



Ebauche de relevés standardisés des herbiers intertidaux  
de Mayotte : premier bilan et perspectives pour un suivi  
diachronique et pour le développement d'un indicateur  
pérenne

Juin 2020



### Terrain :

**PARC NATUREL MARIN DE MAYOTTE** : Ambdillah Ali, Lola Bayol, Charlie Brichot, Thibault Patricolo, Sophie Remuzat, Naomi Scholten

**MAREX** : Julien Wickel

**CEDTM** : Katia Ballorain

### A citer sous la forme :

Naomi SCHOLTEN, Marc-Henri DUFFAUD, Paul GIANNASI, 2020, Ebauche de relevés standardisés des herbiers intertidaux de Mayotte : premier bilan et perspectives pour un suivi diachronique et pour le développement d'un indicateur pérenne, PNMM/OFB, 33p.

# Sommaire

Contexte et objectifs de l'étude .....	4
Contexte .....	4
Objectifs .....	4
Déroulement de la campagne .....	5
Mise en œuvre opérationnelle.....	5
Méthodologie .....	5
Protocole de suivi et paramètres relevés.....	5
Choix et descriptifs des stations.....	6
Résultats.....	11
La station Passe en S .....	11
La station Mtsamboro .....	13
La station Ngouja.....	15
La station Pamandzi.....	17
Discussion .....	19
Distribution des herbiers.....	19
Composition des herbiers : diversité et richesse spécifique .....	23
Biodiversité des herbiers : faune et flore associée .....	25
Conclusion .....	27
Bilan de la campagne de suivi 2020 .....	27
Recommandations.....	28
Bibliographie.....	30
Annexes .....	32

## Contexte et objectifs de l'étude

### Contexte

Les herbiers de phanérogames marines ont fait l'objet de nombreuses études scientifiques dans le monde notamment car ils constituent des zones de forte production primaire (Duarte et Chiscano, 1999 ; Duarte, 2002). D'après la littérature, les services écosystémiques rendus par les herbiers sont nombreux et on peut citer parmi eux leur rôle dans le maintien global d'un bon état de santé de l'écosystème côtier : régulation de l'érosion et de l'envasement, la séquestration du carbone et la production d'oxygène, le soutien à la biodiversité avec plusieurs rôles écologiques complémentaires comme celui de refuge, de zone de nourrissage, de nurserie etc. (Charbonnel et al. 2000, Cullen-Unsworth et al. 2014). Cependant, chaque herbier présente ses spécificités et ils ne rendent pas tous les mêmes services. Dans le contexte mahorais, ils sont notamment une source d'alimentation pour les tortues vertes (*Chelonia mydas*) et les dugongs (*Dugong dugon*), espèces emblématiques menacées inscrite sur la Liste Rouge de l'UICN.

A Mayotte, un suivi herbier est initié en 2004 localement et révèle la présence de 12 espèces d'herbiers de phanérogames marines sur 80 recensées dans le monde. Elles forment des herbiers plurispécifiques, dominés en termes d'occurrence par 3 ou 4 espèces dont les principales sont *Halodule uninervis*, *Syringodium isoetifolium*, *Halophila sp.* et *Thalassia hemprichii* (Loricourt, 2005). Ces herbiers sont ras, peu denses et fragmentés et colonisent aussi bien les secteurs de platiers de récifs barrières que les platiers de récifs frangeants. En 2015 le PNMM a permis d'étayer la connaissance de la distribution des herbiers intertidaux et de l'abondance des espèces de phanérogames sur tout le pourtour de l'île (Dedeken M., Ballorain K., 2015). Pour répondre aux besoins de la Directive européenne cadre sur l'eau (DCE) dans les DOM, des travaux ont été mis en œuvre ces dernières années pour améliorer les connaissances sur les herbiers tropicaux, leur fonctionnalité et à évaluer leur capacité à rendre compte de la qualité des eaux marines (Kerninon 2016). Dans ce contexte, le groupe de travail IFRECOR à Mayotte a proposé des sites d'herbiers à suivre en fonction de leur rôle fonctionnel supposé vis-à-vis des tortues marines (GT herbier du comité local IFRECOR, 2017), ceci sur la base de plusieurs travaux menés localement (Ballorain K., 2005, Ballorain K. et al., 2019).

### Objectifs

Dans le cadre du plan de gestion du Parc naturel marin de Mayotte (PNMM), l'un des objectifs de gestion est de « *maintenir en bon état de conservation l'ensemble des herbiers de phanérogames marines, en priorité les herbiers à fonctionnalité écologiques et rôle écosystémique particulier* ». Le PNMM a ainsi initié un suivi herbier en janvier 2020 dont les objectifs spécifiques étaient les suivants :

- Organiser et réaliser les relevés de terrain sur les herbiers de phanérogames marines sur les stations présentant un rôle fonctionnel selon la méthode de suivi issue du projet COPRA ;
- Entamer un suivi de l'état des herbiers sur la base d'un échantillon représentatif de différentes situations autour de l'île ;
- Construire et renseigner les indicateurs du tableau de bord du Parc naturel marin de Mayotte relatifs aux herbiers.

## Déroulement de la campagne

### Mise en œuvre opérationnelle

Dans un premier temps, une formation des agents du Parc à la reconnaissance des espèces d'herbiers et au déploiement du protocole a été assurée par le CEDTM. La formation s'est portée sur la reconnaissance des 12 espèces d'herbiers de phanérogames marines recensées à Mayotte (Annexe 1) et sur le déploiement du protocole de suivi adopté par le réseau régional Western Indian Ocean Seagrass Network (WIOSN) (Annexe 2).

La campagne de terrain s'est déroulée du 28 au 30 janvier et le 12 février 2020. La campagne d'échantillonnage a été menée par les agents du PNMM sous la supervision du CEDTM. Le GIE Marex a également participé à la campagne pour réaliser un inventaire ichtyologique sur les mêmes sites. L'équipe a pu réaliser cette mission à bord du M'Tsounga durant 4 journées d'échantillonnage, nécessaires pour réaliser le suivi de 4 stations.

### Méthodologie

La stratégie d'échantillonnage mise en œuvre a considéré différentes attentes. Tout d'abord elle s'intègre dans le plan de gestion du PNMM ciblant les zones d'herbiers à rôle écologique potentiel comme zones d'alimentation des tortues marines, préalablement définies lors du GT herbier du comité local IFRECOR de 2017 sur la base des relevés effectués lors de la campagne de 2014 (Dedeken et Ballorain, 2015). La localisation précise des sites s'est appuyée sur le plan d'échantillonnage des campagnes de 2017 et 2018 réalisées dans l'étude en cours sur la relation entre « pression anthropique et état de santé des herbiers » (Kerninon 2016) afin de conserver une relative continuité et comparabilité des résultats entre suivis. En ce qui concerne la méthode de suivi employée, elle est intégralement issue des recommandations méthodologiques faites par le WIOSN.

### Protocole de suivi et paramètres relevés

Le protocole de suivi des herbiers intertidaux adopté à Mayotte est inspiré des travaux menés dans le cadre du projet COPRA (Ballorain et al., 2019) et validé par le réseau régional WIOSN en 2018 (Annexe 2). Ce dernier est inspiré des protocoles internationaux (Seagrass Watch, Seagrass Net) et régionaux et répond ainsi à la volonté d'harmoniser les méthodes de relevés sur un panel de paramètres communs relevés a minima. Sur la base d'une boîte à outils (Annexe 2), le Parc en concertation avec le CEDTM a sélectionné les paramètres suivants (Figure 1) :

- Estimation du recouvrement des catégories de substrat (en %) sur toute la surface du quadrat ;
- Estimation du recouvrement de l'herbier (en %) sur toute la surface du quadrat ;
- Estimation de l'abondance relative de chaque espèce de phanérogame ;
- Mesure de la hauteur des brins en considérant 3 pieds par espèce ;
- Mesure de la fragmentation de l'herbier le long d'un LIT soit la longueur totale des patches de substrat non végétalisé pour un seuil fixé à 50cm. En dessous de ce seuil, l'herbier n'est pas fragmenté.

- Mesure de la diversité et de l'abondance de la faune benthique, incluant l'ichtyofaune. Ce relevé inclus les poissons benthiques, perciformes ou blennies (Annexe 3).

En complément, des paramètres sont ajoutés à cette liste comme la densité des différentes espèces, le recouvrement en macroalgues (Annexe 4) pour répondre aux objectifs des travaux de recherche en cours (étude d'éventuelles variations saisonnières, sur des stations évaluées par ailleurs dans le cadre du projet de recherche).

En parallèle de ce suivi, 2 relevés ichtyologiques sont menés pour dresser un état des lieux des peuplements et ainsi tenter de mieux comprendre la fonctionnalité des herbiers. Un premier relevé des abondances spécifiques de poissons est effectué au niveau du belt transect (50x2m), suivi d'un inventaire sur un parcours aléatoire pour un relevé exhaustif des peuplements ichtyologiques sur la zone considérée. Les résultats de ces suivis poissons sont présentés dans le rapport de Wickel J. 2020.

La figure ci-dessous schématise le protocole de suivi stationnel 2020 des herbiers marins intertidaux à Mayotte. Théoriquement, les transects doivent être positionnés perpendiculairement à la côte (point de départ vers le large).

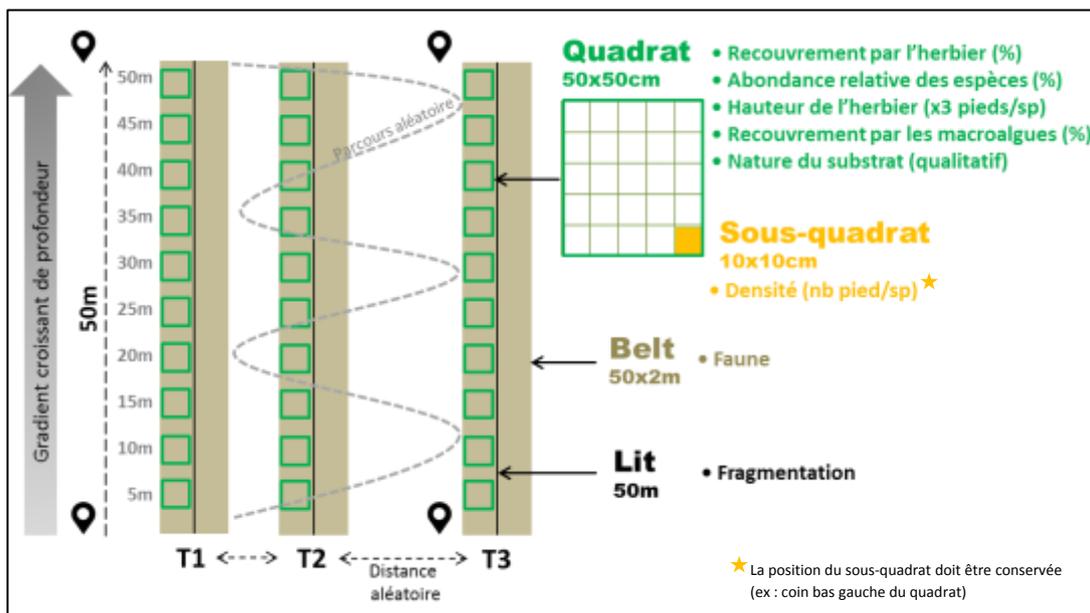


Figure 1 : Schématisation du protocole de suivi stationnel 2020 des herbiers marins intertidaux à Mayotte (issu des travaux du projet COPRA)

### Choix et descriptifs des stations

L'objectif de gestion du Parc, tel que défini dans son plan de gestion, priorise le suivi des herbiers à rôle fonctionnel reconnu. Ces derniers correspondent notamment aux zones d'herbier exploitées comme source d'alimentation par les tortues vertes (*Chelonia mydas*) et les dugongs (*Dugong dugon*), deux espèces emblématiques menacées à Mayotte. La préservation de ces zones est primordiale dans la conservation de ces espèces. En ce sens une stratégie d'échantillonnage a été élaborée lors du GT herbier du comité local IFRECOR de 2017 (Annexe 5) et adoptée pour ce suivi 2020. Cette stratégie vise les zones d'alimentation majeures des tortues marines et des dugongs.

Ainsi les 4 stations présélectionnées étaient en premier lieu : Nyamba, Passe en S, NGouja et Pamandzi. Pour des raisons logistiques, la station Nyamba a été remplacée par la station Mtsamboro. La figure 4 localise les différentes stations retenues au final lors du suivi 2020. Préalablement à chaque opération de suivi, une prospection de la zone a été systématiquement réalisée pour identifier une zone homogène, dense et diversifiée.

- La station Passe en S est située en bord de la Passe en S sur la barrière récifale de l'île. Les passes, au nombre de 12 à Mayotte, jouent le rôle fonctionnel principal de renouvellement des eaux et de corridor écologique entre le lagon et le domaine océanique. La passe en S est la plus connue et abrite une diversité exceptionnelle d'espèces marines. Face à cet enjeu écologique, la passe en S est depuis 1990 classée comme réserve intégrale de pêche. Indépendamment de son statut de cantonnement de pêche, plusieurs mesures réglementaires de protection des espèces préservent cette zone dont l'interdiction de prélèvement et de tous dispositifs d'ancrage (à l'exception de l'amarrage sur les bouées de mouillage) ainsi que la limitation de la vitesse de navigation. Elle constitue une zone d'alimentation majeure de la mégafaune.
- La station Pamandzi est située à l'est de l'île, sur la face océanique de la Petite Terre qui repose sur la barrière récifale, à proximité de la piste de l'aéroport. Elle présente une pente interne de récif barrière avec des massifs coralliens dispersés dans une zone sableuse. Elle fait partie des zones importantes de ressources pour les tortues et les dugongs, ce qui en fait une zone d'alimentation majeure à Mayotte. Cette zone est également très fréquentée pour la pratique traditionnelle de la pêche à pied qui comprend la pêche aux poulpes, aux coquillages. De manière générale cette pratique exerce une pression de piétinement probablement non négligeable mais non chiffrée à ce jour dont l'incidence sur le développement des herbiers en particulier reste à évaluer.
- La station Mtsamboro est située sur le platier qui entoure l'îlot dans le nord de Mayotte sur la barrière récifale. Relativement éloignée de Grande Terre, l'îlot Mtsamboro semble être préservé de certaines pressions humaines et notamment des apports terrigènes plus diffus. Malgré cela, on y constate une pression de la pêche à pieds ainsi que la pression d'amarrage avec une fréquentation non négligeable de plaisanciers ainsi que la présence d'agriculteurs exploitant l'îlot. Concernant son rôle dans l'alimentation de la mégafaune, elle est considérée comme zone secondaire.
- La station Ngouja est située à l'extrême sud-ouest de Mayotte au sein de la zone de protection de Ngouja, un site marin de 119ha au droit d'un des principaux complexes hôteliers de Mayotte... La station de suivi herbier 2020 est située dans un périmètre réglementé (navigation limitée à 1 nœud, échouage des embarcations autorisé temporairement et pour les bateaux de l'hôtel, amarrage exclusivement aux bouées, interdiction d'ancrage). Elle présente sur son site une faune marine remarquable notamment par la présence importante de tortues vertes et imbriquées, en alimentation et en reproduction. On y trouve une zone d'herbiers d'intérêt majeur pour l'alimentation des tortues marines et des dugongs. La pression touristique est assez forte sur ce site, ce qui implique notamment une potentielle pression de piétinement. Cependant, la présence d'un hôtel et d'un club de plongée permettent une surveillance du site et une sensibilisation des clients pour éviter toute dégradation. Un chenal a également été balisé pour indiquer aux baigneurs une zone de passage vers le récif et ainsi limiter le piétinement sur les herbiers.

Tableau 1 : Calendrier effectif du déroulement de la campagne herbiers 2020

Date	Station	Transect	Position	Coordonnées	Activités
<b>27/01/20</b>	Pamandzi	1	Début	-12,81167 45,2875	Prospection de la zone, formation aux agents à la reconnaissance des espèces et au déploiement du protocole, inventaire aléatoire poissons
			Fin	-12,81139 45,28694	
		3	Début	-12,81167 45,28722	
			Fin	-12,81167 45,28694	
<b>28/01/20</b>	Passs_1bis	1	Début	-12,85859 45,2739	Prospection de la zone, Quadrat, Belt, Lit, inventaire aléatoire poissons, Belt poissons
			Fin	-12,85901 45,27379	
		3	Début	-12,85842 45,27357	
			Fin	-12,85883 45,27347	
<b>29/01/20</b>	Mtsamboro	1	Début	-12,64426 45,04008	Prospection de la zone, Quadrat, Belt, Lit, inventaire aléatoire poissons, Belt poissons
			Fin	-12,64457 45,04039	
		3	Début	-12,64451 45,03992	
			Fin	-12,64484 45,04026	
<b>30/01/20</b>	NGouja	1	Début	-12,96306 45,08139	Prospection de la zone, Quadrat, Belt, Lit, inventaire aléatoire poissons, Belt poissons
			Fin	-12,96333 45,08111	
		3	Début	-12,96306 45,08111	
			Fin	-12,9625 45,08139	
<b>12/02/20</b>	Pamandzi	1	Début	-12,81167 45,2875	Quadrat, Belt, Lit
			Fin	-12,81139 45,28694	
		3	Début	-12,81167 45,28722	
			Fin	-12,81167 45,28694	

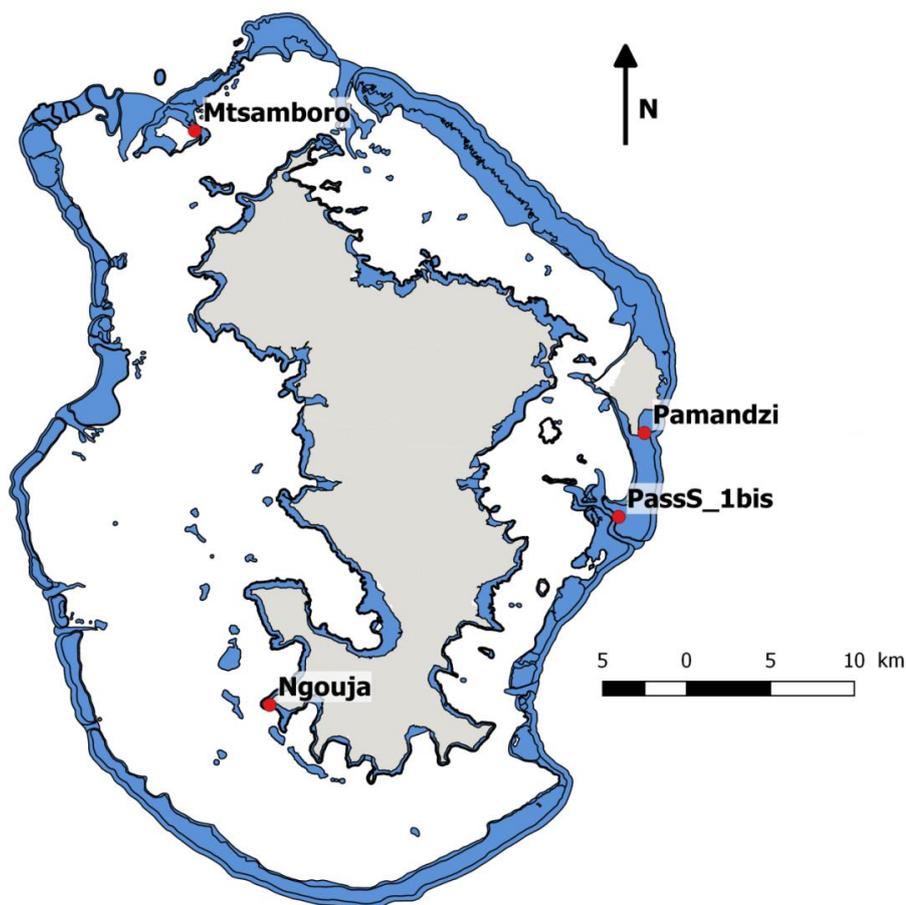


Figure 2 : Localisation des stations échantillonnées pour le suivi des herbiers intertidaux de Mayotte en 2020



Figure 3 : Situation géographique des transects de la station Mtsamboro



Figure 4 : Situation géographique des transects de la station Passe en S

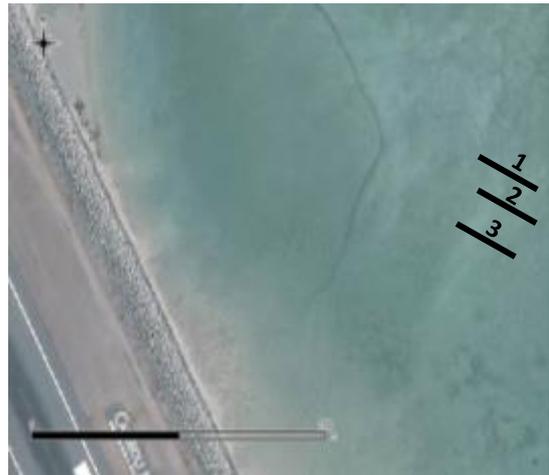


Figure 5 : Situation géographique des transects de la station Pamandzi

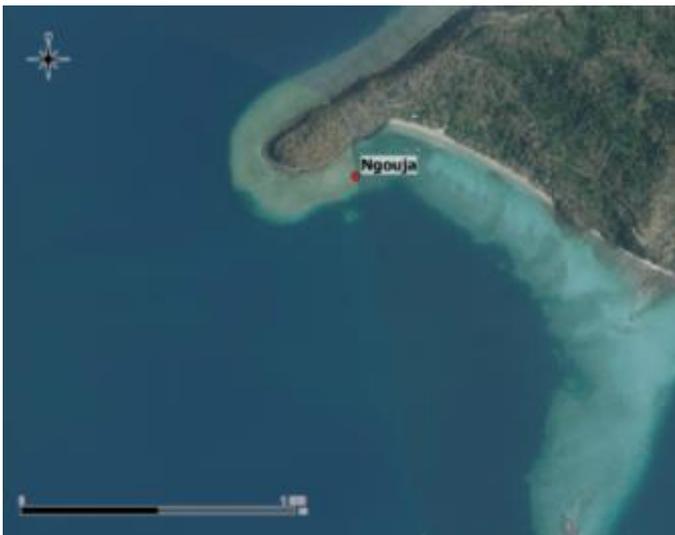


Figure 6 : Situation géographique des transects de la station Ngouja

## Résultats

Cette partie présente les résultats de la campagne de suivi des herbiers intertidaux réalisée entre janvier et février 2020. Il reprend les résultats de chaque paramètre collecté ainsi que quelques résultats issus du suivi ichtyologique (Wickel J., 2020).

### La station Passe en S

#### Données Quadrat (30 x 50cm<sup>2</sup>) :

- La station Passe en S étant représentée essentiellement par des fonds sableux, la part des substrats rocheux était négligeable et n'a donc pas été relevée (Annexe 6) ;
- Le recouvrement du substrat par l'herbier est de 27% ± 15 (Annexe 7) ;
- Le recouvrement du substrat par les macroalgues n'a pas été estimé (Annexe 8)
- Un herbier plurispécifique est composé de 4 genres répartis en 4 espèces : *Halodule Uninervis* (HU), le complexe *Halophila ovalis minor* (HOM), *Syringodium isoetifolium* (SI) et *Thalassia hemprichii* (TH) ;
- Les abondances relatives, par ordre décroissant sont les suivantes (Figure 7) : HU 78% ± 8, HOM 19% ± 9, SI 12% ± 6 et TH 4% ± 3 ;
- Les longueurs des plants (considérant le pied et la feuille) pour chaque espèce (3 pieds/espèce) sont les suivantes (Figure 8) : HU 54mm ± 8, HOM 15mm ± 2, SI 62mm ± 24, TH 49mm ± 9.

#### Données Sous quadrat (30 x 10cm<sup>2</sup>) :

- Les densités relatives de chaque espèce sont les suivantes (nbr pieds/espèces) (Figure 9) : HU 13 ± 7 pieds, HOM 5 ± 5 pieds, SI 3 ± 2 pieds et TH 1 ± 3 pieds.

#### Données Lit (3 x 50m) :

- Le taux de fragmentation (part de substrat sans herbier sur le transect) est de 5% ± 5 (Annexe 9).

#### Données Belt (3 x 100m<sup>2</sup>) :

- Le relevé de la faune (comptage nbr espèces ou taxons) a permis d'identifier différentes catégories benthiques et de calculer leur abondance relative (Figure 10). Les coraux sont les plus représentés avec une part occupée de 76% (61 individus isolés sur le sable) et les gastéropodes avec 10% (8 individus) ;
- Le calcul des abondances relatives de ces catégories selon leurs régimes trophiques révèle 3% d'herbivores, soit 15 individus, parmi la communauté benthique (Figure 11) ;
- Répartition des abondances de poissons selon leur régime alimentaire : 76% de carnivores, et 12 d'herbivores et selon leur maturité sexuelle : 33% individus adulte (Wickel J., 2020).

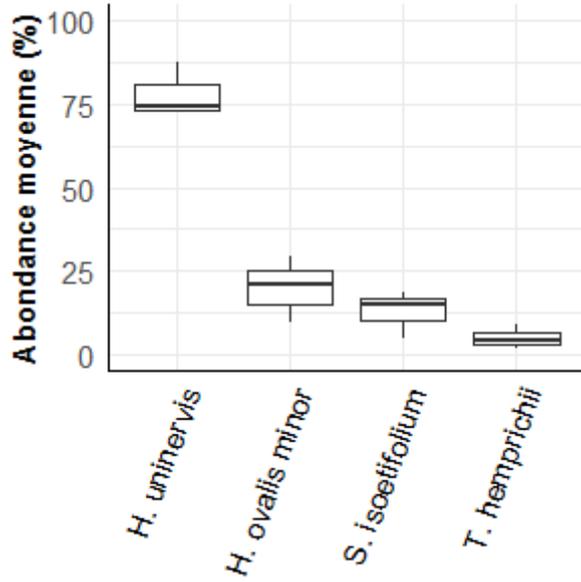


Figure 7 : abondance moyenne (en %) sur Passe en S

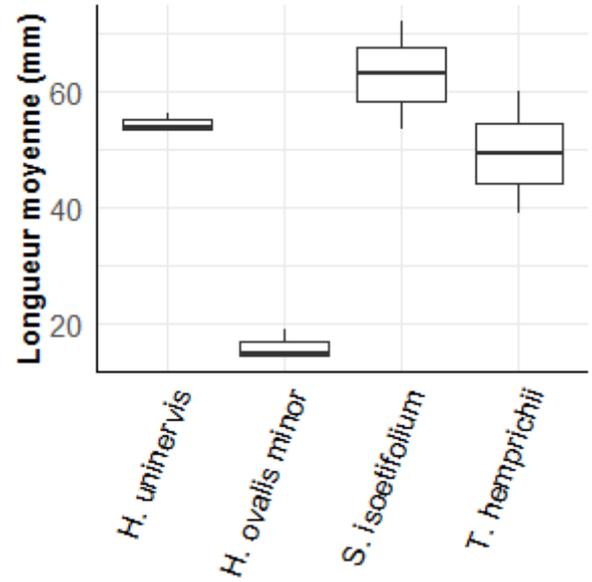


Figure 8 : Longueur moyenne (en mm) des plants sur Passe en S

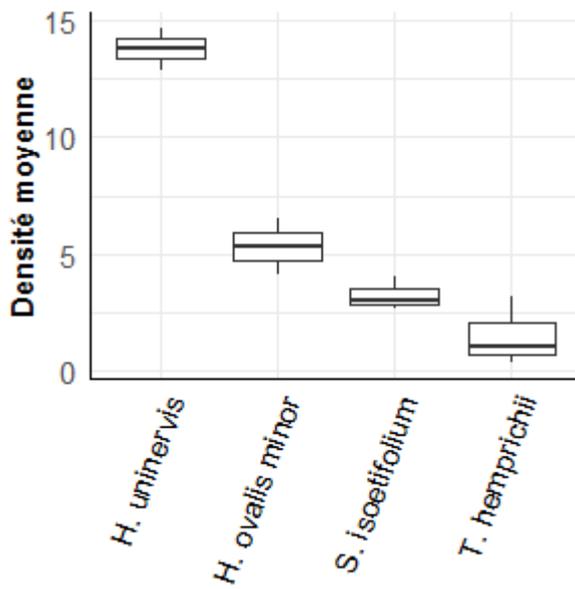


Figure 9 : Densité moyenne (nbr pieds/espèce) sur Passe en S

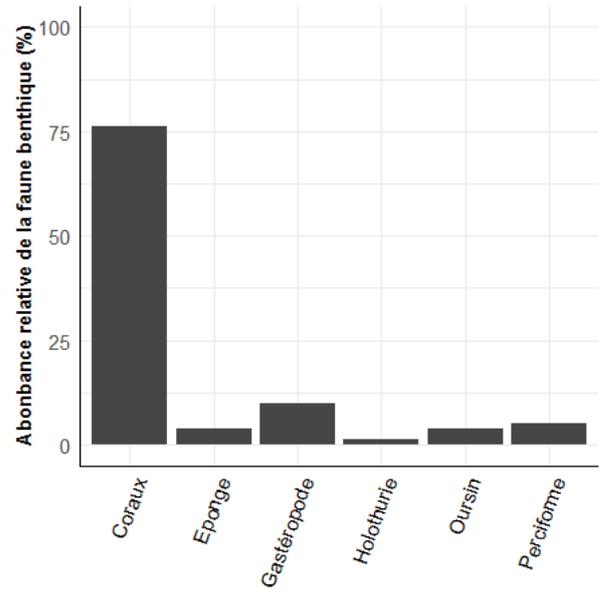


Figure 10 : Abondance relative des catégories benthiques (en %) sur Passe en S

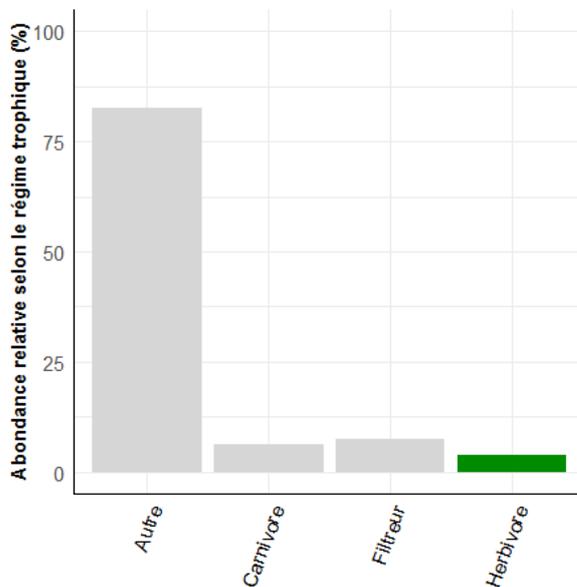


Figure 11 : Abondance relative des catégories benthiques selon le régime trophique (en %) sur Passe en S

## La station Mtsamboro

### Données Quadrat (30 x 50cm<sup>2</sup>) :

- La station Mtsamboro est composée de  $22\% \pm 24$  de substrat rocheux (Annexe 6) ;
- Le recouvrement du substrat par l'herbier est de  $16\% \pm 9$  (Annexe 7) ;
- Le recouvrement du substrat par les macroalgues est de  $6\% \pm 7$  (Annexe 8) ;
- Un herbier plurispécifique est composé de 5 genres répartis en 5 espèces : *Halodule uninervis* (HU), le complexe *Halophila ovalis minor* (HOM), *Syringodium isoetifolium* (SI), de *Thalassia hemprichii* (TH) et de *Cymodocea rotundata* (CR) ;
- Les abondances relatives, par ordre décroissant sont les suivantes (Figure 12) :  
HU  $62\% \pm 11$ , SI  $32\% \pm 9$ , TH  $28\% \pm 21$ , HOM  $17\% \pm 9$  et CR  $11\% \pm 4$  ;
- Les longueurs des plants pour chaque espèce (3 pieds/espèce) sont les suivantes (Figure 13) :  
HU  $48\text{mm} \pm 12$ , SI  $59\text{mm} \pm 13$ , TH  $46\text{mm} \pm 7$ , HOM  $19\text{mm} \pm 7$  et CR  $51\text{mm} \pm 10$ .

### Données Sous quadrat (30 x 10cm<sup>2</sup>) :

- Les densités relatives de chaque espèce sont les suivantes (nbr pieds/espèces) (Figure 14) :  
HU  $13 \pm 10$  pieds, SI  $4 \pm 8$  pieds, TH  $0.8 \pm 1$  pieds, HOM  $2 \pm 4$  pieds, CR  $1 \pm 1$  pied.

### Données Lit (3 x 50m) :

- Le taux de fragmentation (part de substrat sans herbier sur le transect) est de  $14\% \pm 3$  (Annexe 9).

### Données Belt (3 x 100m<sup>2</sup>) :

- Le relevé de la faune (comptage nbr espèces ou taxons) a permis d'identifier différentes catégories benthiques et de calculer leur abondance relative (Figure 15). Les catégories benthiques les plus représentées sont les crustacés avec 31% (28 individus), suivie des gastéropodes avec 27% (24 individus) et des oursins avec une part occupée de 15 % (15 individus) ;
- Le calcul des abondances relatives de ces catégories selon leurs régimes trophiques révèle 39% d'herbivores, soit 35 individus, parmi la communauté benthique (Figure 16) ;
- Répartition des abondances de poissons selon leur régime alimentaire : dominance de petits carnivores (56% des individus) et une bonne représentation des herbivores (30%). Une forte proportion (85%) des poissons observés concernent des individus n'ayant pas atteint leur maturité sexuelle (Wickel J., 2020).

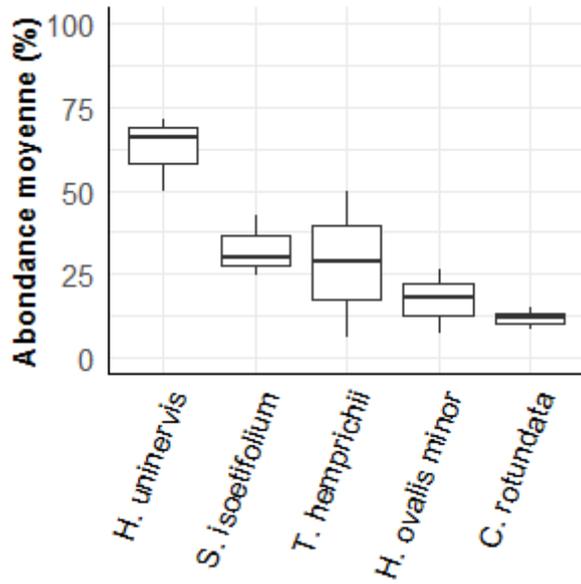


Figure 12 : abondance moyenne (en %) sur Mtsamboro

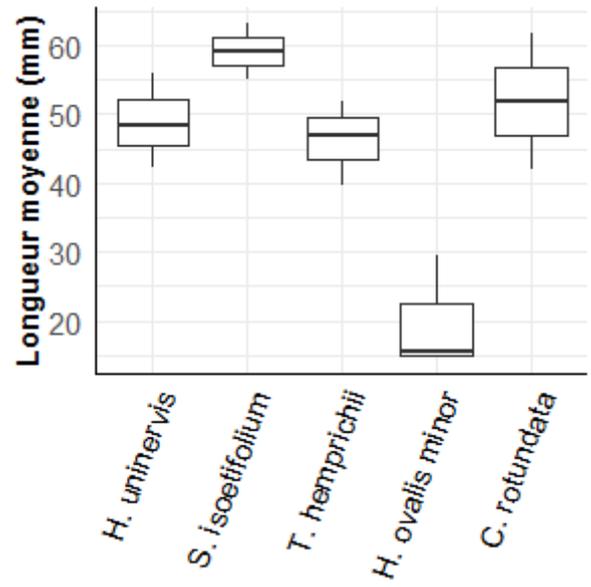


Figure 13 : Longueur moyenne (en mm) des plants sur Mtsamboro

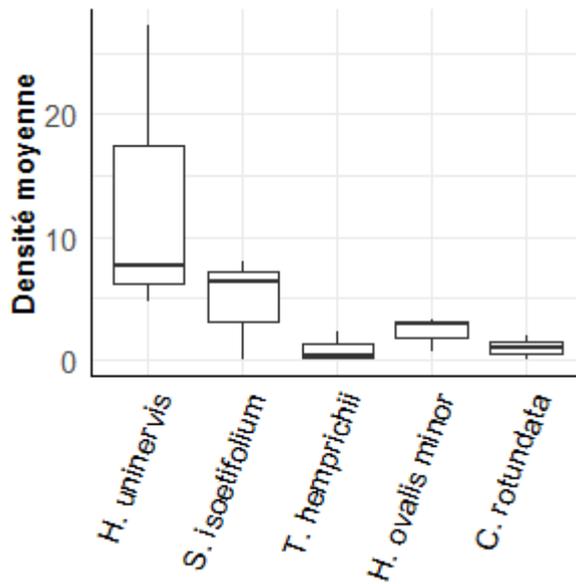


Figure 14 : Densité moyenne (nbr pieds/espèce) sur Mtsamboro

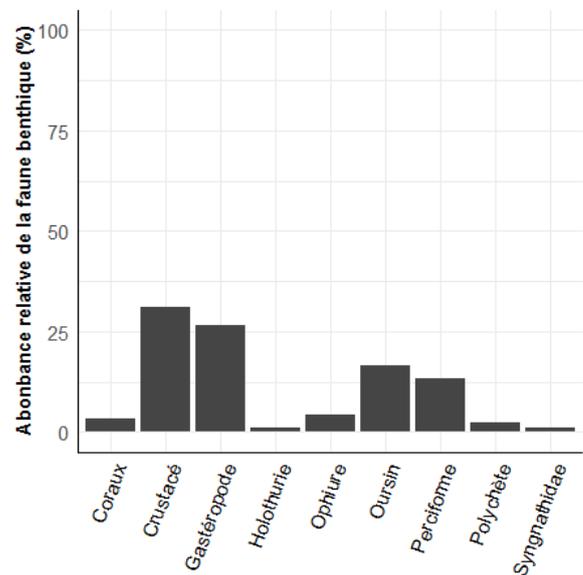


Figure 15 : Abondance relative des catégories benthiques (en %) sur Mtsamboro

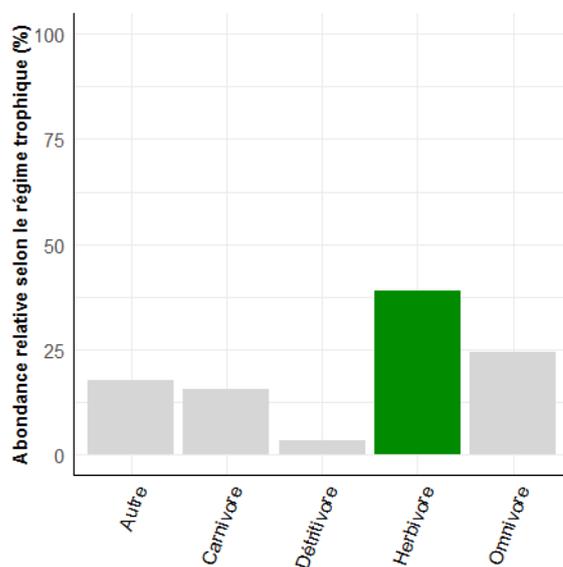


Figure 16 : Abondance relative des catégories benthiques selon le régime trophique (en %) sur Mtsamboro

## La station Ngouja

### Données Quadrat (30 x 50cm<sup>2</sup>) :

- La station Ngouja est composée de 22% ± 17 de substrat rocheux (Annexe 6) ;
- Le recouvrement du substrat par l'herbier est de 16% ± 5 (Annexe 7) ;
- Le recouvrement du substrat par les macroalgues est de 3% ± 2 (Annexe 8) ;
- Un herbier plurispécifique est composé de 4 genres répartis en 4 espèces : *Halodule uninervis* (HU), le complexe *Halophila ovalis minor* (HOM), *Syringodium isoetifolium* (SI) et *Thalassia hemprichii* (TH) ;
- Les abondances relatives par ordre décroissant sont les suivantes (Figure 17) :  
HU 64% ± 11, SI 20% ± 5, HOM 13% ± 7, TH 8% ± 4 ;
- Les longueurs des plants pour chaque espèce (3 pieds/espèce) sont les suivantes (Figure 18) :  
HU 46mm ± 5, SI 51mm ± 14, HOM 15mm ± 2 et TH 39mm ± 7.

### Données Sous quadrat (30 x 10cm<sup>2</sup>) :

- Les densités relatives de chaque espèce sont les suivantes (nbr pieds/espèces) (Figure 19) :  
HU 12 ± 10 pieds, SI 3 ± 4 pieds, HOM 3 ± 4 pieds et TH 1 ± 3 pieds.

### Données Lit (3 x 50m) :

- Le taux de fragmentation est de 0.7% ± 1 (Annexe 9).

### Données Belt (3 x 100m<sup>2</sup>) :

- Le relevé de la faune (comptage nbr espèces ou taxons) a permis d'identifier différentes catégories benthiques et de calculer leur abondance relative (Figure 20). Les catégories benthiques les plus représentées sont les oursins avec une part occupée de 49% (77 individus), puis les coraux avec 24% (38 individus);
- Le calcul des abondances relatives de ces catégories selon leurs régimes trophiques révèle 50 % d'herbivores, soit 79 individus (Figure 21) ;
- Répartition des abondances de poissons selon leur régime alimentaire : équilibrée avec une codominance des carnivores, herbivores et planctonophages, chaque groupe représentant 30% du peuplement total. Concernant la répartition selon la maturité sexuelle, 33% des individus étaient adultes (Wickel J., 2020).

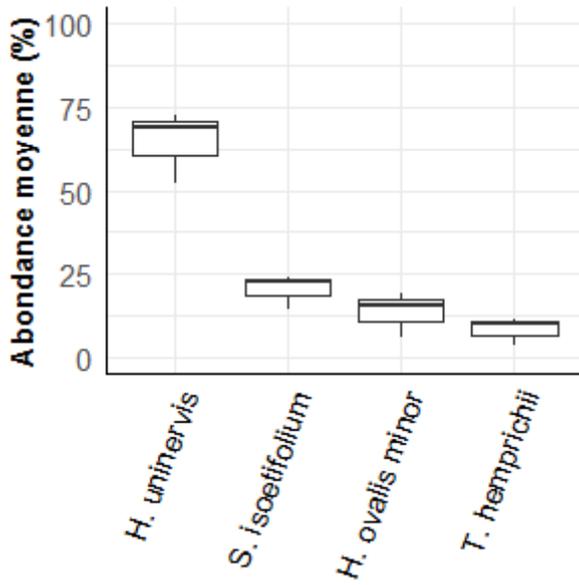


Figure 17 : abondance moyenne (en %) sur Ngouja

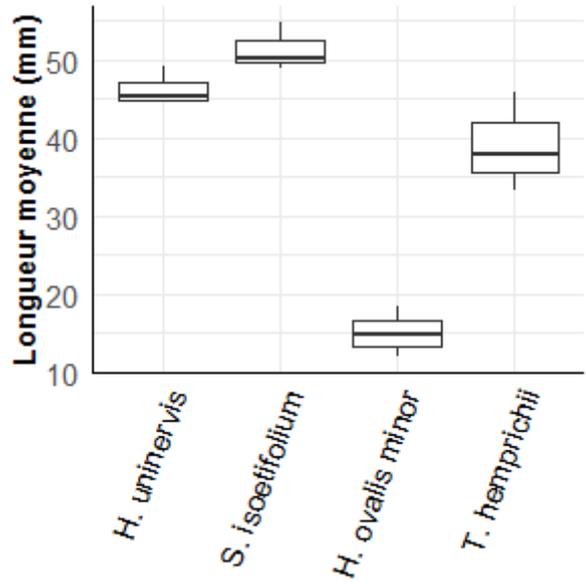


Figure 18 : Longueur moyenne (en mm) des plants sur Ngouja

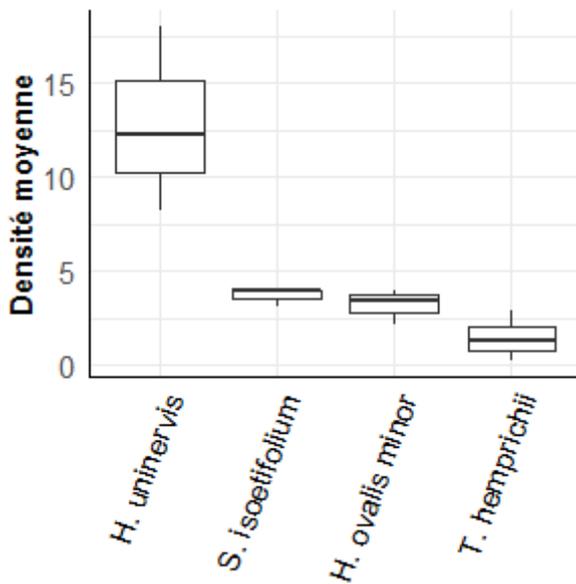


Figure 19 : Densité moyenne (nbr pieds/espèce) sur Ngouja

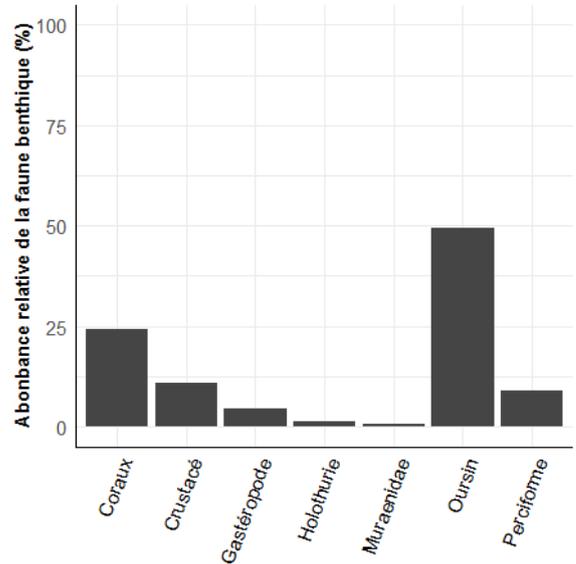


Figure 20 : Abondance relative des catégories benthiques (en %) sur Ngouja

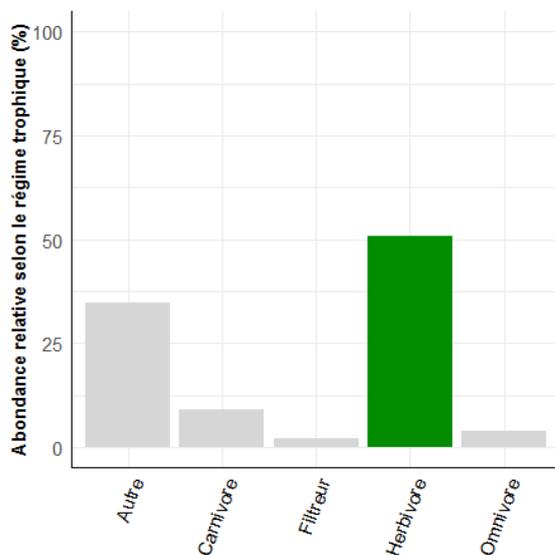


Figure 21 : Abondance relative des catégories benthiques selon le régime trophique (en %) sur Ngouja

## La station Pamandzi

### Données Quadrat (30 x 50cm<sup>2</sup>) :

- La station Pamandzi est composée de  $4\% \pm 3$  de substrat rocheux (Annexe 6) ;
- Le recouvrement du substrat par l'herbier est de  $33\% \pm 14$  (Annexe 7) ;
- Le recouvrement du substrat par les macroalgues est de  $1\% \pm 1$  (Annexe 8) ;
- Un herbier plurispécifique est composé de 4 genres répartis en 4 espèces : *Halodule uninervis* (HU), *Thalassia hemprichii* (TH), le complexe *Halophila ovalis minor* (HOM), et *Cymodocea rotundata* (CR).
- Les abondances relatives par ordre décroissant sont les suivantes (Figure 22) :  
HU  $80\% \pm 10$ , TH  $14\% \pm 12$ , CR  $12\% \pm 3$  et HOM  $1\% \pm 7$ ;
- Les longueurs des plants pour chaque espèce (3 pieds/espèce) sont les suivantes (Figure 23) :  
HU  $45\text{mm} \pm 8$ , TH  $44\text{mm} \pm 5$ , HOM  $19\text{mm} \pm 5$ , CR  $44\text{mm} \pm 9$ .

### Données Sous quadrat (30 x 10cm<sup>2</sup>) :

- Les densités relatives de chaque espèce sont les suivantes (nbr pieds/espèces) (Figure 24) :  
HU  $19 \pm 9$  pieds, TH  $1 \pm 3$  pieds, HOM  $1 \pm 1$  pied et CR  $0 \pm 0$  pied.

### Données Lit (3 x 50m) :

- Le taux de fragmentation est de  $1\% \pm 2$  (Annexe 9).

### Données Belt (3 x 100m<sup>2</sup>) :

- Le relevé de la faune (comptage nbr espèces ou taxons) a permis d'identifier différentes catégories benthiques et de calculer leur abondance relative (Figure 25). Les catégories benthiques les plus représentées sont les oursins avec 39% (15 individus), puis les poissons perciformes avec 26% (10 individus);
- Le calcul des abondances relatives de ces catégories selon leurs régimes trophiques révèle 39% d'herbivores, soit 15 individus, parmi la communauté benthique (Figure 26);
- Répartition des abondances de poissons selon leur régime alimentaire : 48% des individus carnivores, suivis par les planctonophages (27%) et les herbivores avec 17%. Enfin, 94% des poissons observés concerne des individus n'ayant pas atteint leur maturité sexuelle (Wickel J., 2020).

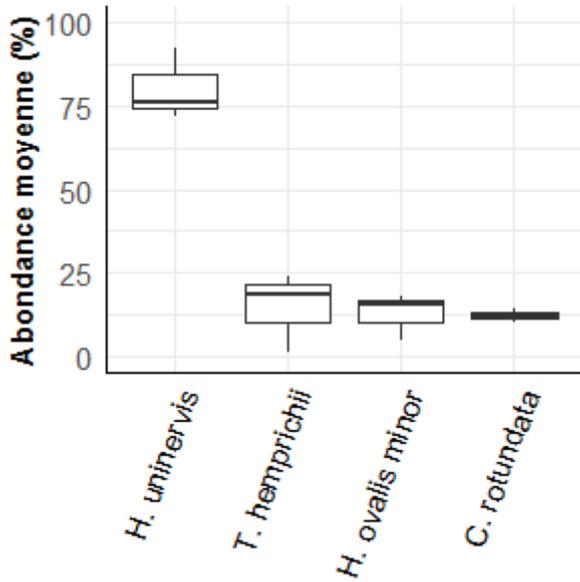


Figure 22 : abondance moyenne (en %) sur Pamandzi

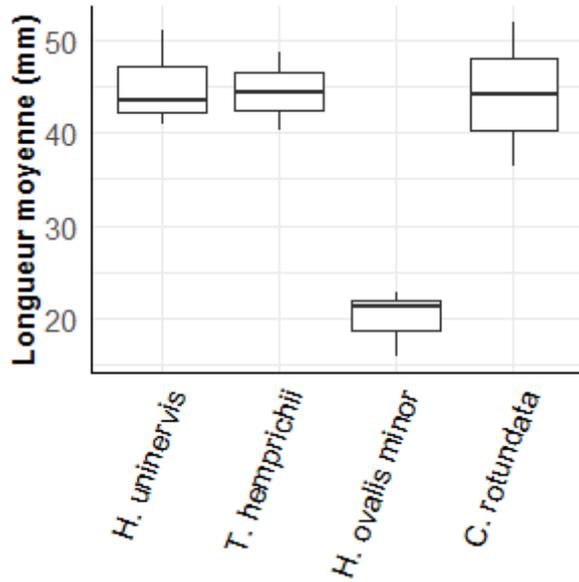


Figure 23 : Longueur moyenne (en mm) des plants sur Pamandzi

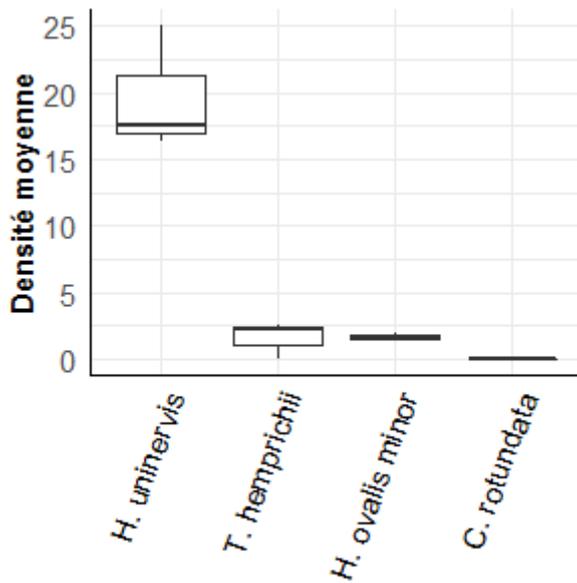


Figure 24 : Densité moyenne (nbr pieds/espèce) sur Pamandzi

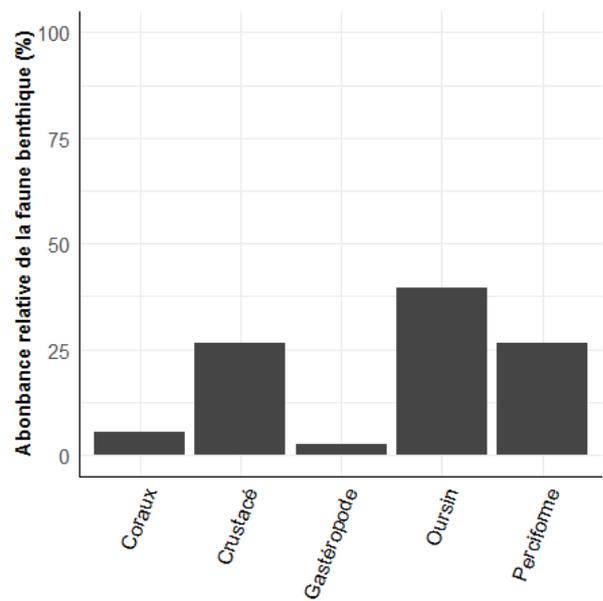


Figure 25 : Abondance relative des catégories benthiques (en %) sur Pamandzi

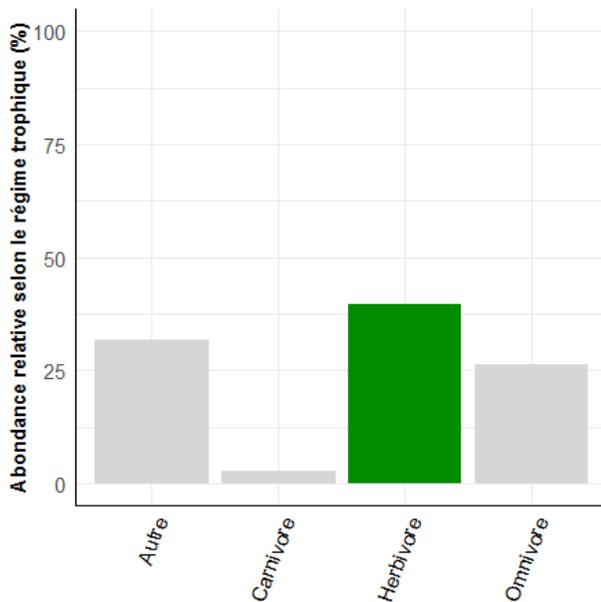


Figure 26 : Abondance relative des catégories benthiques selon le régime trophique (en %) sur Pamandzi

## Discussion

Cette partie présente les variations spatiales observées et les facteurs potentiels à l'origine de ces variations. Afin d'appréhender l'évolution de la structure et de la composition des herbiers, les résultats 2020 sont comparés aux précédentes études, notamment celles de 2017 et 2018 ayant déployé un protocole de suivi similaire sur les stations prospectées.

## Distribution des herbiers

La distribution des herbiers est ici étudiée selon la nature du substrat, la fragmentation de l'herbier et le recouvrement des phanérogames sur le substrat. Ces 3 métriques peuvent apporter des informations sur les contextes sédimentaires et les conditions hydrodynamiques du site (Pergent, 2007) pouvant affecter à terme l'état général d'un herbier intertidal. En effet des apports de sable peuvent ensevelir l'herbier et provoquer sa disparition, quant aux conditions hydrodynamiques (courants sous-marins notamment) elles peuvent favoriser l'érosion du milieu et générer des processus de fragmentation importants de l'herbier (Erftemeijer et Herman 1994). C'est pourquoi l'étude de cette distribution considère les situations géographiques où les facteurs naturels et anthropiques qui régissent la structure de l'herbier diffèrent selon les stations. Mais le développement des herbiers est soumis à bien d'autres facteurs comme la salinité (Short et Neckless, 1999, Walker et McComb, 1990), la concentration en oxygène (Holmer et Bondaard, 2001), les apports en nutriments, le niveau de pH (Larkum et al., 2006), la turbidité et la luminosité (Short et al., 2001). Les facteurs biotiques interviennent également tels que les épiphytes, l'épifaune et l'herbivorie (Lanyon et al., 1989).

La proportion de substrat rocheux, difficilement colonisable par l'herbier, a été mesurée sur les stations Mtsamboro, Ngouja et Pamandzi sans notion de granulométrie. La part moyenne occupée par le substrat dur est de  $22\% \pm 24$  pour Mtsamboro,  $22\% \pm 17$  pour Ngouja et  $4\% \pm 3$  pour Pamandzi. La station Passe en S étant représentée essentiellement par des fonds sableux, la part des substrats rocheux était négligeable et n'a donc pas été relevée. Si les stations sont représentées en dominance par des substrats à fond sableux (80% au minimum), la dispersion des valeurs sur Mtsamboro et Ngouja indique l'importante variation de proportion des types de substrats rencontrés (rocheux vs sableux) au sein de ces stations. La prospection initiale menée au préalable ayant permis de cibler la zone la plus homogène possible, il est peu probable d'identifier une autre zone plus favorable au déploiement du suivi sur ces secteurs. On constate ainsi une hétérogénéité générale sur ces stations dans la composition du substrat et un calcul supplémentaire de recouvrement du substrat meuble par l'herbier relatif au substrat apporterait une lecture moins biaisée. Par ailleurs, il apparaît également judicieux de procéder ultérieurement à un calcul d'aire minimale de relevé pour justifier ou non la représentativité des échantillons mesurés une surface de  $50 \times 50 \text{cm}^2$ .

La disposition de l'herbier vis-à-vis du substrat est connue : l'herbier colonise généralement les fonds meubles car ils favorisent la pénétration des racines et des rhizomes. Dépendant de la nature du substrat, le recouvrement des herbiers est également le résultat des processus de fragmentation. L'étude du recouvrement des herbiers à Mayotte de 2014 révèle que 88% des zones contenant de l'herbier présentaient un recouvrement inférieur à 50%. Le suivi 2020 sur ces 4 stations appuie ces

premiers résultats. Si la part de substrats à fond sableux est dominante sur les stations prospectées en 2020, les herbiers présentent des taux de recouvrement moyens variables, entre 17 et 33%. Concernant les taux de fragmentation associés à ces herbiers, les valeurs moyennes sont également variables soit entre 0,7% et 14 de fragmentation (pour un seuil fixé > 50 cm) selon la station étudiée.

Le recours aux indices de classe est une méthode permettant de mettre en évidence certaines disparités entre les observations et de limiter aussi la subjectivité des estimations de recouvrement (Tableau 2).

Tableau 2 : indices attribués en fonction du pourcentage de recouvrement du substrat par les herbiers (D'après Braun-Blanquet et al., 1952)

Indice	Classe de % de recouvrement
1	< 5%
2	5 – 25%
3	25 – 50 %
4	50 – 75 %
5	> 75 %

Selon cette grille d'indice de recouvrement les stations Mtsamboro et Ngouja ont en moyenne un indice de 2 (classe 5 – 25%) et les stations Passe en S et Pamandzi possèdent en moyenne un indice de 3 (classe 25 – 50%). Les valeurs de recouvrement qui fixent les classes étant relativement espacées, une analyse spatiale est réalisée pour tenter d'expliquer de telles disparités.

Concernant les stations ayant un recouvrement de l'herbier d'indice de 2 (classe 5 – 25%), les causes d'un faible recouvrement semblent être d'origines variées. La station Mtsamboro est située dans un système ouvert non protégé par la barrière récifale soumise aux influences océaniques (hydrodynamisme, courants) notamment durant l'été austral (De la Torre Y. et al., 2003). Ces conditions hydrodynamiques globalement soutenues sur cette période de l'année sont parmi les facteurs limitant les capacités de l'herbier à coloniser le milieu (Bell SS et al., 1999). Ces conditions pourraient être la cause du faible recouvrement de l'herbier ( $16\% \pm 9$ ) ainsi qu'un taux de fragmentation élevé ( $14\% \pm 3$ ) sur la zone. Si les conditions hydrodynamiques limitent la colonisation de l'herbier sur Mtsamboro à cette période de l'année, elles le sont beaucoup moins durant l'hiver austral. Ce phénomène pourrait ainsi expliquer les 30% de recouvrement estimé durant l'hiver austral (résultat du suivi de 2017). Le suivi des herbiers sur les 2 périodes au cours d'une même année serait utile pour étudier ces variations phénologiques. Par ailleurs, le suivi de la faune associée aux herbiers révèle une importante proportion d'herbivores sur la zone soit 39% d'herbivores pour la faune benthique et 30% d'herbivores pour l'ichtyofaune. Ces derniers, susceptibles d'exploiter l'herbier comme source d'alimentation, pourraient ainsi présenter une limite supplémentaire à l'expansion de l'herbier.

Cette configuration est contraire à celle de Ngouja située en zone côtière au sein d'une baie abritée par la barrière récifale réduisant l'influence des facteurs hydrodynamiques sur l'herbier (De la Torre Y. et al., 2003). On y retrouve un herbier très peu fragmenté soit  $0,7\% \pm 1$ , pouvant être lié aux conditions plus calmes. Malgré ces conditions favorables, l'herbier de Ngouja semble être exposé à d'autres facteurs limitant son développement tel que la pression d'herbivorie. Cette station présente en effet la plus grande proportion d'herbivores parmi la faune benthique (51%) et l'ichtyofaune (30%). D'autre part, plusieurs études ont montré la fréquentation importante des tortues vertes sur

le site de Ngouja, qui possèdent un régime quasi-exclusivement herbivore une fois adultes (Ballorain K., 2005). Cette pression d'herbivorie apparaît comme une limite probable à l'expansion de l'herbier et notamment à la bonne croissance des feuilles. En effet les longueurs moyennes les plus faibles sont retrouvées sur la station Ngouja (*Halodule uninervis* : 46mm  $\pm$  5, *Syringodium isoetifolium* : 51mm  $\pm$  14, *Thalassia hemprichii* : 39mm  $\pm$  7). Il existe néanmoins une sélectivité des espèces de phanérogames dans le régime alimentaire des tortues vertes qui priorisent la consommation de *Halodule uninervis* et *Syringodium isoetifolium* (Ballorain K., 2005). La dimension des brins est donc à mettre en relation avec d'autres facteurs pouvant influencer la composition et la structure des herbiers (régime d'exondation, vitesse de colonisation, compétition inter spécifique etc.) (Erftemeijer & Herman 1994). D'autre part, le piétinement par la fréquentation touristique et dans une moindre mesure les pratiques de pêche à pied autorisées sur ce secteur de la baie apparaissent également comme limites plausibles au développement de l'herbier. Même si aucune étude n'existe à ce jour sur l'impact potentiel de ces pratiques de pêche sur les herbiers, la pêche à pied génère une action physique (piétinement) sur le substrat, potentiellement recouvert par des herbiers. Afin de caractériser cet impact, le déploiement d'un suivi herbier sur des sites contrastés en termes de fréquentation de pêche à pieds pourrait être révélateur.

Le suivi de l'herbier en septembre 2017 sur Ngouja révèle un pourcentage de recouvrement plus élevé (soit le double avec 30% environ) comparé à janvier 2020. Hormis la pression d'herbivorie et potentiellement celle du piétinement, une influence saisonnière semble expliquer une telle variation entre 2017 et 2020. Durant l'été austral, le développement de l'herbier sur la station Ngouja est davantage soumis aux influences terrigènes qui impactent à la fois la qualité de l'eau (turbidité, luminosité) et du sédiment (anoxie). Les adaptations morphologiques des brins d'*Halodule* sur cette station semblent être le résultat de l'influence des apports terrigènes. En effet sur cette station la largeur des brins sur la majorité des *Halodule* était notablement plus importante en comparaison des autres stations (constatation empirique). La modification de la dimension de la feuille est une stratégie d'adaptation ; face à une diminution de l'intensité lumineuse, une augmentation de la surface de pénétration de la lumière permet d'assurer une activité photosynthétique suffisante pour la plante (Begon et al, 2006).

La station Passe en S présente quant à elle un recouvrement élevé de l'herbier soit 27%  $\pm$  15, ce qui la situe en moyenne dans un indice de recouvrement de 3 (classe 25 – 50%). Pour quelles raisons ? D'après les données mesurées, ce recouvrement peut être associé à la très forte dominance de fonds sableux favorisant la colonisation de l'herbier sur la zone. Cet herbier est aussi caractérisé par une faible fragmentation avec un taux mesuré à 5%  $\pm$  5 malgré les fortes influences hydrodynamiques connues sur le secteur de la Passe en S (De la Torre Y. et al., 2003). Le renouvellement des eaux permanent sur ce secteur semble peut-être prévaloir sur les conditions hydrodynamiques. La clarté de la colonne d'eau pourrait ainsi expliquer les plus grandes longueurs de brins mesurées sur la station Passe en S pour *Halodule uninervis*, *Syringodium isoetifolium* et *Thalassia hemprichii*. La présence de longs brins peut également témoigner d'une pression d'herbivorie (Townsend et Fonseca 1998) évaluée comme la plus faible d'après les données relevées, avec 3% d'herbivores pour la faune benthique et 12% pour l'ichtyofaune. D'après les travaux de Ballorain K. (2005), les tortues vertes de Ngouja consommeraient 61,7% de la production journalière de l'herbier. L'état des herbiers est probablement lié d'une part à la pression d'herbivorie des tortues marines, qu'il conviendrait de caractériser plus finement. Cet état peut s'expliquer également en partie par les densités d'ichtyofaune herbivore définies dans la présente étude.

Les résultats préliminaires de la thèse en cours indiquent qu'en octobre 2018 le recouvrement de l'herbier sur cette station était de 17% (Annexe). Sur le secteur de la Passe en S l'influence d'un facteur saisonnier ne semble pas évidente pour expliquer cette variation de recouvrement entre 2018 et 2019. La poursuite des suivis à l'échelle intra et inter annuelle permettra certainement de mieux cibler la cause.

Quant à l'herbier échantillonné sur la station de Pamandzi, son recouvrement moyen est le plus élevé soit  $33\% \pm 14$  le situant en moyenne dans un indice de recouvrement de 3 (classe 25 – 50%). Les caractéristiques du site ne nous permettent pas d'interpréter ce recouvrement élevé de l'herbier. En effet, même si cette station semble pouvoir bénéficier du brassage des eaux océaniques, cette station apparaît plus soumise aux pressions anthropiques. Située à proximité de la côte, la pollution de l'eau a déjà été pointée (ARS Mayotte 2020) et la pratique de la pêche à pied sont connues sur la zone. De plus, la pression d'herbivorie sur la zone est non négligeable avec une part d'herbivores de 39% parmi la communauté benthique et la présence de tortues et dugongs qui mériterait d'être évaluée.

Cependant, l'identification d'un biais observateur nous invite à nuancer ces estimations de recouvrement. Ces dernières ont été réalisées par 2 observateurs, chacun ayant relevé les données de recouvrement sur l'intégralité d'un transect, le troisième transect a été quant à lui parcouru par les 2 observateurs. Pour le transect 1, les valeurs de recouvrement estimées par l'observateur n°1 ont amené à un recouvrement moyen de  $48\% \pm 19$  contre  $18\% \pm 4$  de recouvrement moyen pour le transect 2 estimé intégralement par l'observateur n°2. L'influence d'une variation spatiale dans la structure de l'herbier entre les transects 1 et 2 semble pouvoir être écartée. En effet si l'on s'intéresse aux valeurs du transect 3, le recouvrement moyen estimé par l'observateur n°1 est de  $51\% \pm 11$  (données sur 7 quadrats) contre  $17\% \pm 2$  estimé par l'observateur n°2 (données sur 3 quadrats). Les possibilités d'exploiter ce recouvrement sur cette station en termes d'interprétations écologiques apparaissent limitées face à ce biais d'observateur évident. Si l'on s'intéresse aux données de densité sur cette station, elles ne mettent pas en évidence de telles disparités entre observateurs et rendent compte d'une variabilité générale des valeurs, probablement liée à la faible surface d'échantillonnage. Par exemple les densités les plus importantes peuvent être associées à un recouvrement faible et inversement, cela quel que soit l'observateur. A première vue, cette variation entre observateurs pourrait s'expliquer avec l'espacement des sessions de relevés avec la station Pamandzi prospectée un mois après les 3 premières. Or la continuité dans l'échantillonnage permet d'estimer les taux de recouvrement dans un même référentiel avec la possibilité de comparer et ajuster les valeurs; une recommandation méthodologique est proposée en fin de rapport.

Le contexte géographique particulier des zones échantillonnées incite à mener une réflexion propre à chacune des stations pour tenter de comprendre les valeurs mesurées et les évolutions observées. En effet nombreux sont les facteurs qui modulent la distribution des herbiers. Ces facteurs peuvent être d'origine spatiale, temporelle, naturelle et humaine. Les stations ne semblent pas être soumises aux mêmes pressions ainsi qu'aux mêmes effets saisonniers. Par exemple, la colonisation de l'herbier sur la station Ngouja semble limitée par les apports terrigènes durant l'été austral, quant à l'herbier de Mtsamboro ce sont les conditions hydrodynamiques de l'été austral qui contrôlent son expansion. Ces facteurs apparaissent comme les plus évidents selon le contexte géographique des sites prospectés mais bien d'autres rentrent en jeu dans la distribution des herbiers et devront être explorés par la suite si l'on souhaite mieux comprendre ces variations spatio-temporelles.

## Composition des herbiers : diversité et richesse spécifique

Cette campagne terrain a permis de recenser 5 espèces réparties en 5 genres de phanérogames marines : le complexe *Halophila ovalis minor*, *Halodula uninervis*, *Syringodium isoetifolium*, *Thalassia hemprichii* et *Cymodocea rotundata*. Ces dernières comptent parmi les 11 espèces déjà recensées à Mayotte lors du suivi herbier de 2004, sur 80 environ recensées dans le monde.

Observés dès 2004, ils forment des herbiers plurispécifiques dominés en termes d'occurrence par 3 ou 4 espèces dont les principales sont *Halodule uninervis*, *Syringodium isoetifolium*, *Halophila sp.* et *Thalassia hemprichii*. On constate une relative stabilité de leur répartition entre 2004 et 2014 même si on se heurte à des différences d'efforts d'échantillonnage et de protocoles de suivi. D'un point de vue diversité spécifique, 9 espèces de phanérogames marines sont recensées en 2014 mais pour les mêmes raisons, il est difficile de conclure sur une réelle baisse de diversité. Les suivis stationnels réalisés en 2017 et 2018 ont également permis de recenser la majorité de ces 5 espèces recensées en 2020 sur les stations Passe en S, Mtsamboro et Ngouja ; la station Pamandzi n'ayant pas été suivie auparavant (thèse de F. Kerninon sur le développement d'indicateurs Ifrecor-DCE). Notons par ailleurs qu'en 2020 sur la station de Mtsamboro on recense l'espèce *Cymodocea rotundata* (7%) et sur la station Passe en S l'espèce *Syringodium isoetifolium* (10%), non recensées sur ces stations en 2017 et 2018. Tous les herbiers échantillonnés sont plurispécifiques, composé de 5 espèces pour les plus diversifiés (station Mtsamboro) et de 4 espèces pour les autres stations. Parmi celles-ci, *Halodula uninervis*, le complexe *Halophila ovalis minor* et *Thalassia hemprichii* composent systématiquement l'herbier. En effet ces deux premières sont des espèces dites pionnières, voir opportuniste pour *H. ovalis minor*. Quant à *Syringodium isoetifolium* on observe cette espèce sur toutes les stations sauf Pamandzi. Enfin on relève la présence de *Cymodocea rotundata* uniquement sur les stations Mtsamboro et Pamandzi.

Les résultats d'abondance relative montrent que sur les 4 stations échantillonnées, *Halodule uninervis* est l'espèce la plus abondante parmi la communauté de phanérogames. Si *Halodule uninervis* est souvent associée à d'autres phanérogames, elle est l'espèce largement dominante sur chacune des stations. Cela peut s'expliquer par le fait que parmi toutes les espèces de phanérogames, *Halodule uninervis* est considérée comme une espèce pionnière qui présente les plus grandes capacités d'adaptation aux variabilités des conditions environnementales (Masini et al. 2001).

Si l'on compare ces abondances à celles mesurées lors des suivis de 2017 et 2018, plusieurs « tendances » d'évolution se dégagent selon l'espèce et la zone étudiée (Tableau 3).

Tableau 3 : Variations temporelles des abondances relatives pour chaque espèce et zone étudiée entre 2017 pour les stations Ngouja et Mtsamboro, entre 2018 et 2020 pour Passe en S  
(Code couleur : en rouge indique une évolution à la baisse, en vert une évolution à la hausse)

Stations*	Espèces	Evolution et taux de variation depuis 2017 (%)
Ngouja	HU	+ 50
	SI	+ 13
	TH	- 22
	HOM	- 62
Mtsamboro	HU	- 30
	SI	> 100
	TH	> 100
	HOM	- 54
		Evolution et taux de variation depuis 2018 (%)
Passe en S	HU	- 9
	SI	> 100
	TH	- 25
	HOM	+ 100

\*L'herbier sur la station Pamandzi n'a pas été échantillonné lors des suivis en 2017 et 2018

D'après le tableau 3, on remarque que l'évolution des abondances entre 2017 et 2018 ne présente pas de variations homogènes intra-spécifiques, interspécifiques, ni mêmes spatiales. Les études scientifiques révèlent une grande plasticité entre les espèces et au sein même des individus d'une même espèce dans leur capacité à coloniser le milieu, à se reproduire à différentes vitesses et avec une efficacité variable (reproduction sexuée vs végétative) (Inglis, 2000a). Cette plasticité induit des variations spatio-temporelles notamment dans l'abondance relative des espèces et ne nous permet pas de pousser l'analyse à ce jour.

Un paramètre complémentaire des mesures d'abondance est celui de la densité. Ces mesures de densité ont permis de conforter les valeurs d'abondances obtenues. Soit pour un site et une espèce donnée, les densités moyennes maximales et minimales correspondent aux abondances maximales et minimales. Par ailleurs on note que pour la station de Mtsamboro, où l'abondance maximale de *T. hemprichii* est mesurée (18% contre 7% et 3%), la densité moyenne de cette espèce est la plus faible ( $0,8 \pm 1$  pied) comparé aux 2 autres stations ( $1 \pm 3$  pieds). Dans ce cas précis, cette absence de lien entre la densité et l'abondance relative peut s'expliquer par la taille des surfaces échantillonnées. Rappelons que les valeurs de densité sont mesurées dans une surface de  $100\text{cm}^2$  contre une surface de  $2500\text{cm}^2$  pour les mesures d'abondance. Ainsi en présence d'une espèce en faible abondance, les valeurs de densité sont beaucoup plus sujettes à variation, notamment sur une surface d'échantillonnage plus faible. En ce sens, le relevé de la densité semble être un paramètre intéressant à collecter dans la poursuite des suivis pour compléter les valeurs d'abondance.

L'étude des comparaisons spatiales de la composition des herbiers reste complexe car les herbiers échantillonnés font face à des facteurs biotiques et abiotiques variés et que chaque espèce présente des capacités d'adaptations aussi variées. La comparaison des résultats de 2017-2018 et 2020 illustre bien cette variabilité à plusieurs échelles et ne fait que révéler la complexité de la dynamique des

herbiers. Par ailleurs, le choix d'une période d'échantillonnage fixe permettra peut-être de mettre en évidence des variations plus claires dans l'évolution de la composition des herbiers.

## Biodiversité des herbiers : faune et flore associée

Afin de resituer les finalités de cette étude, l'objectif de gestion du Parc est de « *maintenir en bon état de conservation l'ensemble des herbiers de phanérogames marines, en priorité les herbiers à fonctionnalité écologiques et rôle écosystémique particulier* ». Ainsi la stratégie d'échantillonnage a été orientée de manière à prospecter des sites d'herbier à potentiel rôle écologique fonctionnel. Dans le contexte mahorais cette stratégie s'est orientée de façon à échantillonner des herbiers utilisés comme source d'alimentation par les tortues marines dont l'impact reste à déterminer précisément pour chacun des sites. Afin d'élargir ce potentiel rôle fonctionnel des herbiers, la faune et la flore benthique associées aux herbiers ainsi que l'ichtyofaune ont été relevées.

Les données sur la flore benthique (macroalgues, cyanobactéries), sans notion d'abondance relative, ont été relevées sur Ngouja, Mtsamboro et Pamandzi de manière sporadique tout le long de cette campagne (agents non formés à l'identification et connaissances variables des agents vis-à-vis de la flore). On peut cependant indiquer que, pour un niveau d'identification basique, Mtsamboro (données sur 1 transect) présente le cortège algal suivant : *Dictyota*, *Padina*, *Sargassum* essentiellement et *Boergesenia* plus rarement. Sur Ngouja (données sur 2 transects) et Pamandzi (données sur 1,5 transect) le cortège algal était bien plus réduit soit essentiellement constitué de *Padina*, *Dictyota* et de manière très éparse d'*Halimeda*. Si les 4 premiers genres cités ne sont pas des macroalgues soumises aux variations saisonnières, le genre *Boergesenia* est quant à lui plus sensible à l'effet saisonnier (variation de la température, de la salinité etc.).

Le recouvrement moyen des macroalgues en 2020 a été estimé à  $6\% \pm 7$  pour la station Mtsamboro,  $3\% \pm 2$  pour Ngouja et  $1\% \pm 1$  pour Pamandzi. Les données de recouvrement en 2017, collectées durant la période sèche, indiquent une valeur moyenne de 3% pour Mtsamboro et Ngouja. Contrairement à ce qui pouvait être attendu, aucune variation notable n'est observée pour Ngouja entre les 2 suivis alors qu'à première vue cette zone semble davantage soumise aux influences saisonnières (proximité à la côte impliquant des apports terrigènes). Le niveau d'identification des macroalgues ayant été limité à l'occasion de ce premier suivi, il est probable que les macroalgues sous influences saisonnières n'ont pas été relevées, car plus méconnues, malgré leur présence. Ces interprétations que l'on peut en tirer sont donc à mitiger par l'identification de ce biais. Par la suite, la prise de photo et/ou d'échantillon pour identification s'avère être solution.

Par ailleurs on constate une nette variation du recouvrement en macroalgues sur Mtsamboro, soit le double entre septembre 2017 et janvier 2020 sur ces stations. Cette variation est potentiellement à mettre en relation avec un effet saisonnier par la présence de *Boergesenia*. Cependant l'étude plus poussée de la macro flore benthique sera possible une fois la méthode de collecte stabilisée (formation à l'identification des espèces).

Concernant les catégories de la faune benthique associée aux herbiers, les abondances relatives de chaque catégorie varient selon les stations. Ici sont énumérées les catégories benthiques les plus abondantes. Sur la station Passe en S, les 2 catégories qui prédominent sont les coraux, qui représentent 64% par rapport à la communauté benthique, suivi des gastéropodes avec une part occupée de 23%. Sur la station Mtsamboro, ce sont les crustacés qui prédominent avec 31%, suivi

des gastéropodes avec 27%. Sur la station Pamandzi, les oursins prédominent avec 39%, suivis des poissons perciformes à 29%. Quant à la station Ngouja ce sont les oursins qui sont retrouvés en plus grande majorité soit 49%, suivi des coraux avec une part occupée de 24%. Une diversité de faune a ainsi pu être observée sur les zones d'herbiers prospectées.

Parmi cette faune, cette étude cible tout particulièrement la faune exploitant les herbiers en tant qu'habitat de refuge ou de nourrissage. Pour cela, l'identification jusqu'à l'espèce et la connaissance de l'écologie de chaque espèce est essentielle pour cerner le rôle fonctionnel que pourrait jouer les herbiers. Pour ce qui est du rôle en tant qu'habitat de refuge, il est à ce jour limité dans la mesure où la faune benthique associée aux substrats rocheux, ayant une autre valeur de refuge, a également été relevée. En ce sens des précisions méthodologiques sont apportées par la suite afin de cibler plus précisément la faune inféodée aux herbiers. On peut cependant mentionner le dénombrement de 4 holothuries (#2 à Ngouja, #1 à Mtsamboro et #1 à Passe en S), dont 3 individus de l'espèce *Bohadschia atra* qui affectionne les zones d'herbiers. D'autre part, les herbiers peuvent également jouer un rôle de nurserie pour les juvéniles de poissons (Bouchon-Navaro et al., 2004). Le relevé ichtyologique montre une très forte proportion d'individus n'ayant pas atteint leur maturité sexuelle, soit 94% pour Pamandzi, 85% pour Mtsamboro et 67% environ pour les stations Passe en S et Ngouja (Wickel J. 2020). A ce jour il est difficile de montrer si ces poissons exploitent l'herbier comme habitat de refuge car le système racinaire et les frondes des phanérogames restent peu développées de manière générale. Les épiphytes viennent également ajouter de la complexité dans la structure morphologique de l'herbier et leur présence apparaît comme une information complémentaire à relever pour tenter d'évaluer le rôle fonctionnel de l'herbier. Mais le rôle fonctionnel des herbiers est plus complexe, en effet la proximité des herbiers avec d'autres habitats favorise les transferts trophiques et l'utilisation transversale des habitats par les poissons et les Invertébrés (Beck et al., 2001).

Le rôle fonctionnel des herbiers en tant qu'habitat de nourrissage pour les herbivores a pu être brièvement étudié. Pour cela, la proportion de la faune benthique selon leur régime trophique a été calculée. Pour le calcul de la proportion d'herbivores, seules les espèces herbivores au sens stricte ont été considérées (espèces omnivores exclues de cette catégorie). Il en résulte une grande proportion d'herbivores benthiques sur la station de Ngouja (51%) susceptibles d'avoir un impact sur la croissance des feuilles d'herbier comme indiqué plus haut. A cela, 30% de l'ichtyofaune sur cette station est représentée par des herbivores et l'abondance de tortues marines sur ce site participe également à la consommation des herbiers. Cette proportion d'herbivores benthique est plus faible sur les stations de Mtsamboro et Pamandzi (39%), également sur l'ichtyofaune avec 30% sur Mtsamboro et 17% sur Pamandzi. Enfin la station Passe en S présente quant à elle la plus faible proportion d'herbivores à la fois benthique (4%) et sur l'ichtyofaune avec 12% (Wickel J. 2020).

Quant à la présence de tortues marines sur les stations prospectées, à part sur Ngouja, un travail de caractérisation qui sera prévu dans le cadre du projet LIFE selon le protocole SEMMADRONE pour évaluer l'abondance de cette mégafaune et l'impact qu'elle pourrait avoir sur la structure et la composition des herbiers.

## Conclusion

### Bilan de la campagne de suivi 2020

Cette campagne terrain 2020 a permis de suivre la distribution et la composition de 4 zones d'herbiers intertidaux de type plurispécifique localisées tout autour du lagon de Mayotte. Les herbiers les plus diversifiés se composent de 5 espèces de phanérogames marines : le complexe *Halophila ovalis minor*, *Halodula uninervis*, *Thalassia hemprichii*, *Syringodium isotifolium* et *Cymodocea rotundata*. Parmi celles-ci, les 3 premières sont connues pour leurs capacités d'adaptations face aux variabilités environnementales et composent systématiquement l'herbier.

L'étude des variations spatio-temporelles sur le recouvrement des herbiers a permis d'identifier des facteurs d'évolution potentiels pesant sur les herbiers et risquant d'influencer leur état de conservation. Par exemple, la colonisation de l'herbier sur la station Ngouja semble limitée par les apports terrigènes durant l'été austral et la pression d'herbivorie, quant à l'herbier de Mtsamboro ce sont les conditions hydrodynamiques de l'été austral qui contrôlèrent son expansion. Ces facteurs apparaissent comme les plus évidents selon le contexte géographique des sites prospectés mais bien d'autres rentrent en jeu dans la distribution des herbiers et la poursuite des suivis nous permettra de mieux cibler les causes des variations spatio-temporelles observées. Afin d'affiner la caractérisation des pressions sur l'état de santé des herbiers, le déploiement d'un suivi sur les 2 périodes (sèche et humide) permettrait de connaître les variations intra annuelles et de mieux cerner les résultats d'observation.

Les paramètres collectés dans le cadre de ce suivi constituent des paramètres structurels généraux classiquement utilisés dans les travaux actuels. La poursuite de la collecte et l'identification précise des facteurs naturels et anthropiques qui régissent la structure et la composition des herbiers permettra à terme d'évaluer l'état de santé et la conservation des herbiers et de suivre son évolution, ceci afin d'évaluer la nécessité et l'intérêt des mesures de préservation et de gestion à mettre en œuvre le cas échéant. La perspective du suivi des herbiers intertidaux à Mayotte vise à étendre le réseau de stations afin de spatialiser au mieux ce suivi et cerner d'autres sources de variations pouvant influencer la structure et la composition des herbiers. En effet les herbiers marins sont sensibles à plusieurs paramètres environnementaux. C'est pourquoi comprendre la dynamique des herbiers marins, c'est participer à la gestion d'espaces soumis aux changements climatiques et à l'intensification des activités humaines. Cette sensibilité révèle la pertinence de suivre les herbiers pour évaluer l'état écologique des eaux.

Des tentatives d'analyses multivariées ont montré une ségrégation marquée des espèces selon les premiers axes de factorisation (notamment *Halophila ovalis minor* et *Halodula uninervis*) et moins marquée concernant les placeaux de relevé. Ces analyses permettent des interprétations pertinentes des principaux facteurs d'évolution de l'état des herbiers mais qui restent difficile à analyser en l'état. Cela confirme la nécessité d'étendre les relevés à d'autres facteurs du milieu, abiotiques notamment.

Dans une perspective de gestion conservatoire, les outils cartographiques présentent un grand intérêt car ils permettent d'automatiser le suivi de la progression et la régression des couvertures en phanérogames marines. A Mayotte, des suivis cartographiques en 2005 et 2016 ont mis en évidence de nombreuses difficultés et limites liées à la structure peu dense et fragmentée des herbiers

intertidaux locaux. Sur ces retours d'expériences, des pistes de travail sont à identifier pour contourner ces difficultés.

A cette occasion 4 agents du PNMM ont été formés au protocole de suivi, issu des travaux du projet COPRA et validé par le réseau régional WIOSN, dont 3 à l'identification des 11 espèces de phanérogames marines recensées à Mayotte. Cette mission a donc permis d'enrichir les connaissances des agents du Parc qui assurent la veille écologique du lagon de Mayotte. Si le suivi herbier se pérennise, une formation en continue doit être assurée sur le déploiement du suivi ainsi qu'à l'identification des espèces. D'autre part une formation à la reconnaissance de la macrofaune benthique doit également être organisée si l'on souhaite mieux étudier le rôle fonctionnel que pourrait jouer les herbiers. Enfin une formation à l'identification des différentes espèces de macroalgues apparaît primordiale afin de cibler certains effets saisonniers et éventuellement la pression de recouvrement qu'elles pourraient exercer sur l'herbier.

Enfin une stratégie de bancarisation des données dans une base doit être initiée prochainement notamment si le suivi vient à se déployer dans toute la région océan Indien, si possible en s'appuyant sur une stratégie de bancarisation existante comme la BD Récif de l'Ifremer. Cette stratégie devra également être adaptée aux possibilités d'exploration et d'analyse du jeu de données. A ce jour, les fichiers Excel compilant les données du suivi 2020 sont enregistrés dans le serveur du PNMM.

## Recommandations

### Concernant le protocole de suivi, les recommandations et précisions sont les suivantes :

- Afin de concilier efficacité et temps d'échantillonnage, 3 personnes au minimum doivent être dédiées au suivi Quadrat et doivent donc être formées à l'identification des espèces de phanérogames marines.
- Relevé de la fragmentation (données Lit) : préciser le % des différents types de substrats observés sur la zone à nu. Objectif : déterminer si oui ou non l'absence d'herbier est lié à la nature du substrat.
- Relevé de la nature du substrat (données Quadrat) : définir des catégories de substrat (Sable grossier, détritique, sable fin, sablo vaseux, vaseux). Objectif : homogénéiser la collecte et identifier des facteurs susceptibles de contrarier l'état de conservation des herbiers (hydrodynamisme notamment).
- Relevé de la faune associée (données Belt) : collecte uniquement de la faune associée aux herbiers (faune inféodée aux autres substrats exclue). Objectif : mieux cibler la faune inféodée aux herbiers.
- Relevé de la flore (données Quadrat) : estimer l'abondance relative des espèces de macroalgues. Objectif : notion de dominance et d'espèces potentiellement sous l'influence saisonnière.
- Relevé du recouvrement (données Quadrat) : prise de photo des quadrats. Objectif : retraitement des valeurs de recouvrement et possibilité de conforter les estimations faites *in situ*.
- Organiser une formation à l'identification des macroalgues (données Quadrat) et de la macrofaune benthique (données Belt). Objectif : limiter le biais observateur.

- Mesure de la longueur des brins : provoquer systématiquement un mouvement d'eau pour dégager la zone de la couche superficielle de sable. La mesure s'effectue à partir de la surface du sable (non des rhizomes). Objectif : standardiser la méthode de mesure.

**Concernant la méthode d'échantillonnage les recommandations et précisions sont les suivantes :**

- Etendre le réseau de stations afin de spatialiser au mieux ce suivi en suivant les recommandations du GT herbier local de 2017 (carte en annexe des secteurs d'intérêt pour un suivi herbier). Avant le déploiement du suivi, une prospection initiale systématique sur l'ensemble du secteur d'intérêt doit être assurée afin d'identifier une zone sableuse relativement étendue et la plus homogène possible.
- Assurer une même période d'échantillonnage entre les suivis pour assurer la comparabilité des données. Dans un premier temps, il apparaît intéressant de déployer les suivis herbiers sur les 2 périodes pour connaître les variations intra annuelles et ainsi mieux cerner les résultats d'observation. Si la période de l'été austral est choisie pour déployer les suivis des herbiers, notamment face à la problématique d'envasement du lagon, le site KAR pourrait être retenu (fonde de baie, apports sédimentaires continus, suivi qualité de l'eau RHLM...).
- Assurer la continuité dans l'échantillonnage. En effet la campagne de 2020 s'est déroulée en 2 phases : 3 stations suivies entre le 27 et 30 janvier et 1 station (Pamandzi) suivie le 26 février. L'espacement des suivis peut induire des biais notamment dans une phase d'apprentissage.
- Le positionnement des transects perpendiculaire à la côte n'a pas toujours été respecté en raison des contraintes rencontrées sur le terrain. Pour faciliter le déploiement du suivi, les transects ont été positionnés généralement dans le sens du courant et donc plus généralement parallèle à la côte. Cette disposition amène potentiellement un biais entre les herbiers échantillonnés au sein de chaque transect susceptibles d'être sous l'influence de différents paramètres (profondeur, durée d'exondation, intensité variée face aux conditions hydrodynamiques etc.). Notons que l'évaluation de ce biais a été menée sur les stations Mtsamboro et Passe en S et semble négligeable (pas de gradient observé entre transects dans le recouvrement de l'herbier, les proportions de types de substrats ni au niveau du taux de fragmentation).

## Bibliographie

Ballorain K., 2005 Structure et fonctionnement d'un herbier marin soumis à l'herbivorie d'une population de tortues vertes (*Chelonia mydas*), Diplôme d'Etudes Supérieures de Sciences Naturelles, Univ. Bordeaux 1, 105pp.

Ballorain K, Montchamp L, Nicet JB, Dalleau M, Chambault P, Frouin P, Mouquet P, Carpentier A (2019) Conservation et gestion intégrée des herbiers de phanérogames marines du Parc naturel marin des Glorieuses et évaluation de leurs rôles fonctionnels pour les tortues marines – Rapport technique du projet BEST2.0 COPRA 2017-2019. CEDTM / AFB

Beck, M. W., Kennen, J. L. H., Kennen, A. W., Childers, D. L., Eggleston, D. B., Gillanders, B. M., Halpern, B., Hays, C. G., Hoshino, K., Minello, T. J., Orth, R. J., Références bibliographiques 184 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.

Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2006). *Ecology: From individuals to ecosystems*.

Bell SS, Robbins BD and Jensen SL 1999 Gap dynamics in a seagrass landscape. *Ecosystemes* 2 : 493 - 504

Bouchon-Navaro Y., Bouchon C., Louis M., 2004. L'ichtyofaune des herbiers de phanérogames marines des Antilles françaises : intérêt de leur protection. *Rev d'écologie (La Terre la Vie)* 59, 253-272

Braun-Blanquet J., Roussine N., Nègre R., (1952). Les groupements végétaux de la France Méditerranéenne p 152

Charbonnel E, Boudouresque CF, Meinesz A, Bernard G, Bonhomme P, Patrone J, Ragazzi M (2000) Le Réseau de Surveillance Posidonies de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Cullen-Unsworth LC, Nordlund LM, Paddock J, Baker S, McKenzie LJ, Unsworth RKF (2014) Seagrass meadows globally as a coupled social-ecological system: Implications for human wellbeing. *Mar Pollut Bull* 83:387–397

Dedeken M, Ballorain K (2015) Les herbiers marins de Mayotte : état des lieux des herbiers intertidaux en 2014. Parc naturel marin de Mayotte / Agence des aires marines protégées.

Duarte C.M., Chiscano C.L 1999 Seagrass biomass and production : A reassessment. *Aquatic Botany* 65 : 159-174

Duarte C.M., 2002. The future of seagrass meadows. *Environmental Conservation* 29(2) : 192-206

De la Torre Y. et Aubis S. 2003 Etude de la morphologie-dynamique des littoraux de Mayotte. Phase 1 : synthèse, typologie et tendances d'évolution. Rapport BRGM/RP-52320-FR, 43p.,

Holmer M., Bondgaard E.J., 2001, Photosynthetic and growth response of eelgrass to low oxygen and high sulphide concentrations during hypoxic event. *Aquatic Botany*. 70 : 29-38

Erftemeijer PLA, Herman PMJ 1994 Seasonal changes in environmental variables, biomass, production and nutriment contents in two contrasting tropical intertidal seagrass beds in South Sulawesi (Indonesia). *Oecologia* 99 :45-59

Inglis G.J 2000a Variation in the recruitment behavior of seagrass seeds : Implications for population dynamics and ressource management. *Pac Conserv Biol* 5 :251-259

Kerninon F (2016) La feuille marine, actualités 2013-2015 des herbiers d'outre mer. IFRECOR

Loricourt A (2005) Etude des herbiers à phanérogames marines à Mayotte. 62p

Lanyon J., Lumpus C., Marsh H., 1989, Dugong and turtles : grazers in the seagrass system. *Biology of Seagrasses*. Pp 610-633 Elsevier, Amsterdam

Larkum A., Oth R., Duarte C., 2006 *Seagrasses Biology, Ecology and conservation*. Pp 16-565. Springer. Netherlands

Masini R., Anderson P. et McComb A. 2001. Halodule dominated community in subtropical embayment : physical environment, productivité, biomass and impact of dugong grazing. *Aquatic Botany* 179-197

Pergent G., 2007. Protocole pour la mise en place d'une surveillance des herbiers de Posidonies. Programme « MedPosidonia »/ CAR/ASP – Fondation d'entreprise TOTAL pour la Biodiversité et la Mer ; Memorandum d'Accord N°01/2007/RAC/SPA\_MedPosidonia Nautilus-Okianos : 24p + Annexes

Short F., Coles R., Pergent-Martini C., 2001. Global seagrass research methods. Pp. 5-30. Elsevier Science.

Short F.T , Neckles H.A 1999. The effects of global climate change on seagrasses. *Aquatic Botany* 63, 169

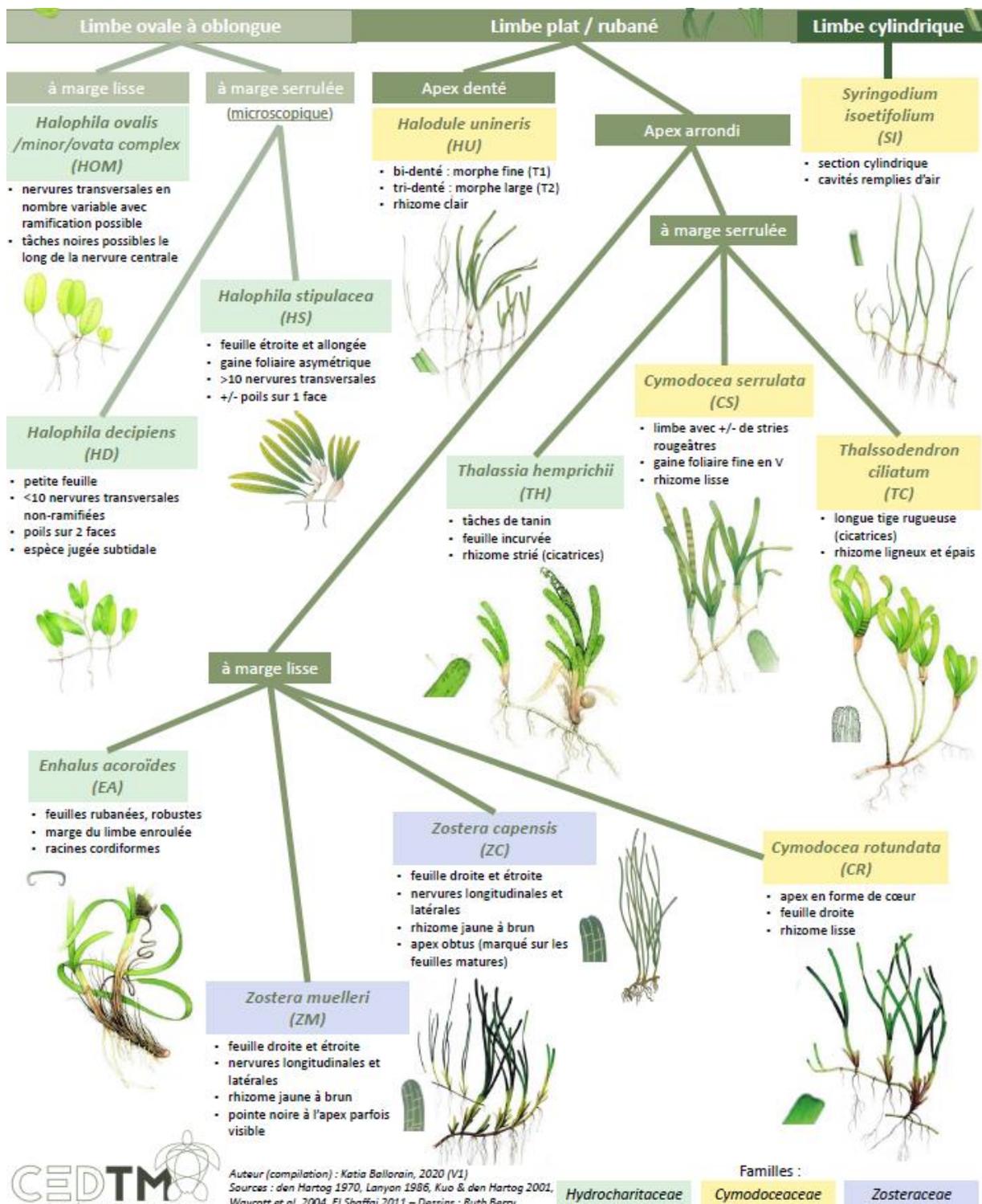
Townsend, E.C, et Fonseca, M.S 1998 Bioturbation as a potential mechanism influencing spatial heterogeneity of North Carolina seagrass beds. *Mar. Ecol. Prog* 169,123

Walker D.I , McCom A.J 1990 Salinity response of the seagrass *Amphibolis antarctica*. *Aquatic Botany* 36 : 359 - 366

Wickel J. (2020). Suivi des herbiers à phanérogames marines de Mayotte. Etat initial des peuplements ichthyologiques associés. Rapport technique MAREX. 16p

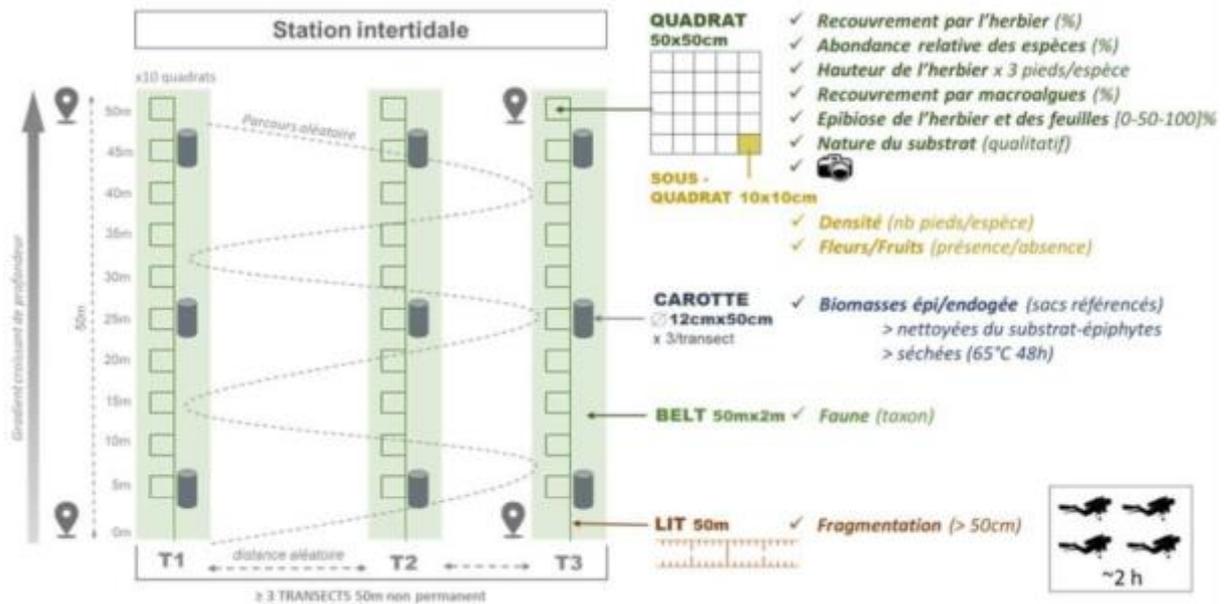
## Annexes

### Annexe 1 : liste et clés d'identification des espèces de phanérogames marines recensées à Mayotte (D'après Ballorain K., 2020)



## Annexe 2 : boîte à outils et protocole de suivi stationnel des herbiers marins intertidaux (WIOSN)

	Priority 1	Priority 1	Priority 1	Priority 1	Priority 2	Priority 3	Optional	Optional	Optional	Priority 3	Priority 2	Priority 2	Optional	Priority 3
LEVEL	SPECIES DIVERSITY	SEAGRASS COVER	FRAGMENTATION	SHOOT DENSITY	BIOMASS	FLOWERS, FRUITS	CANOPY HEIGHT	EPIPHYTE ABUNDANCE	CYANO, ABUNDANCE	MACRO-ALGAE COVER	SEDIMENT COMPOSITION	FAUNA COMMUNITIES	LEAF NUTRIENT RATIOS	WATER T°C / SALINITY / LIGHT AVAILABILITY
	QUADRAT + random path	QUADRAT	LIT	QUADRAT CORNER or CORE	CORE	QUADRAT CORNER (or CORE)	QUADRAT	QUADRAT	QUADRAT	QUADRAT	CORE Or QUADRAT	BELT	SEAGRASS WATCH PROTOCOL	LOGGER
<b>1</b> <i>Basic</i>	Mono-sp Multi-sp.	Global cover 0-5-15 30-60-75 90-100 %	categories to be defined					Presence /absence		Presence /absence				
<b>2</b> <i>Advanced</i>		+ Species % cover or Dominant species			Wet biomass (above-belowground)	presence /absence		+ % cover of shoots 0-50-100%	Global cover %	+ Relative % cover seagrass/algae	Qualitative description	Taxon + Species of commercial interest		
<b>3</b> <i>Expert</i>	Species ID	via image post-processing	categories to be defined	Shoot count /species	Dry biomass (above-belowground)	+ Flowers, fruits count	Length x3 shoots / species	+ % cover on leaf 0-50-100% + Biomass (g per area)	+ Species ID	Species % cover	Granulometry + Organic content	+ Benthic fauna & fish abundance using RUVs	(N:P, C:N, C:P)	≥1 permanent unit (mid-transect)



**Annexe 3 : liste de la principale faune associée aux herbiers à Mayotte (F. Kerninon)**



*Bohadschia atra*



*Holothuria atra*



*Ophiocoma pica*



*Halityle regularis*



*Montastrea .sp*



*Goniastrea .sp*



*Lambis lambis*



Cône



*Echinometra mathaei*



*Echinostrephus molaris*



Blennie



Squilles

**Annexe 4 : liste des principales macroalgues rencontrées à Mayotte (F. Kerninon)**

Macroalgues vertes



*Penicillus sp.*



*Rhipocephalus sp*



*Rhipilia*



*Udotea flabellum*



*Caulerpa prolifera*



*Caulerpa sertularioides*



*Caulerpa taxifolia*



*Caulerpa chemnitzia*



*Caulerpa racemosa*



*Caulerpa cupressoides*



*Halimeda incrassata*



*Halimeda tuna*



*Halimeda gracilis*



*Codium isthmocladum*



*Avrainvillea longicaulis*



*Boergesenia forbesii*



*Valonia ventricosa*

*Macroalgues brunes*



*Dictyota sp*



*Padina sp*



*Turbinaria sp*



*Sargassum sp*



*Lobophora sp*



*Cystoseira sp*

Macroalgues rouges



*Gracilaria salicornia*



*Acanthophora spicifera*

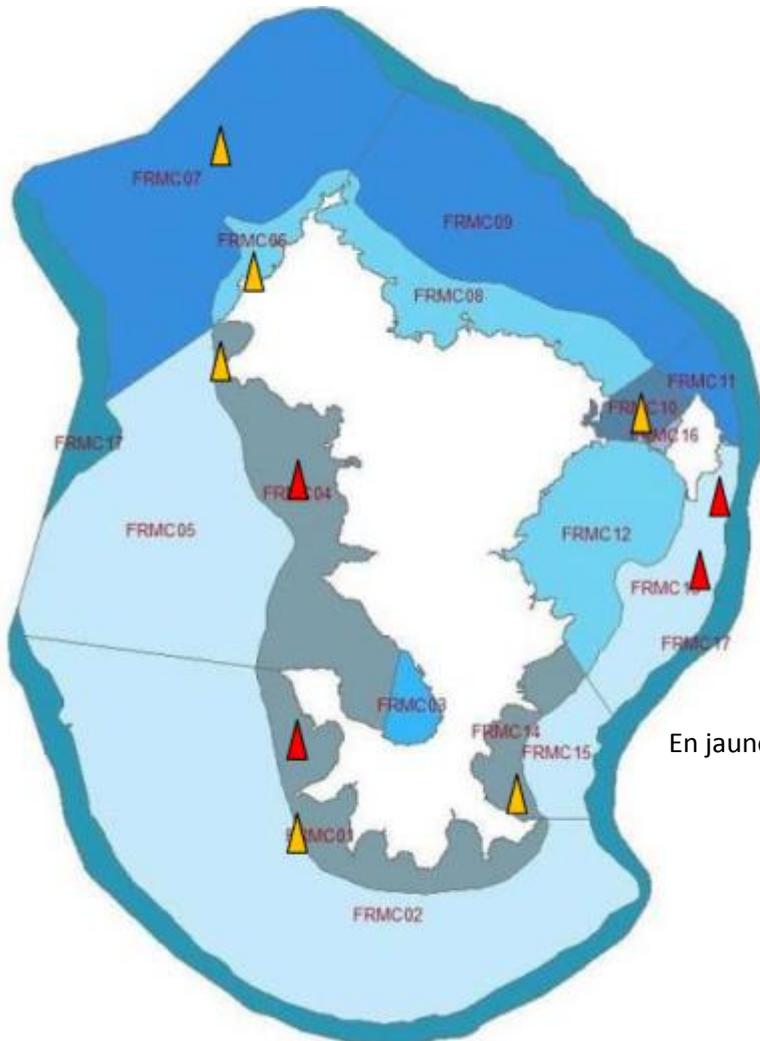


*Actinotrichia fragilis*



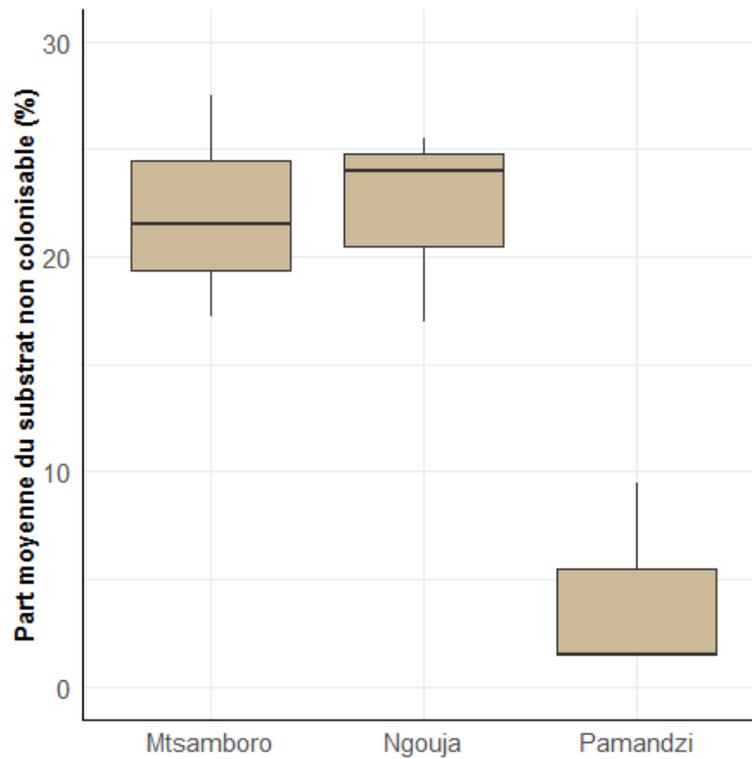
*Digenea simplex*

**Annexe 5 :** Carte de localisation des zones d'alimentations majeures de la mégafaune (tortues marines et dugongs) adopté par le groupe de travail IFRECOR local (2017)

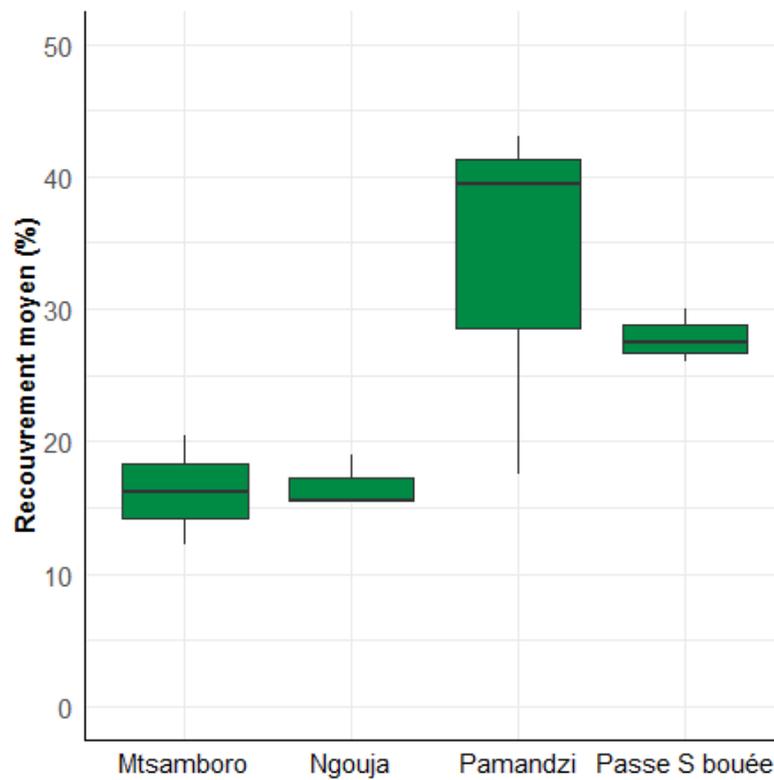


Légende :  
En rouge : stations à suivre tous les 2 ans  
En jaune : stations à suivre tous les 4 ans (si possible)

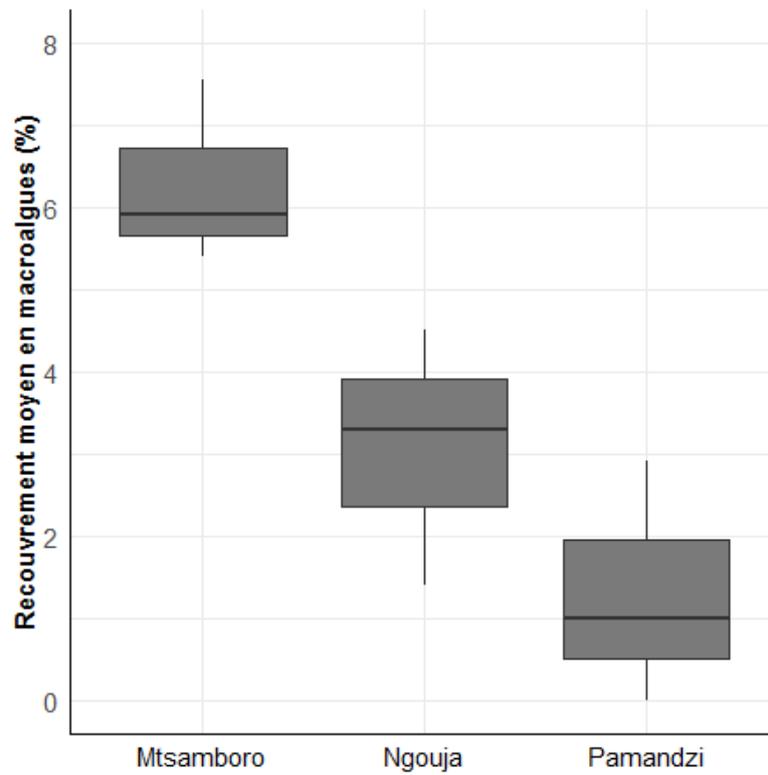
**Annexe 6** : part moyenne du substrat non colonisable (en %) par station  
(pas de mesure sur la station Passe en S)



**Annexe 7** : recouvrement moyen (en %) des herbiers de phanérogames marines par station



**Annexe 8 : recouvrement moyen (en %) des macroalgues par station  
(pas de mesure sur la station Passe en S)**



**Annexe 9 : taux de fragmentation (en %) par station**

