New York. 314p.
- MELLIN C., (2007). Sélection de l'habitat à l'installation et utilisation de l'habitat post-installation chez les poissons récifaux-lagonaires de Nouvelle-Calédonie. Thèse de Doctorat, Spécialité Océanologie Biologique et Environnement Marin, 220p.
- MELLORS J., FABRICIUS K., DE'ATH G., (2007). Seasonal variation in biomass and tissue nutrient of intertidal Seagrasses (*Halophila ovalis* and *Halodule uninervis*) in relation to sediment nutrient contents in North Queensland. Chapter 9. In Fabricius, K., Uthicke, S., Cooper, T., Humphrey, C., De'ath, G. and MELLORS J. Candidate bioindicator measures to monitor exposure to changing water quality on the Great Barrier Reef: Interim report, 179-193.
- MOSS R., MILLER, G. R., (1976). Production, dietback and grazing of heather (*Calluna vulgaris*) in relation to members of red grouse (*Lepus l. scoticus*) and mountain hares (*Lepus timidus*) in North-east Scotland. *J. appl. Ecol.* 13, 369-337.

- ORTH R.J., CARRUTHERS T.J.B., DENNISON W.C., DUARTE C.M., FOURQUREAN J.W., HECK JR.K.L., HUGUES AR., KENDRICK G.A., KENWORTHY W.J., OLYARNIK S., SHORT F.T., WAYCOTT M., WILLAMS S.L., (2006). A Global Crisis for Seagrass Ecosystems. *BioScience*. vol. 56, n°12.
- RALPH P.J., DURAKO M.J., ENRIQUEZ S., COLLIER C.J., DOBLIN M.A., (2007). Impact of light limitation on Seagrasses. *Journ. of Exp. Mar. Biol. and Ecol.* 350, 176-193.
- RICHER DE FORGES B., (1991). Le benthos des fonds meubles des lagons de Nouvelle-Calédonie. Volume 1. Editions de l'ORSTOM, Collection Etudes & Thèses, Paris. 311 p.
- RIGOLLET V., (1998). Évolution saisonnière des concentrations en métaux lourds dans les herbiers à *Zostera marina* L. de l'étang de Thau (France) et de la lagune de Venise (Italie) : relation plante-sédiment. Université Montpellier 2 - Thèse nouveau doctorat.
- ROBBINS B., BELL S., (1994). Seagrass landscapes : a terrestrial approach to the marine subtidal environment. *Trends Ecol. Evol.* 9, 301-304.
- SCAMPS M., (2005). Les herbiers de Nouvelle Calédonie : Inventaire, caractérisation et typologie ; Télédétection et cartographie. Rapport de stage de master Institut national agronomique Paris-Grignon. 77p.
- SCHERMANN N., BAUDRY J., (2002). Analyse descriptive multi-échelle de la structure d'un paysage. Application à la mosaïque d'occupation du sol d'un territoire agricole dans le bocage Breton. *Revue internationale de géomatique*. Volume 12 – n° 3-4.
- SHORT F.T., (1987). Effects of sediment nutrients on Seagrasses: literature review and mesocosm experiment. *Aquatic Botany* 27, 41-57.
- STODDARD D.R., JOHANNES R.E., (1978). Coral reefs: research and methods. UNESCO. 581p.
- TERRADOS J., DUARTE C.M., FORTES M.D., BORUM J., AGAWIN N.S.R., BACH S., THAMPANYA U., KAMP-NIELSEN L., KENTWORTHY W.J., GEERTZ-HANSEN O., VERMAAT J.E., (1997). Changes in community structure and biomass of seagrass communities along gradients of siltation in S-E Asia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 46, 757-768.
- TERRADOS J., DUARTE C.M., KAMP-NIELSEN L., AGAWIN N.S.R., GARCIA E., LACAP D., FORTES M.D., BORUM J., LUBANSKI M., GREVE T., (1998). Are seagrass growth and survival constrained by the reducing conditions of the sediment? *Aquatic Botany* 65, 175-197.
- THAYER G., BJORN DAL K.A., OGDEN J.C., WILLIAMS S.L., ZIEMAN J.C., (1984). Role of the large herbivores in seagrass communities. *Estuarine* 7, 351-376.
- THOMASSIN B.A., (1978). Les peuplements des sédiments coralliens de la région de Tuléar (SW de Madagascar). Leur insertion dans le contexte côtier indopacifique. Thèse Doct., Univ. Aix-Marseille II, 494p + annexes.
- VAN KATWIJK M.M., WIJGERGANGS L.J.M., (2004). Effects of locally varying exposure, sediment type and low-tide water cover on *Zostera marina* recruitment from seed. *Aquatic Botany* 80, 1-12.
- WALKER D.I., (1989). Regional studies - seagrass in Shark Bay, the foundations of an ecosystem. In: "Biology of Seagrasses. A treatise on the biology of Seagrasses with special reference to the Australian region." Eds. A.W.D. Larkum, A.J. McComb, S.A. Shepherd. *Aquatic Plant Studies* 2. Elsevier, Amsterdam, 182-210.
- WARREN G., (1974). Simplified form of the folk-Ward skewness parameter. *Journ. Sedim. Petrol.*, 44, 259p.
- WAYCOTT M., McMAHON K., MELLORS J., CALLADINE A., KLEINE D., (2004). A guide to Tropical Seagrasses of the Indo-West Pacific. JAMES COOK UNIVERSITY, Townsville, 72p.
- WENTWORTH C.K., (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journ. Geol.*, 30, 377-392.
- WEYDERT P., (1971). Sédimentologie et hydrodynamique d'une coupe de la partie médiane du grand récif de Tuléar (SW Madagascar). *Thethys*, suppl.1, 237-280.
- WILKINSON L., (1990). SYSTAT: The System for Statistics. Evanston, IL: SYSTAT, Inc. Editor, 678 p.

Annexes

Annexe 1 : Photos d'ambiance sous-marine de chaque site d'étude.

Annexe 2 : Principales caractéristiques de chaque site d'étude.

Annexe 3 : Schéma du matériel et des méthodes utilisés à différentes échelles.

Annexe 4 : Application de la méthode L.I.T sur un transect fictif de 100 cm de long.

Annexe 5 : Phases d'apprentissage de l'estimation du recouvrement végétal pour les sites d'Amédé (1^{ère} phase) et Larégnère1 (2nd phase).

Annexe 6 : Synthèse des résultats des différentes variables étudiées pour les huit sites.

Annexe 7 : Caractéristiques des phanérogames observées dans les herbiers subtidaux du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie (d'après IFRECOR, 2005).

Annexe 8 : Longueurs des feuilles par site et par espèce (CS= *Cymodocea serrulata*, HO= *Halophila ovalis*, HU= *Halodule uninervis* et SI= *Syringodium isoetifolium*) et exemple de mesures foliaires effectuées sur les espèces *Halophila ovalis* et *Halodule uninervis*.

Annexe 9 : Pourcentages de présence mesurées par site et par catégorie (CS= *Cymodocea serrulata*, HO= *Halophila ovalis*, HU= *Halodule uninervis* et SI= *Syringodium isoetifolium*) pour les échelles supérieure à 10m : l'échelle 1-50m (transect de 50m) et l'échelle supérieure à 50m (quadrat 50 x 50 cm le long du parcours aléatoire de 40 min).

Annexe 10 : Nombre de poissons observés par comptage visuels en février, mars et juin 2009.

Annexe 11 : Variations temporelles des longueurs de feuilles par site et par espèce d'octobre 2008 à juin 2009.

Annexe 1 : Photos d'ambiance sous-marine de chaque site d'étude.



Uéré



Canard 1



Canard 2



Maitre



Sèche croissant



Larégnère 1



Larégnère 2

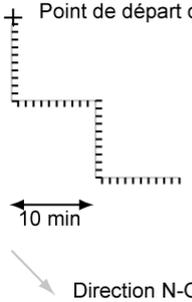
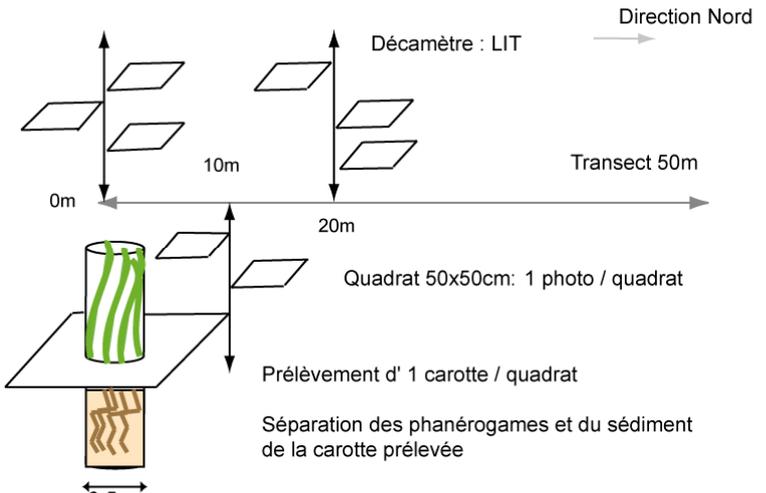


Amédé

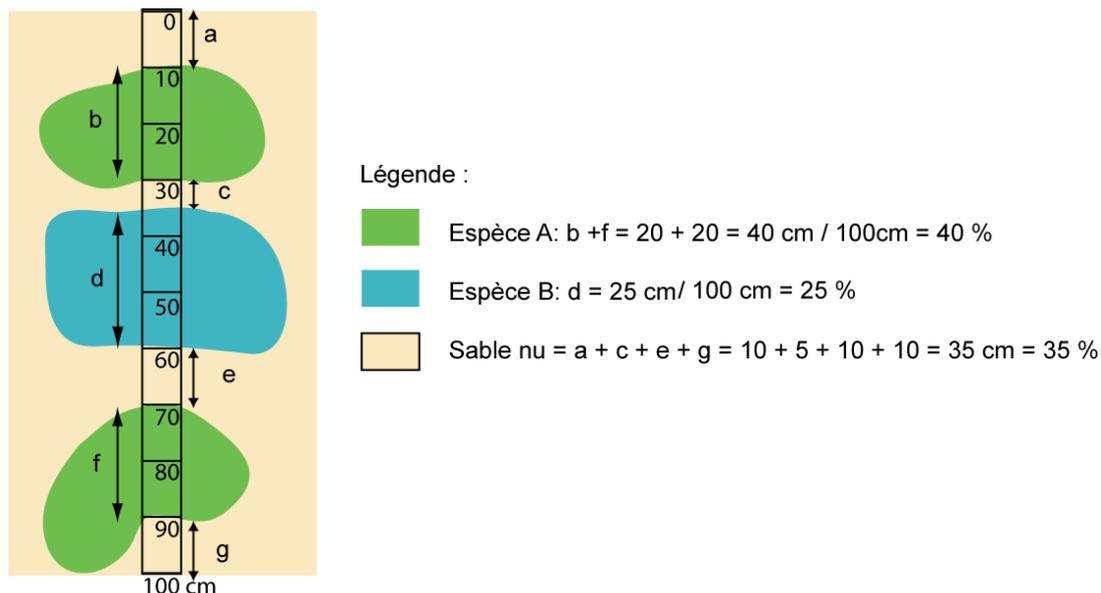
Annexe 2 : Principales caractéristiques de chaque site d'étude.

Site	UER	CA1	CA2	MAI	SEC	LA1	LA2	AME
Reserve	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Position GPS (WGS84)	22°18,720'S 166°28,290'E	22°18,800'S 166°26,025'E	22°18,680'S 166°26,230'E	22°19,855'S 166°24,450'E	22°19,620'S 166°22,275'E	22°19,433'S 166°19,400'E	22°19,570'S 166°18,640'E	22°28,530'S 166°28,010'E
Distance à Nouméa (km)	3,5	1,1	1,5	4,7	7,4	12,2	12,4	19,7
Profondeur moy	2,5	4,5	6,5	5,5	4,5	4,2	8,5	5,5
Profondeur maxi	3,2	7,0	6,3	6,4	4,2	4,8	9,2	6,0
Date échantillonnage carottes-transects	05/03/09	26/02/09	27/02/09	20/02/09	18/02/09	10/02/09	19/02/09	11/02/09
Date parcours aléatoire	24/03/09	30/03/09	30/03/09	16/03/09	16/03/09	17/03/09	17/03/09	24/03/09
Courant S-O rencontré	Faible	Très fort	Fort	Faible	Faible	Faible	Fort	Faible
Activités anthropiques à proximités	Faibles	Forte fréquentation touristique (Mouillage, plongée,...)	Forte fréquentation touristique et proche du sentier sous marin	Très forte fréquentation touristique et îlot fortement bâti	Forte fréquentation touristique	Faibles	Faibles	Très forte fréquentation touristique

Annexe 3 : Schéma du matériel et des méthodes utilisés à chaque échelle.

<p>Point de départ du bateau (référence GPS)</p>  <p>Toutes les 2 min: Estimation visuelle du % de présence de chaque catégorie</p> <p>Le long du parcours: Photographie de la macrofaune sur environ 2 m de largeur et de l'ambiance générale</p>	<p>Echelle</p> <p>> 50 m</p> <p>Données obtenues</p> <p>% de chaque catégorie (sable, corail, algues, espèces de Phanérogames)</p> <p>N occurrence de la Macrofaune (cnidaires, spongiaire, torues, mollusques, echinodermes,...)</p> <p>N occurrence environnement (monticule de sable, algues,...) transformé en %</p>
 <p>Décamètre : LIT</p> <p>Direction Nord</p> <p>Transect 50m</p> <p>0m 10m 20m</p> <p>Quadrat 50x50cm: 1 photo / quadrat</p> <p>Prélèvement d' 1 carotte / quadrat</p> <p>Séparation des phanérogames et du sédiment de la carotte prélevée</p> <p>9.5 cm</p> <p>Phanérogames : Observation et comptage des pieds obtenus par espèce de Phanérogames et par carotte</p> <p>Scanérisation des pieds Images: mesures des feuilles à l'aide du logiciel ImageJ</p> <p>Découpe des phanérogames 1 partie aérienne (Feuilles) 1 partie sous terrainne (Rhizomes + Racines)</p> <p>Mise à l'étuve à 60 °C pendant 48h Pesée des deux parties</p>	<p>1-50m</p> <p>0,1-10m</p> <p>< 1m</p> <p>% de chaque catégorie (sable, corail, algues, espèces de Phanérogames)</p> <p>% de chaque catégorie (sable, corail, algues, espèces de Phanérogames)</p> <p>% sable / photo (quadrat)</p> <p>N pieds / carotte (densité) N feuilles / pied</p> <p>Longueur des feuilles (L FI) largeur maximum feuilles (l max)</p> <p>↓</p> <p>SURFACE FOLIAIRE</p> <p>Biomasse foliaire Biomasse racinaire</p> <p>Biomasse sèche foliaire Biomasse sèche racinaire</p>
<p>Sédiments :</p> <p>Etuve 70° C jusqu'à assèchement complet</p> <p>Tamisage mécanique</p> <p>Poids total sédiment / carotte Pesée de chaque refus de tamis</p> <p>Récupération de la fraction fine (< 63µm)</p> <p>0,1g de sédiment / carotte utilisé dans le dosage des carbonates de calcium par le calcimètre de Bernard et 3 ml d'acide chloridrique</p> <p>le reste de sédiment utilisés dans le dosage de la matière organique après un séchage (4h à 150°C), par perte par calcination (16h à 375°C)</p> 	<p>< 1m</p> <p>Poids total sédiment / carotte % des vases</p> <p>Courbes granulométriques</p> <p>↓</p> <p>Indices granulométriques</p> <p>% CaCO3</p> <p>% MO</p>

Annexe 4 : Application de la méthode L.I.T sur un transect fictif de 100 cm de long.



Annexe 5 : Phases d'apprentissage de l'estimation du recouvrement végétal pour les sites d'Amédé et Larégnère1. Avec respectivement : 1^{ère} phase = Prise en compte des phanérogames seuls, les différences proviennent du fait qu'il ne faut pas recalculer la proportion de sable selon l'épaisseur des plantes, ce qui augmente cette proportion de sable et baisse celle des espèces fines comme *Syringodium isoetifolium* et *Halodule Uninervis*, 2^{ème} phase = bonne estimation des pourcentages pour chaque espèce mais il faut intégrer les algues sinon la part de sable nu est augmentée.

1ère phase d'apprentissage			2ème phase d'apprentissage		
Transect	Catégories observées	Différence entre Spécialiste et Apprentie (%)	Transect	Catégories observées	Différence entre Spécialiste et Apprentie (%)
1	H U	10	1	H U	5
1	C S	1	1	C S	0
1	H O	1	1	H O	1
1	S I	25	1	S I	0
1	Sable nu	38	1	Sable nu	7
2	H U	5	1	Algues	3
2	C S	2	2	H U	4
2	H O	2	2	C S	0
2	S I	27	2	H O	1
2	Sable nu	36	2	S I	2
3	H U	8	2	Sable nu	14
3	C S	2	2	Algues	10
3	H O	3	3	H U	0
3	S I	27	3	C S	1
3	Sable nu	39	3	H O	1
			3	S I	2
			3	Sable nu	12
			3	Algues	10

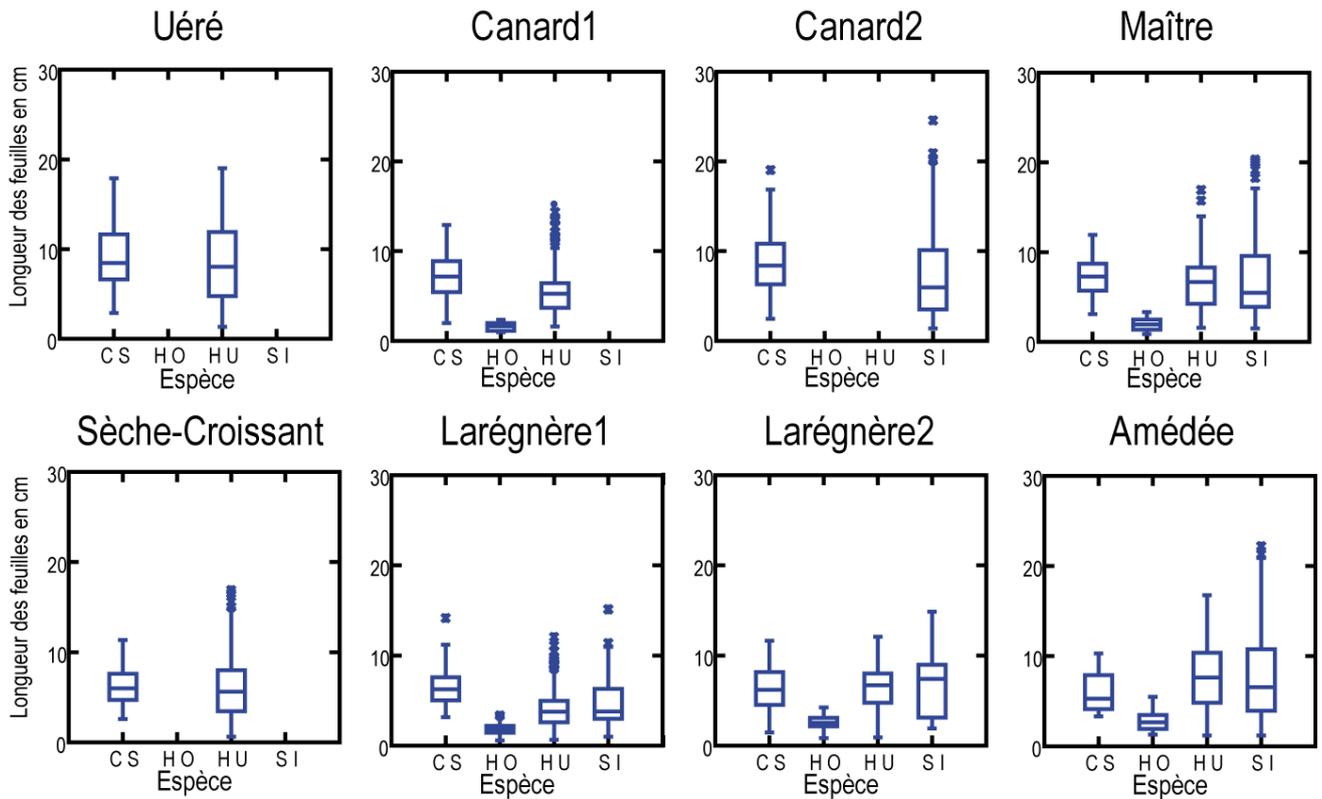
Annexe 6 : Synthèse des résultats des différentes variables étudiées pour les huit sites .

Sites	CA1	CA2	UER	MAI	SEC	LA1	LA2	AME
<u>Caractéristiques des sites</u>								
Caractères principaux	Herbier en Taches de léopard	Homogène	Monticules de sables	0	Frontière Algueraie	Absence Corail	Taches léopard et bordure algueraie	Absence Algue et corail
Eau turbide +/- 0	+	0	+	0	0	0	0	0
Statut de réserve +/- 0	+	+	0	+	+	+	+	+
Profondeur	6-8m	6-8m	<4m	6-8m	4-6m	4-6m	>8m	6-8m
Courant obs. sur le terrain	Parfois fort	Faible	Nul	Nul	Nul	Nul	Parfois fort avec houle	Nul
<u>Granulométrie des sédiments</u>								
FH moy	0 - 0,5	< 0	< 0	0 - 0,5	< 0	0 - 0,5	> 0,5	0 - 0,5
% Vases moy	<2%	2-4%	2-4%	<2%	<2%	<2%	>4%	2-4%
Mz en phi	0,59 ± 0,15	1,18 ± 0,18	1,45 ± 0,37	1,28 ± 0,08	1,72 ± 0,08	1,70 ± 0,29	2,29 ± 0,30	1,11 ± 0,30
phi (tri)	1,5 ± 0,1 (>1,4= mal trié)	1,7 ± 0,2	1,8 ± 0,2	1,6 ± 0,3	1,4 ± 0,1 (<1,4=bien trié)	1,1 ± 0,1	1,6 ± 0,3	1,2 ± 0,2
<u>Chimie des sédiments</u>								
CaCO3 (%)	85,0 ± 3,7	85,2 ± 5,8	70,9 ± 5,5	88,5 ± 5,2	92,7 ± 8,1	85,6 ± 16,4	97,0 ± 4,8	97,3 ± 3,1
MO (%)	3,8 ± 0,4	3,4 ± 0,2	3,2 ± 0,3	3,9 ± 0,1	3,4 ± 0,3	4,2 ± 1,1	2,5 ± 0,1	3,9 ± 0,6
<u>Composition des herbiers : % moy / quadrat (4 échelles confondues) ; (0 =0% ; - = x<10% ; + = 10%<x<20% ; ++ = 20%<x<30% ; +++ = x > 30 %)</u>								
Cymodocea serrulata	++	++	++	++	++	-	+	+
Halodule uninervis	+	-	+	+	++	+	++	+
Halophila ovalis	0	0	0	-	-	-	-	-
Syringodium isoetifolium	-	++	+	+	-	-	-	++
Sable nu	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<u>Mesures sur les herbiers</u>								
Densité moy (N pieds /carottes)	17 ± 8	21 ± 8	11 ± 7	21 ± 12	22 ± 10	32 ± 16	20 ± 6	46 ± 11
Densité moy (N pieds/m²)	2 398 ± 1 129	2 963 ± 1 129	1 552 ± 988	2 963 ± 1 693	3 104 ± 1 411	4 515 ± 2 257	2 822 ± 846	6 490 ± 1 552
Pds Feuilles /carottes	6,0 ± 0,6	9,5 ± 0,4	6,3 ± 0,5	5,2 ± 0,2	5,4 ± 0,3	4,2 ± 0,3	3,8 ± 0,3	51,0 ± 3,4
Pds racine-rhizomes /carottes	11,6 ± 0,6	14,3 ± 0,5	11,3 ± 1,0	11,0 ± 0,8	16,0 ± 1,0	38,2 ± 3,5	12,1 ± 0,5	98,9 ± 6,6
Biomasse moy g/m²	277 ± 139	373 ± 98	276 ± 168	253 ± 114	335 ± 189	664 ± 526	249 ± 105	2348 ± 1186
<u>Parcours aléatoire : Nombre de catégories observées</u>								
N catégorie	11	16	16	13	11	12	9	8

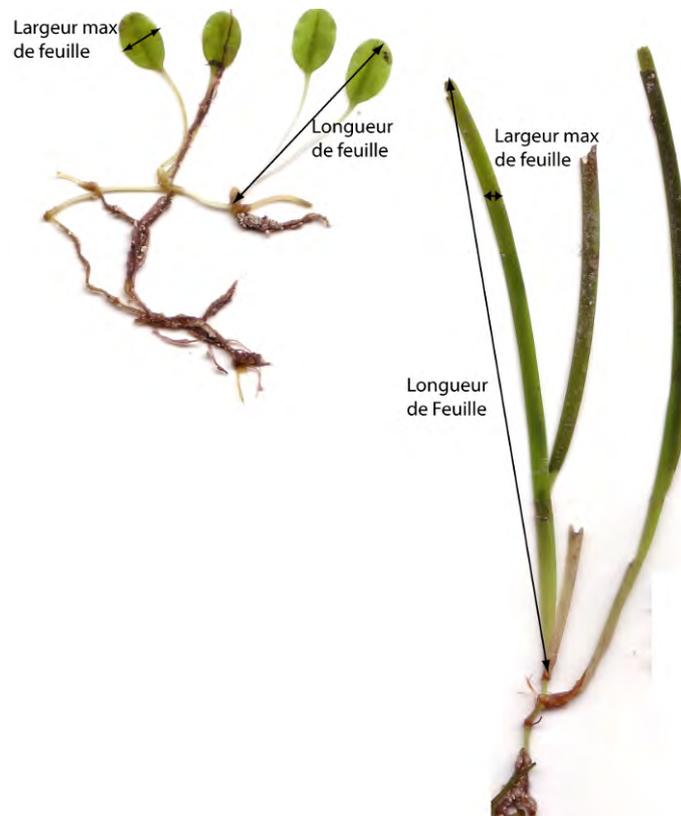
Annexe 7 : Caractéristiques des phanérogames observées dans les herbiers subtidiaux du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie (d'après IFRECOR, 2005).

<p><i>Cymodocea serrulata</i> (R. Brown) Ascherson and Magnus (1870)</p> <p><u>Caractéristiques morphologiques</u> : plante au rhizome herbacé lisse et robuste produisant à chaque nœud des racines fibreuses et ramifiées et une tige courte dressée portant 2 à 5 feuilles. Les feuilles en lanière sont souvent incurvées, 5 à 9 mm de large et jusqu'à 15 de long avec 13 à 17 nervures longitudinales ; la ligule mesure 1 mm de haut. L'extrémité de la feuille est obtuse et dentée. Les cellules à tanin forment des tâches sombres circulaires. La gaine translucide et pourpre a une forme triangulaire rétrécie à la base.</p> <p><u>Habitats</u> : en Nouvelle-Calédonie, elle est généralement associée aux autres espèces de phanérogames.</p>	
<p><i>Halodule uninervis</i> (Forsskal) Ascherson (1882)</p> <p><u>Caractéristiques morphologiques</u> : plante délicate, feuille plates et fines de 3 à 5 mm de large et jusqu'à 15 cm de long. Le rhizome mince et herbacé porte des cicatrices d'écailles entre les tiges successives. Les tiges courtes portent les feuilles et se dressent aux nœuds d'où partent 1 à 6 racines fines. Le limbe est parcouru par trois nervures parallèles se terminant au sommet en trois dents caractéristiques de l'espèce. Les dents latérales sont bien développées tandis que celle du centre est souvent émoussée.</p> <p><u>Habitats</u> : en Nouvelle-Calédonie, elle est la plus commune du genre <i>Halodule</i> et se retrouve dans presque tous les types d'herbiers. Elle a un rôle important dans la stabilisation des substrats et sa capacité à se développer en hauteur lui permet de se maintenir dans des conditions de forte sédimentation.</p>	
<p><i>Halophila ovalis</i> (R. Brown) Hook (1858)</p> <p><u>Caractéristiques morphologiques</u> : plante délicate, au rhizome mince (2 mm) herbacé et pâle, portant à chaque nœud 1 à 2 racines grêles et des entre-nœuds de 1 à 5 cm de long. Les feuilles sont par paire aux nœuds et portées par une tige très peu développée voir absente et dissimulée entre 2 écailles. Les feuilles ont un pétiole de taille variable et un limbe ovale allongé à elliptique, de 1 à 4 cm de haut et de 0,5 à 2 cm de large. Le limbe est parcouru de 10 à 25 paires de nervures latérales insérées de part et d'autre de la nervure centrale selon un angle de 45 à 60 degrés. Le bord du limbe est lisse et marqué par une nervure périphérique à peine visible.</p> <p><u>Habitats</u> : en Nouvelle-Calédonie, elle est la plus connue des <i>Halophila</i>, présente sur la plupart des substrats meubles (détritique grossier jusqu'à sable vaseux), seule ou mélangée à d'autres espèces de phanérogames.</p> <p><u>Synonymes</u>: <i>Caulinia ovalis</i> R. Br., Prodr. Fl. Nov. Holl. 1:339 (1810) <i>Kerneria ovalis</i> Schultes, Syst. Veg. 7:170 (1829)</p>	
<p><i>Syringodium isoetifolium</i> (Ascherson) Dandy (1939)</p> <p><u>Caractéristiques morphologiques</u> : plante rigide, avec un rhizome mince (5 mm de diamètre) et herbacé, qui se ramifie à chaque nœud en une courte tige dressée portant 2 à 3 feuilles et un faisceau de racines pouvant se ramifier. Les feuilles sont rondes, longues et fine et d'un vert brillant, de 1 à 2 mm de diamètre et de 5 à 30 cm de long, étroites à la base et se prolongeant en une extrémité effilée et pointue. A la base de chaque feuille on note une gaine développée, jusqu'à 4 cm de long, légèrement teintée de rouge et une ligule à la face interne.</p> <p><u>Habitats</u> : elle est la seule espèce néo-calédonienne qui montre des feuilles à section circulaire. Elle a une large répartition géographique dans les fonds sablo-vaseux de faible profondeur. Elle se mélange souvent aux <i>Cymodocea</i>, <i>Halodule uninervis</i> et <i>Thalassia</i>.</p>	

Annexe 8 : Longueur des feuilles par site et par espèce. Avec CS = *Cymodocea serrulata*, HO = *Halophila ovalis*, HU = *Halodule uninervis* et SI = *Syringodium isoetifolium*.

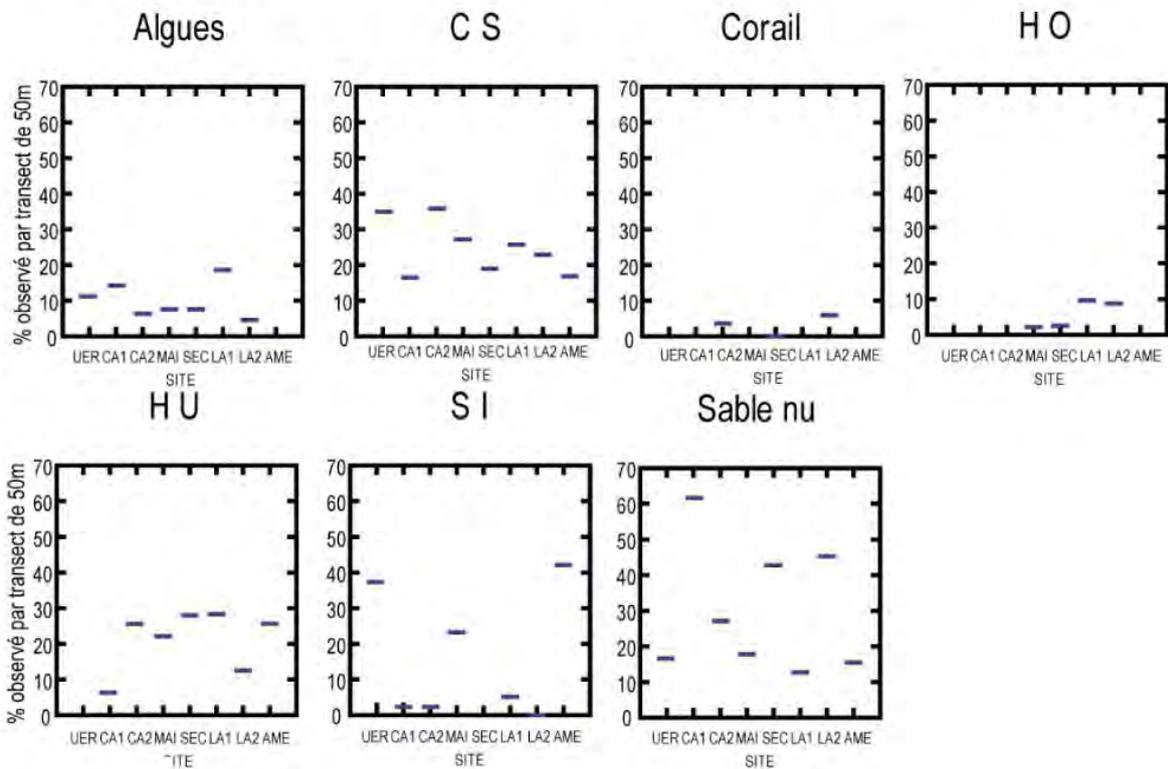


Exemple de mesures foliaires effectuées sur les espèces *Halophila ovalis* et *Halodule uninervis*.

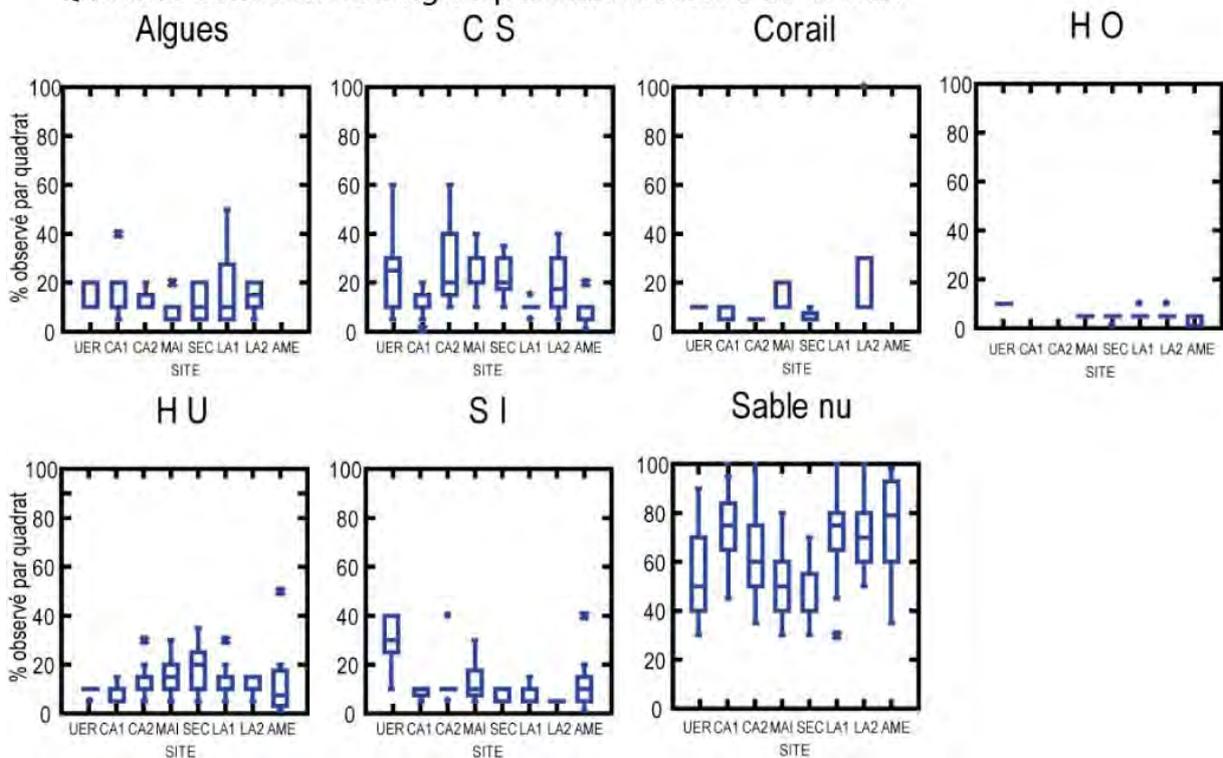


Annexe 9 : Pourcentages de présence mesurés par site et par catégorie (CS= *Cymodocea serrulata*, HO= *Halophila ovalis*, HU= *Halodule uninervis* et SI= *Syringodium isoetifolium*) pour les échelles supérieure à 10m : l'échelle 1-50m (transect de 50m) et l'échelle supérieure à 50m (quadrat 50 x 50 cm le long du parcours aléatoire de 40 min).

Transects de 50m



Quadrats 50x50 cm le long du parcours aléatoire de 40 min

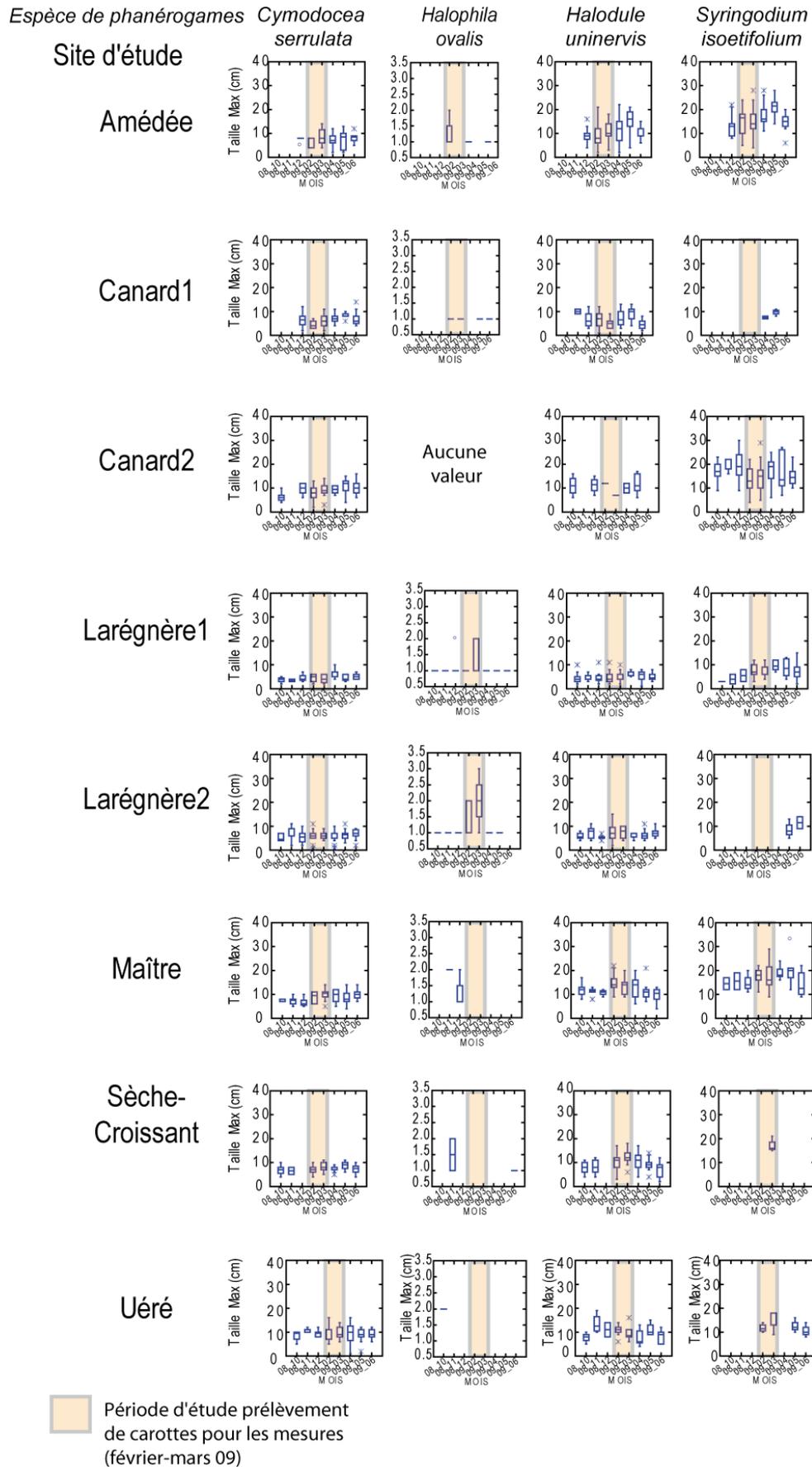


Annexe 10 : Nombre de poissons observés par comptages visuels en février, mars et juin 2009.

Famille	Genre	Espèce	UER	CA1	CA2	MAI	SEC	LA1	LA2	AME	
Serranidae	Epinephelus	maculatus	-	-	-	-	-	-	1	-	
		merra	-	-	-	-	-	-	-	2	
		cyanopodus	-	-	-	1	-	-	-	-	
Apogonidae	Apogon	spp.	6	-	-	-	-	-	-	-	
	Cheilodipterus	quinquelineatus	13	-	-	-	-	-	-	-	
Echeneididae	Echeneis	naucrates	-	-	-	-	-	1	-	-	
Carangidae	Caranx	papuensis	-	-	-	-	-	-	-	8	
Lutjanidae	Lutjanus	gibbus	-	-	-	-	-	1	-	-	
		vitta	-	2	-	2	1	-	4	-	
Haemulidae	Diagramma	pictum	-	-	-	-	-	-	1	-	
Nemipteridae	Pentapodus	caninus	-	2	-	-	1	-	1	-	
		spp.	-	-	-	-	-	-	1	-	
Lethrinidae	Lethrinus	variegatus	20	2	48	45	35	33	10	3	
		rubrioperculatus	-	-	-	-	-	5	-	7	
		nebulosus	-	1	3	9	-	-	-	13	
		harak	8	-	-	1	-	-	-	-	
		genivittatus	-	78	155	112	159	-	27	19	
		spp.	3	47	75	35	160	8	14	-	
		xanthochilus	-	-	-	-	-	-	-	1	
		atkinsoni	3	2	-	-	-	4	-	27	
Mullidae	Upeneus	tragula	-	11	3	11	2	-	-	-	
	Parupeneus	indicus	1	-	2	-	45	3	-	-	
		spilurus	-	-	-	-	-	3	-	2	
		pleurostigma	-	-	-	-	-	3	-	1	
		multifasciatus	-	-	-	-	-	-	-	9	
		heptacanthus	-	-	-	5	-	-	2	-	
		barberinus	-	-	-	1	3	3	1	1	
		barberinoides	-	1	-	-	1	12	2	1	
spp.	-	-	-	14	-	-	-	-			
Mullidae	Mulloidichthys	flavolineatus	-	-	-	1	-	-	1	-	
Chaetodontidae	Chaetodon	auriga	-	-	-	2	1	3	-	1	
		ephippium	-	-	-	1	-	-	-	-	
		kleinii	-	-	-	-	-	2	1	-	
Pomacanthidae	Centropyge	tibicen	-	-	-	-	1	1	-		
Pomacentridae	Dascyllus	reticulatus	-	-	-	-	-	-	8	-	
		aruanus	2	5	15	25	38	38	107	8	
		trimaculatus	-	-	-	-	-	-	1	8	
	Amphiprion	chrysopterus	-	-	-	-	-	-	-	-	13
		clarkii	-	-	-	4	-	-	-	-	-
		spp.	2	1	1	7	1	-	2	-	
	Chromis	viridis	-	-	-	160	20	-	-	-	
	Chrysiptera	rollandi	-	-	-	1	-	-	-	-	
	Neopomacentrus	spp.	4	-	-	-	-	-	-	-	
	Pomacentrus	amboinensis	1	-	6	3	10	5	9	-	
		coelestis	-	-	-	3	5	12	3	83	
		moluccensis	1	-	-	-	-	-	-	11	
		nagasakiensis	-	20	17	3	6	4	21	1	
Labridae	Hemigymnus	melapterus	-	-	-	-	-	-	-	1	
		Oxycheilinus	bimaculatus	-	1	-	-	1	8	6	31
	Coris	batuensis	--	-	-	1	1	3	1	-	
		dorsomacula	-	-	-	-	-	-	-	1	1

Famille	Genre	Espèce	UER	CA1	CA2	MAI	SEC	LA1	LA2	AME	
Labridae	Choerodon	graphicus	-	-	1	-	-	-	-	-	
	Halichoeres	trimaculatus	-	25	-	9	12	165	23	24	
	Cheilinus	trilobatus	-	-	-	-	-	-	-	2	
	Thalassoma	lunare	-	4	-	8	1	32	7	45	
	Cheilio	inermis	-	2	3	-	-	8	-	16	
	Cymolutes	torquatus	-	-	-	-	2	-	-	-	
	Cymolutes	praetextatus	-	3	-	1	-	-	2	-	
		spp.	-	-	-	-	1	-	1	-	
	Cheilinus	chlorourus	-	-	-	2	-	-	-	4	
		spp.	-	-	-	-	-	-	2	-	
	Thalassoma	spp.	-	-	-	-	-	-	-	1	
	Suezichthys	devisi	-	-	-	2	1	-	2	-	
	Stethojulis	strigiventer	-	1	24	-	19	10	-	-	
		notialis	-	13	2	-	9	23	3	7	
	bandanensis	-	-	-	-	-	1	1	-		
	spp.	-	1	-	-	-	3	-	12		
Scaridae	Scarus	psittacus	-	-	-	-	-	-	-	1	
		schlegeli	-	-	-	-	-	-	-	7	
		globiceps	-	-	-	-	-	-	-	2	
		ghobban	-	-	-	1	-	-	-	1	
		chameleon	-	-	-	-	-	-	-	1	
		spp.	2	1	3	-	6	4	-	18	
	Leptoscarus	vaigiensis	-	-	-	-	2	-	57		
Pinguipedidae	Parapercis	australis	2	8	4	12	6	2	5	-	
Blenniidae	Petroscirtes	lupus	2	-	-	-	6	-	-	-	
Gobiidae	Valenciennea	longipinnis	-	1	-	-	-	-	-	-	
		spp.	-	-	-	-	1	-	3	-	
		Amblygobius	phalaena	1	3	-	16	13	4	18	4
	Valenciennea	strigata	-	-	-	-	-	6	-		
Ptereleotridae	Ptereleotris	microlepis	-	7	-	23	1	-	-	-	
Siganiidae	Siganus	spinus	-	-	2	-	-	3	-	5	
		fuscescens	-	140	8583	127	620	-	-	-	
		argenteus	-	-	-	-	-	-	-	-	15
		spp.	14	-	-	-	2	-	-	-	
Acanthuridae	Acanthurus	blochii	-	3	-	1	1	4	-	1	
		dussumieri	-	-	-	-	-	4	2	4	
		olivaceus	-	-	-	-	-	-	1	-	
	Naso	annulatus	-	-	-	-	-	-	2	-	
		unicornis	-	-	-	-	-	-	-	2	
Balistidae	Pseudobalistes	fuscus	-	-	-	1	-	-	-	-	
	Rhinecanthus	aculeatus	-	1	2	-	-	11	2	5	
	Sufflamen	chrysopterum	-	-	-	-	-	-	12	1	
Monacanthidae	Pseudalutarius	nasicornis	-	-	-	-	-	-	1	-	
Tetraodontidae	Arothron	manilensis	1	-	1	-	-	1	-	-	

Annexe 11 : Variations temporelles des longueurs de feuilles par site et par espèce d'octobre 2008 à juin 2009.



Résumé

Les herbiers marins jouent un rôle majeur dans le fonctionnement des écosystèmes côtiers et sont un maillon indispensable à la survie de nombreuses espèces. En Nouvelle-Calédonie, jusqu'à présent les études se sont limitées principalement à la description de ces herbiers à une échelle supérieure à 100m dans le but de les cartographier et à des descriptions plus fines concernant des herbiers situés à moins de trois mètres de profondeur.

Cette étude a porté sur huit herbiers subtidaux du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie, sélectionnés le long d'un gradient côte-large, afin de les décrire et de caractériser leur environnement : sédiments en particuliers, mais aussi invertébrés et poissons associés. Cette étude a permis d'identifier les quatre espèces de phanérogames composant ces herbiers (*Halophila ovalis*, *Halodule uninervis*, *Cymodocea serrulata* et *Syringodium isoetifolium*), le caractère sableux à sablo-vaseux des sédiments et leur richesse en CaCO₃. Des différences intersites ont été observées à deux échelles. Des différences importantes entre deux sites d'un même îlot de la composition floristique, la densité de plantes, ou encore du nombre de poissons observés. Des variations de certaines variables, telles que la teneur en vase, la densité de phanérogames, ou encore le nombre d'espèces d'invertébrés épigés observés, ont été relevées en fonction de la distance à la côte. La présente étude a également permis d'observer des variations intrasites de la densité et de la biomasse des phanérogames, ou encore du taux de matière organique ou de vases, qui sont dues à la structure dynamique complexe des herbiers. Enfin, des variations saisonnières du taux de recouvrement par les phanérogames ont été observées.

Les résultats obtenus durant cette étude devraient permettre de mettre en place une stratégie d'échantillonnage optimale afin de caractériser ces habitats ou d'effectuer des suivis d'herbiers et de leur faune associée par le développement d'outils opérationnels simples.

Mots-clés

Phanérogames marines – Caractérisation – Sédiments – Ecosystème côtiers – Lagon.