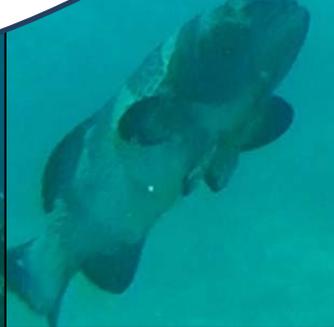




Ifremer



UTILISATION DE LA TECHNIQUE VIDÉO STAVIRO POUR L'OBSERVATION ET LE SUIVI DES RESSOURCES ET DES ÉCOSYSTÈMES RÉCIFO-LAGONAIRES DE MAYOTTE

Etude pilote et recommandations pour les suivis futurs

William Roman & Dominique Pelletier

Marché n° 2014-PNMM- 12, notification de marché : 5 déc. 2014
Convention PNMM/15/11, Ifremer : 15/1212066/CF-AV1



Citation:

William Roman et Dominique Pelletier, 2016. Utilisation de la technique vidéo STAVIRO pour l'observation et le suivi des ressources et des écosystèmes récifolagunaires de Mayotte Etude pilote et recommandations pour les suivis futurs. Rapport EXPLOCEAN-IFREMER. 102 pages + 2 annexes séparés 176 p. (Contributions égales à ce rapport)

William Roman and Dominique Pelletier, 2016. The STAVIRO video technique for monitoring fish resources and reef ecosystems in the Natural Marine Park of Mayotte (Western Indian Ocean). Pilot study and recommendations for monitoring. EXPLOCEAN-IFREMER Report. 102 pages + 2 distinct annexes 176 p. (Equal contributions from the authors)



**William ROMAN
EXPLOCEAN**

12 rue de Paris, Val Plaisance Nouméa, 98800 Nouméa

Tel : (687) 975213

roman.w.nc@gmail.com

Expertise terrain, analyses des images, traitement des données et rédaction

Dominique PELLETIER

IFREMER Nouvelle Calédonie

BP 2059, 98846 Nouméa Cedex Nouvelle-Calédonie

Tél : (687) 292557 / Fax : (687) 287857

dominique.pelletier@ifremer.fr

Expertises vidéo et AMP, traitement des données et rédaction

Julien WICKEL

Consultant indépendant

13 chemin Camille Roche. 97425 Les Avirons, La réunion

Tel : (692) 627421

julien.wickel@gmail.com

Expertise Océan Indien / analyse d'images en double

Paul GIANNASI et Johanna HERFAUT

Parc Naturel Marin de Mayotte

14 Lot Darine Montjoly Iloni - 97660 Dembeni

Tél : (269) 607365 / Fax : (269) 607366

paul.giannasi@afbiodiversite.fr

Expertises terrain et PNMM, relecture



Table des matières

1. Evaluation des ressources et plan de gestion du Parc Naturel Marin de Mayotte (PNMM)	8
1.1. Les enjeux liés à la pêche dans le PNMM	8
1.2. Contexte de l'étude	9
2. Matériel et méthodes	10
2.1. Etude pilote : le lagon sud-est de Mayotte	10
2.2. Matériel : La station vidéo rotative (STAVIRO)	12
2.3. Stratégie d'échantillonnage	13
2.4. Méthodologie de caractérisation de l'habitat corallien.....	13
2.5. Méthodologie d'analyse des peuplements ichthyologiques	16
2.6. Sélection des métriques.....	17
2.7. Calcul et analyse des indicateurs: l'outil de calcul PAMPA.....	20
2.8. Grille de lecture pour l'évaluation des ressources récifales	20
2.8.1. Méthodologie d'interprétation des indicateurs	20
2.8.2. Evaluation des ressources récifales en fonction du statut de pêche	22
2.8.3. Evaluation des ressources récifales dans la Passe en S	22
3. Distribution des stations	22
4. Caractérisation de l'habitat corallien	26
4.1. Description de l'habitat corallien.....	26
4.2. Variation de l'habitat selon le type géomorphologie et le statut de pêche.	27
4.3. Typologie des stations.....	32
5. Description des peuplements ichthyologiques	38
5.1. Liste des espèces échantillonnées et niveaux d'identification	38
5.2. Composition spécifique des principales familles	41
5.3. Richesse spécifique et densité d'abondance par station	44
5.4. Effet observateur lors de l'analyse des images.....	49
6. Evaluation des ressources récifales : Maintien de peuplements récifaux fonctionnels	51
6.1. Effet du statut de pêche	51
6.1.1. Densité d'abondance toutes espèces et richesse spécifique par station.....	51
6.1.2. Diagnostic pour les LETHRINIDAE	52
6.1.3. Diagnostic pour les LUTJANIDAE	54
6.1.4. Diagnostic pour les CARANGIDAE	56
6.1.5. Diagnostic pour les SERRANIDAE.....	58

6.1.6.	Diagnostic sur les ACANTHURIDAE	60
6.1.7.	Diagnostic sur les SCARIDAE	62
6.1.8.	Diagnostic sur les espèces d'intérêt halieutique.....	64
6.1.9.	Diagnostic sur les métriques par régime trophique	65
6.2.	Différences entre zones protégées et non protégées au niveau de la passe en S. 67	
6.3.	Conclusion : Etat des ressources et des peuplements	70
7.	Recommandations techniques pour un suivi à long-terme	72
7.1.	Scénarios et recommandations.....	72
7.2.	Plan d'échantillonnage des états initiaux et périodiques.....	75
7.3.	Suivi annuel.....	81
7.4.	Mise en œuvre sur le terrain, matériel et ressources nécessaires.....	81
7.5.	Liste d'espèces pour l'analyse des images	83
7.6.	Métriques retenues.....	83
7.7.	Méthode d'analyse des indicateurs	87
7.8.	Grilles de lecture des indicateurs	87
8.	Conclusions.....	89
9.	Références.....	92
10.	Annexes	94
10.1.	Annexe 1. Fiches métriques et effets liés au type géomorphologique, à l'habitat et au statut de pêche	94
10.2.	Annexe 2. Fiches métriques Mise en évidence des différences entre réserve de la passe en S et zones adjacentes du récif barrière.....	94
10.3.	Annexe 3. Liste des points du suivi recommandé	94
10.4.	Annexe 4. Bilan des moyens mobilisés pour la présente étude, terrain compris.	

Liste des figures

Figure 1. Carte représentant la zone d'étude et les trois réserves marines	11
Figure 2. La station vidéo rotative STAVIRO (Source : AMBIO, IFREMER)	12
Figure 3. Les différents types géomorphologiques sur la zone d'étude.....	14
Figure 4. Carte représentant le statut de pêche pour chaque station de l'étude pilote.	15
Figure 5. Bilan des stations réalisées et validées lors de la campagne SE Mayotte 2014.....	23
Figure 6. Distribution des STAVIRO en fonction du type géomorphologique	24
Figure 7. Nombre de stations en fonction de la profondeur et du recouvrement en corail vivant.....	26
Figure 8. Pourcentages de recouvrement en corail vivant, dalle et sable	28
Figure 9. Carte représentant le pourcentage de recouvrement en corail vivant de chaque station	29
Figure 10. Carte représentant le pourcentage de recouvrement en débris de chaque station.....	30
Figure 11. Carte représentant le pourcentage de recouvrement en sable de chaque station.....	31
Figure 12. Pourcentage de variance et projection des variables sur le premier plan factoriel	33
Figure 13. Arbre de partitionnement des stations en classes. Projection sur le plan factoriel.....	34
Figure 14. Recouvrement en substrat abiotique	36
Figure 15. Carte représentant la répartition des classes d'habitat par station.....	37
Figure 16. Fréquence d'occurrence des principales familles	38
Figure 17. Fréquence d'occurrence des espèces les plus fréquentes parmi les poissons chirurgiens.	41
Figure 18. Fréquence d'occurrence des espèces de poissons-papillons (Chaetodontidae)	41
Figure 19. Fréquence d'occurrence des espèces de poissons-perroquets (Scaridae).....	42
Figure 20. Fréquence d'occurrence des espèces de Lutjanidae.	42
Figure 21. Fréquence d'occurrence des espèces de becs et bossus (Lethrinidae).....	43
Figure 22. Fréquence d'occurrence des espèces de mérours (Serranidae).....	43
Figure 23. Richesse spécifique totale par station en fonction des types géomorphologiques	45
Figure 24. Richesse spécifique totale en fonction des classes d'habitat issues de la typologie	45
Figure 25. Densité moyenne par station en fonction des types géomorphologiques	45
Figure 26. Densité moyenne par station en fonction des classes d'habitat issues de la typologie	46
Figure 27. Carte représentant la richesse spécifique par station.....	47
Figure 28. Carte représentant la densité d'abondance par station	48
Figure 29. Densité et RS par famille, niveau d'identification et estimation des tailles	50
Figure 30. Densité (haut) et Richesse spécifique (bas) par station en fonction des statuts de pêche.	51
Figure 31. Carte représentant les densités par station de Lethrinidae	53
Figure 32. Carte représentant les densités par station de Lutjanidae	55
Figure 33. Carte représentant les densités par station de Carangidae	57
Figure 34. Carte représentant les densités par station de Serranidae	59
Figure 35. Carte représentant les densités par station de Acanthuridae.....	61
Figure 36. Carte représentant les densités par station de Scaridae.....	63
Figure 37. Proposition de zonation du lagon et plan d'échantillonnage recommandé.....	76
Figure 38. Zone 1 : Lagon Est et sud-est.....	77
Figure 39. Zone 2 : Lagon Sud-Ouest.....	78
Figure 40. Zone 3 : Banc de l'Iris et Lagon Nord-ouest.	79
Figure 41. Zone 4 : Lagon Nord-Est.....	80
Figure 42. Densité max STAVIRO et densité UVC pour 100m2.....	85

Liste des tableaux

Tableau 1. Liste des familles IEHE utilisées pour les comptages STAVIRO.	16
Tableau 2. Indicateurs définis dans le plan de gestion du PNMM.	17
Tableau 3. Terminologie utilisée dans le projet PAMPA	18
Tableau 4. Mode de calcul des densités, des richesses spécifiques et des fréquences.....	18
Tableau 5. Liste des métriques retenues en fonction de leur pertinence.	19
Tableau 6. Méthodologie de détermination des seuils à partir du jeu de données vidéo de Nouvelle Calédonie.....	21
Tableau 7. Distribution des stations selon le type géomorphologique et le statut de pêche.....	25
Tableau 8. Distribution des stations selon l'habitat et le statut de pêche.	25
Tableau 9. Statistiques générales de la caractérisation de l'habitat.	26
Tableau 10. Paramètres utilisés pour établir une typologie d'habitat.....	32
Tableau 11. Caractérisation des classes de stations par les descripteurs de l'habitat local.	34
Tableau 12. Nombre de stations par classes d'habitat sur le site	35
Tableau 13. Statistiques générales de l'analyse ichtyologique	38
Tableau 14. Liste alphabétique des familles et des espèces de poissons échantillonnés.....	39
Tableau 15. Richesse spécifique par station, densité totale et densités des grands individus des communautés de poissons sur les stations échantillonnées dans la zone d'étude.	44
Tableau 16. Répartition des stations en fonction du statut de protection et du type géomorphologique.	67
Tableau 17. Indicateurs pertinents pour l'évaluation des ressources récifales en fonction du statut de protection (passe S vs. Pentes interne et externe hors réserve).....	68
Tableau 18. Bilan des effets significatifs du statut de pêche	71
Tableau 19. Répartition des stations dans les différentes zones du lagon.....	75
Tableau 20. Distribution des stations selon le type géomorphologique et le statut de pêche (PP=Peu Pêché ; MP=Moyennement Pêché ; TP=Très Pêché).....	75
Tableau 21. Moyens humains et matériels pour un état initial.....	82
Tableau 22. Bilan des effets significatifs des facteurs (Type géomorphologique, Typologie d'habitat, Statut de pêche et Statut de protection) sur l'ensemble des métriques..	83
Tableau 23. Liste des métriques proposées pour l'évaluation de l'état des ressources.....	86
Tableau 24. Etapes de la mise en place d'un suivi-évaluation des ressources.	88
Tableau 25. Ressources lagunaires qui seront suivies dans les indicateurs du Parc.	91
Tableau 26. Positions des points du suivi recommandé.	94

1. Evaluation des ressources et plan de gestion du Parc Naturel Marin de Mayotte (PNMM)

1.1. Les enjeux liés à la pêche dans le PNMM

Premier parc naturel marin en outre-mer, le Parc Naturel Marin de Mayotte (PNMM) a vu le jour par un décret présidentiel le 18 janvier 2010. Il s'étend sur 68 381 km² et couvre l'ensemble de la zone économique exclusive de Mayotte. Il assure la gestion et la protection d'un patrimoine naturel exceptionnel et soutient le développement durable d'activités liées à la mer telles que la pêche.

Le PNMM s'est doté depuis 2013 d'un plan de gestion qui fixe, pour une durée de 15 ans, les objectifs de gestion à atteindre, les actions à mettre en œuvre pour y parvenir ainsi que les protocoles de suivi et les indicateurs permettant d'évaluer les actions effectuées.

Les activités de pêche apparaissent dans le plan de gestion du Parc à trois titres :

- Développement d'une activité de pêche professionnelle durable respectueuse de l'environnement (orientation de gestion n°5 « Développer une activité professionnelle hors du lagon, écologiquement exemplaire et pourvoyeuse d'emplois et de produits de la mer pour Mayotte »)
- Tourisme et loisir, avec la pêche sportive et de loisir (orientation de gestion n°7)
- Pratiques de pêche vivrière et traditionnelle (orientation de gestion n°8)

Le secteur de la pêche est peu structuré et en voie de professionnalisation. La pêche sportive et de loisir est principalement pratiquée à l'extérieur du lagon, avec une composante commerciale de pêche au gros sur des ressources pélagiques, et une activité de chasse sous-marine peu organisée. La pêche traditionnelle et vivrière concerne une grande partie de la population de Mayotte, avec de forts enjeux sociaux et sanitaires.

Ces différentes composantes de la pêche ont augmenté parallèlement à la croissance démographique et au développement économique de l'île. Face à une pression de pêche grandissante et multiforme, et face à la dégradation des habitats dans le lagon, la question de la durabilité des ressources liées aux écosystèmes récifo-lagonaires est donc posée.

La présente étude s'inscrit dans la partie « pêche professionnelle et activités traditionnelles » du plan de gestion. Elle doit permettre de calculer une série de nouveaux indicateurs afin d'enrichir le tableau de bord du PNMM et évaluer l'objectif : Maintenir des peuplements de poissons récifaux fonctionnels.

Orientation de gestion du Parc : Développer une pêche professionnelle hors lagon, écologiquement exemplaire et pourvoyeuse d'emplois et de produits de la mer pour Mayotte

Finalité : Développer une activité de pêche professionnelle durable respectueuse de l'environnement

Sous-finalité : Adapter la pression de pêche aux ressources récifales disponibles

Objectif : **Maintenir des peuplements de poissons récifaux fonctionnels**

Principes d'action : Etudier les stocks des espèces récifales, les interactions entre les stocks et la dynamique des populations afin de déterminer le niveau de capture durable et la ressource disponible

Orientation de gestion du Parc : Pérenniser et valoriser les pratiques vivrières et les savoirs traditionnels dans le cadre d'une gestion précautionneuse du lagon

Finalité : Assurer des pratiques vivrières et traditionnelles respectueuses du lagon et ressources

Sous-finalité : Assurer des pratiques vivrières et traditionnelles respectueuses des ressources

Objectif : **Adapter le niveau de prélèvement des pêcheurs vivriers et traditionnels à la ressource disponible**

Principes d'action : Etudier les stocks des espèces afin de déterminer le niveau de capture durable et la ressource disponible.

1.2. Contexte de l'étude

L'IFREMER a développé depuis 2007 un système vidéo autonome et rotatif : la station vidéo rotative STAVIRO (Pelletier & Leleu 2008). Cette technique est largement utilisée en Nouvelle Calédonie dans le cadre du projet AMBIO et en Méditerranée pour mener des suivis spatiaux des peuplements ichthyologiques et de leurs habitats.

La mise en place d'une convention entre le PNMM et l'IFREMER en 2014 (référence convention : PNMM/15/11 ; Ifremer 15/1212066) a permis de conduire une étude pilote dans le lagon de Mayotte. Outre le transfert de la méthodologie STAVIRO au PNMM, l'objectif de l'étude est de mettre en place un protocole standardisé d'acquisition de données STAVIRO permettant d'obtenir des indicateurs complémentaires de ceux obtenus par les suivis déjà mis en place (Chabanet 2001, 2002, 2007, Wickel 2003, 2005, PARETO 2013) dans l'optique de renseigner les indicateurs du plan de gestion du Parc.

2. Matériel et méthodes

2.1. Etude pilote : le lagon sud-est de Mayotte

L'étude pilote a été conduite dans la partie Sud-Est du lagon de Mayotte. La zone s'étend de l'îlot Mbouzi/secteur de Pamandzi au Nord jusqu'à l'îlot de Mbouini et la fausse passe de Mbouini à l'extrême Sud de l'île (Figure 1). Le secteur comprend trois aires marines protégées :

La passe en S :

La réserve intégrale de pêche de la passe Longogori ou Passe en S, la plus ancienne de Mayotte, est un cantonnement de pêche couvrant une superficie d'environ 13 km² (soit environ 1% de la superficie du complexe récifo-lagonaire de Mayotte), mis en place en 1990. Ce site représente un enjeu fondamental dans la conservation et la gestion des milieux récifaux de l'île : d'une part il possède une richesse écologique indéniable, et d'autre part, il est fortement fréquenté pour des activités nautiques (environ 20 000 plongées autonomes par an d'après Quartararo, 2009). Enfin, au vu de son ancienneté, de sa localisation (à proximité du centre urbain de Mamoudzou) et de sa réglementation forte (toute activité de pêche est interdite), la passe en S peut être considérée comme le site phare de Mayotte pour l'étude et la protection des écosystèmes récifaux. La réglementation stricte de l'AMP interdit toute forme de prélèvement dans ce secteur, avec pour objectif principal la conservation de l'abondance et de la diversité des peuplements ichthyologiques. Cependant, la réglementation n'est pas toujours respectée par les pêcheurs (braconnage).

L'ensemble de ses caractéristiques fait de cette zone remarquable un site idéal pour mesurer l'impact de la protection sur les peuplements ichthyologiques (Letourneur et Maggiorani, 1995 ; Letourneur 1996 ; Wickel et al., 2010).

Saziley :

Le Parc de Saziley, créée par arrêté préfectoral en 1991, englobe une partie du lagon Sud-Est et la fraction de la barrière s'y rattachant. Elle fait partie d'un ensemble terre-mer protégé, sa superficie marine est de 21,6 km² pour une superficie totale (domaine marin et terrestre) de 25,9 km². En termes réglementaires, l'AMP de Saziley possède une réglementation n'interdisant pas tous les procédés de pêche mais les limitant pour en amoindrir les effets. Les interdictions en vigueur sont les suivantes : pêche au filet, chasse sous-marine même sur la partie de pente externe du récif barrière, ramassage de coquillages, pêche du poisson Napoléon (*Cheilinus undulatus*).

Ilot M'bouzi :

La Réserve Naturelle nationale de l'îlot M'bouzi, première réserve naturelle nationale à Mayotte a été mise en place en janvier 2007 (Décret 2007-105). D'une superficie totale de 142 ha, elle comprend une partie marine, s'étendant du rivage jusqu'à la bathymétrie -10m (0,6 Km²). L'exercice de la pêche (excepté la pêche à la palangrotte pour les embarcations non-motorisées) et de la chasse sous-marine est interdit sur l'ensemble du périmètre. Il est également interdit de s'ancrer.

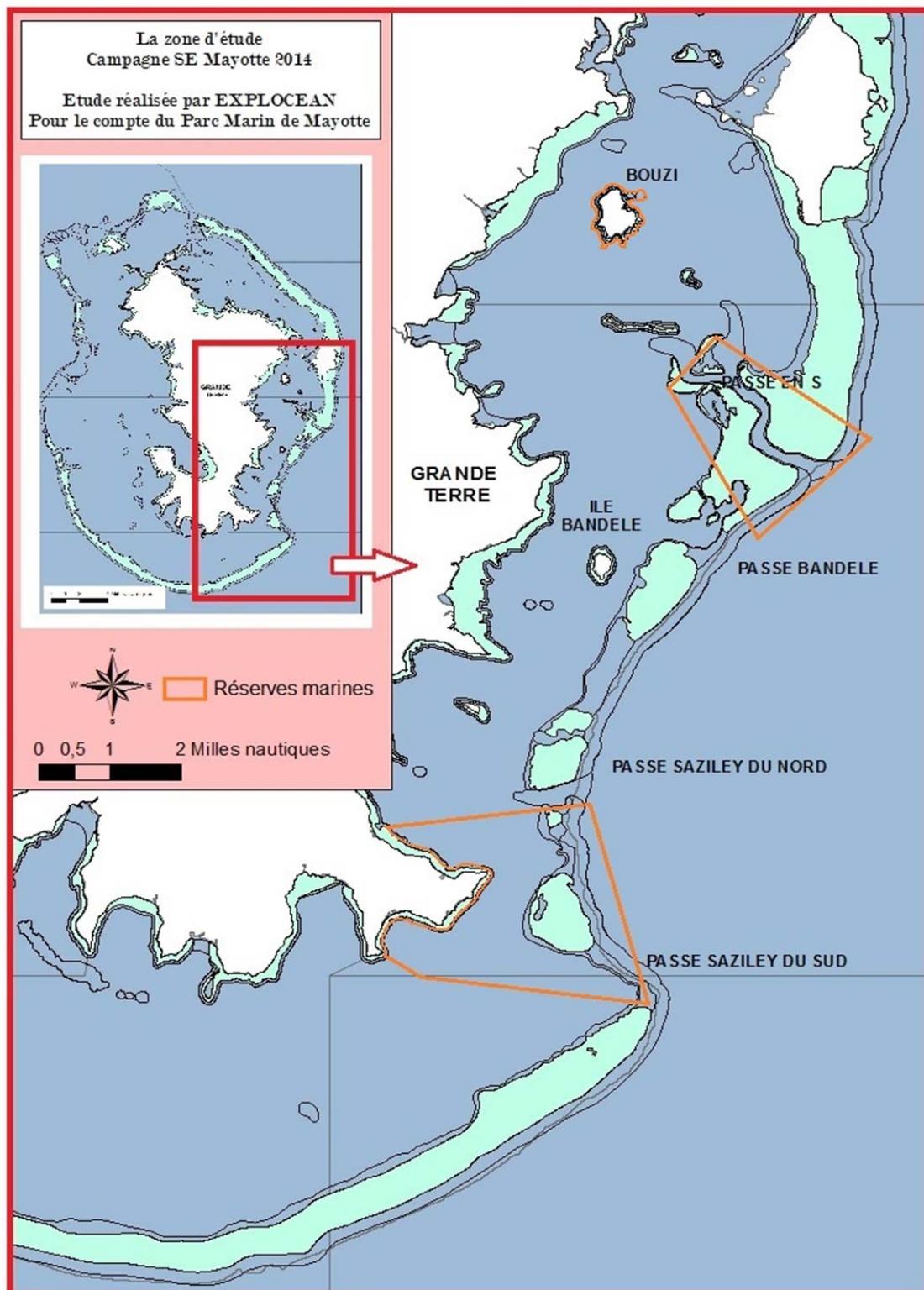


Figure 1. Carte représentant la zone d'étude et les trois réserves marines

2.2. Matériel : La station vidéo rotative (STAVIRO)

Le système STAVIRO (Figure 2) se compose de deux caissons étanches. Le premier caisson renferme une caméra SONY PJ740 haute définition. Un système d'aimants de type ILS permet de prendre le contrôle de la caméra et démarrer un enregistrement sans devoir ré-ouvrir le caisson. La caméra est mise en rotation par un moteur logé dans le second caisson. Le système est programmé pour réaliser 6 rotations de 60° toutes les 30 secondes soit une rotation complète toutes les 3 minutes.

Le système a été conçu pour être le moins intrusif possible :

- Les deux caissons sont fixés sur un trépied en aluminium lesté qui lui assure une bonne stabilité une fois posé sur un fond meuble.
- Le système est déployé directement depuis un bateau et permet de s'affranchir de la présence d'un plongeur.
- Le système n'est pas appâté.

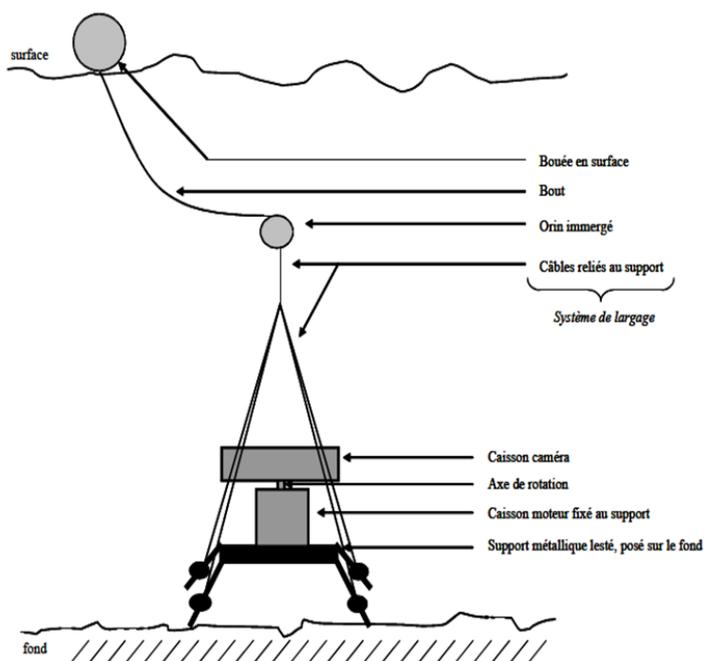


Figure 2. La station vidéo rotative STAVIRO (Source : AMBIO, IFREMER)

2.3.Stratégie d'échantillonnage

La distribution des stations a été stratifiée selon le type géomorphologique et le statut de pêche.

- **Le type géomorphologique** se compose de 4 entités récifales réparties selon un gradient d'éloignement à la côte (Figure 3). On distingue le récif frangeant (FR), le récif d'îlot (IL), la pente interne du récif barrière (RB) et la pente externe du récif barrière (PE).
- **Le statut de pêche** : 3 niveaux de pêche ont été définis sur la base des données d'activité 2012 collectées dans le cadre du SIH-Mayotte. Ces classes sont définies en fonction du nombre de mois de fréquentation des zones de pêches (Figure 4) par les navires mahorais, en pondérant la fréquentation des pirogues dont l'effort de pêche et l'impact sur les ressources est moindre.

Classe	Définition	Effort de pêche
3	Peu pêché	0 à 284 mois.navire
2	Moyennement pêché	285 à 568 mois.navire
1	Très pêché	569 à 1710 mois.navire

2.4.Méthodologie de caractérisation de l'habitat corallien

La caractérisation de l'habitat corallien a été réalisée selon le protocole mis en place par IFREMER (*AMBIO/A/1*). Pour chaque station, l'habitat a été décrit sur une rotation. La topographie, la complexité, le recouvrement en substrat, le statut du corail dur, le sédiment, la forme du corail vivant, le recouvrement en herbier, le recouvrement algal ainsi que la présence d'espèces remarquables ont été relevés.

A partir des données de recouvrement, une typologie des stations a été définie. Chaque classe résultant de la typologie rassemble les stations qui sont similaires du point de vue des recouvrements biotique et abiotique et de caractéristiques telles que la profondeur, la topographie et la complexité. Les facteurs qui caractérisent chaque classe permettent de décrire chacun de ces habitats. Cette définition de l'habitat se base uniquement sur l'environnement immédiat de la station (rayon de 10 m autour de la station).

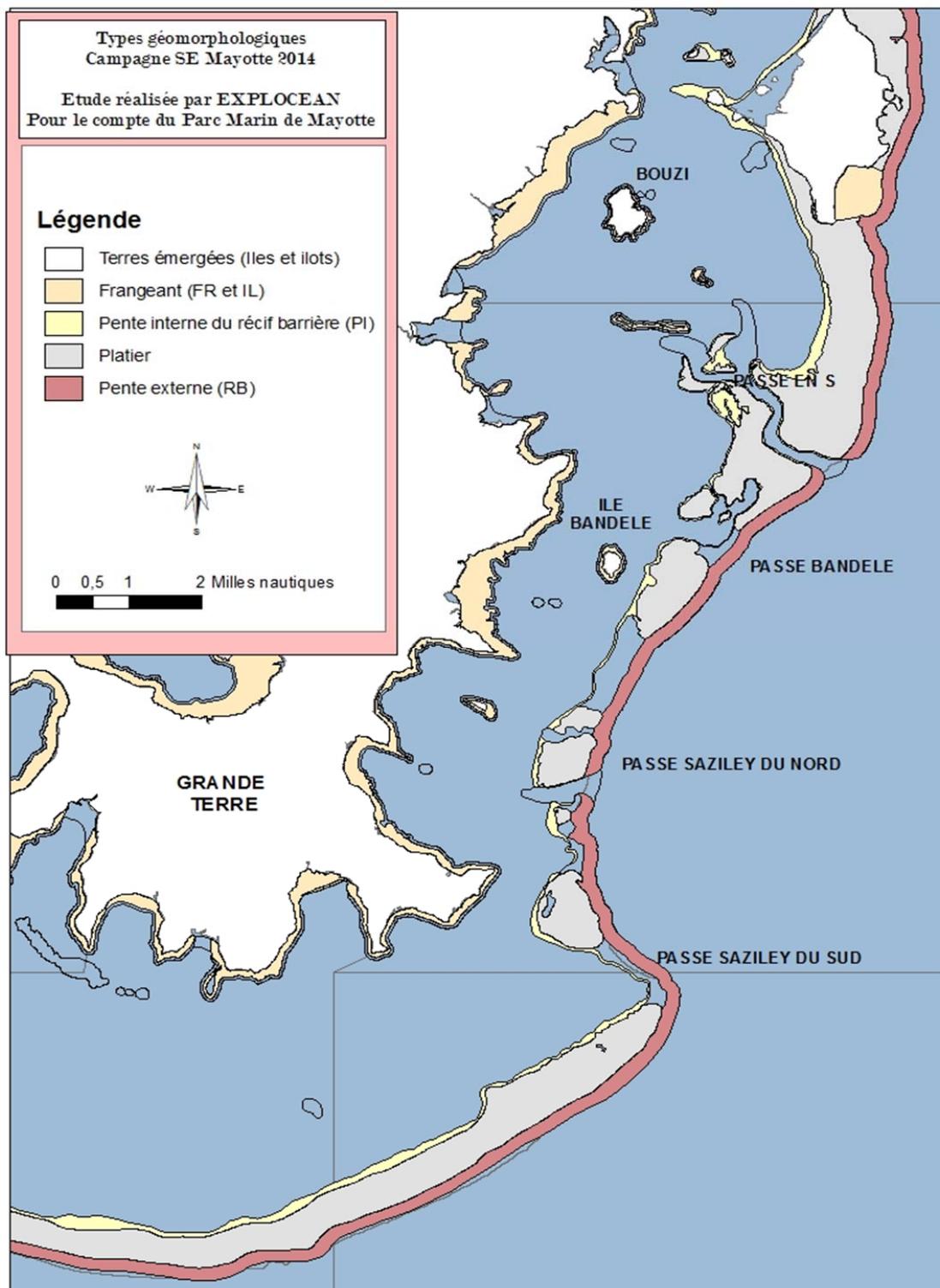


Figure 3. Les différents types géomorphologiques sur la zone d'étude

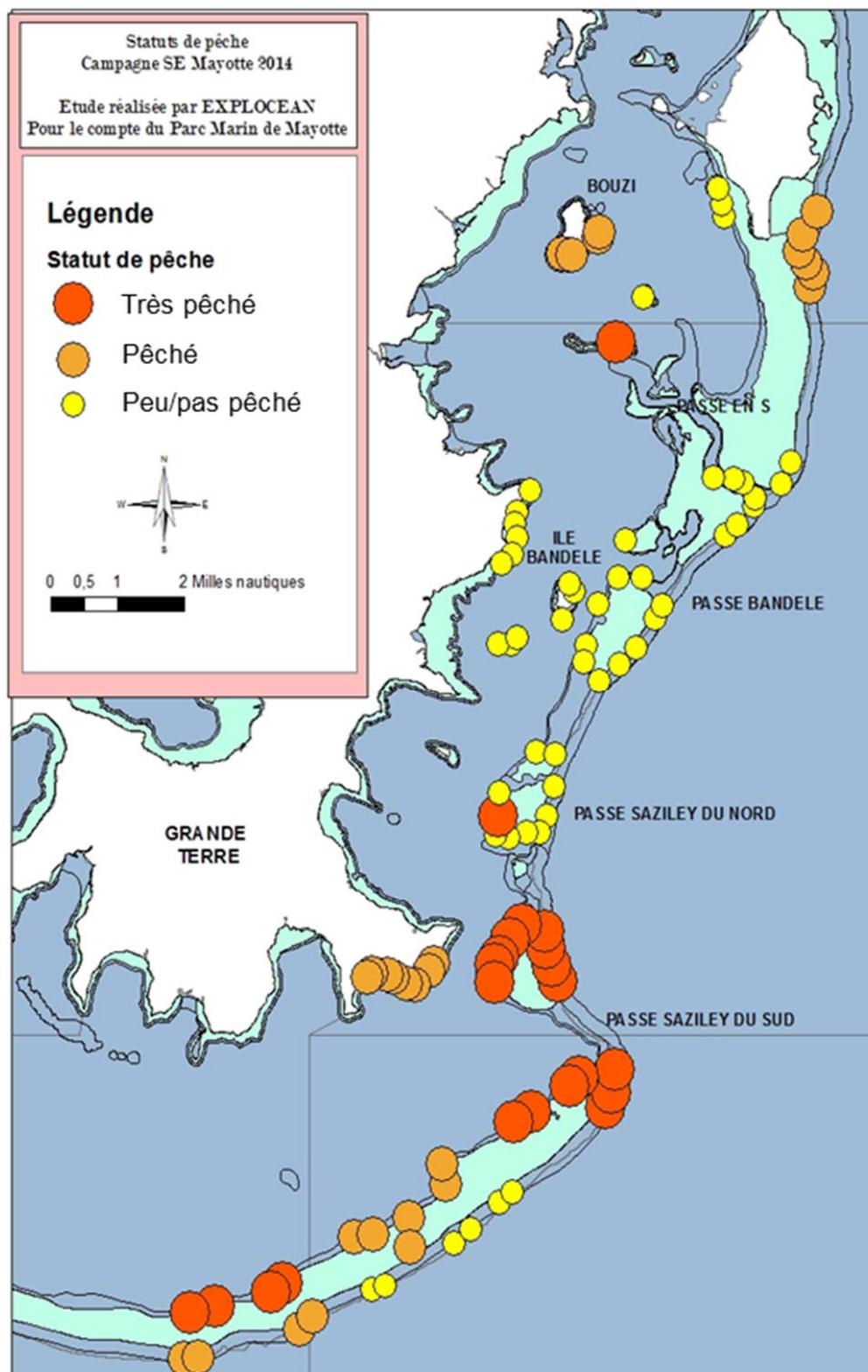


Figure 4. Carte représentant le statut de pêche pour chaque station de l'étude pilote.

2.5.Méthodologie d'analyse des peuplements ichtyologiques

L'analyse des peuplements ichtyologiques a été réalisée selon le protocole mis en place par IFREMER (Pelletier et al. 2016). Pour chacune des vidéos, trois rotations ont été analysées. Pour chaque rotation, les espèces présentant un **intérêt halieutique, écologique ou emblématique** (IEHE) à Mayotte ont été identifiées et dénombrées.

La liste des espèces IEHE (Intérêt Halieutiques, Emblématiques et présentant un intérêt Ecologique) a été établie dans le cadre de l'étude, en concertation avec Julien Wickel et les chargés de mission du PNMM (Tableau 1).

Tableau 1. Liste des familles IEHE utilisées pour les comptages STAVIRO.

FAMILLES DE POISSONS CORALLIENS			
Acanthuridae	Ephippidae	Lamnidae	Scaridae
Balistidae	Ginglumostomatidae	Lethrinidae	Scombridae
Caesionidae	Haemulidae	Lutjanidae	Serranidae
Carangidae	Holocentridae	Mullidae	Siganidae
Carcharhinidae	Kyphosidae	Myliobatidae	Sphyraenidae
Chaetodontidae	Labridae Genres : <i>Coris</i> / <i>Bodianus</i> / <i>Epibulus</i> / <i>Oxycheilinus</i> / <i>Cheilinus</i>	Priacanthidae	Sphyrnidae
Chanidae		Rhincodontidae	Stegostomatidae
Dasyatidae		Rhinobatidae	Zanclidae
FAMILLE D'ESPECES EMBLEMATIQUES			
Cheloniidae	Dugongidae		
FAMILLES DE POISSONS LAGONAIRES			
Albulidae	Gerreidae	Megalopidae	
Chirocentridae	Leiognathidae	Mugilidae	

Conformément au protocole IFREMER, une attention a été portée à :

- Distinguer les espèces observées à une distance comprise entre 0 et 5m de la caméra et les espèces observées entre 5m et la limite de visibilité. La visibilité maximale observée a été de 10m.
- Attribuer une classe de taille (Petit / Moyen / Grand) à chaque individu.
- Caractériser pour certaines espèces le sexe de l'individu et/ou le stade de vie (juvéniles)

2.6.Sélection des métriques

L'étude est centrée sur les espèces de poissons d'intérêt commercial associées aux habitats récifaux, ressources particulièrement ciblées par la pêche. Les études réalisées attestent de l'impact de la pêche (Plan de gestion du Parc). Afin d'éviter la surexploitation de ces ressources, le PNMM doit se doter d'indicateurs (Tableau 2) qui doivent permettre d'évaluer l'efficacité des mesures mises en œuvre pour le maintien de peuplements récifaux fonctionnels. Le plan de gestion du Parc, rédigé en 2012, prévoit des propositions d'indicateurs pour chacun de ses objectifs de gestion (tableau 2), qui peuvent être amenés à évoluer selon leur pertinence et la faisabilité de leur suivi régulier.

Dans la suite de ce rapport, nous utiliserons le terme de métrique, notamment parce que les grilles de lecture de ces métriques sont en cours de définition.

Tableau 2. Indicateurs définis dans le plan de gestion du PNMM.

Objectifs de gestion	Evaluation de la gestion	Seuils à atteindre
<p>Maintenir des peuplements récifaux fonctionnels (impact modéré de la pression de pêche), c'est-à-dire :</p> <p>Adapter le niveau de capture des flottilles de pêche professionnelle aux ressources halieutiques récifales disponibles</p>	<p>Indicateur composé de :</p> <p>Métriques issues des données de suivi in situ</p> <ul style="list-style-type: none"> - Densité toutes espèces et pour les espèces ou familles remarquables - Taille moyenne observée toutes espèces et pour les espèces ou familles remarquables - Richesse spécifique totale - Proportion des différents groupes trophiques 	<p>Maintenir à minima les structures trophiques des peuplements récifaux équivalent aux niveaux de référence (selon les sites : ORC 2008, Mission Tara 2010 ; RNL 2005-2006 ; Effet PS 2009) – Seuil à déterminer pour les nouveaux sites</p> <p>Maintenir un niveau de captures inférieur ou égal aux capacités de renouvellement des stocks exploités – Seuil à déterminer</p>

Tableau 3. Terminologie utilisée dans le projet PAMPA .

<p>Métrique. Fonction quantitative ou semi-quantitative obtenue à partir de données issues d'un système d'observation spécifique, ou en sortie d'un modèle particulier.</p> <p>Pertinence d'une métrique. Une métrique est pertinente si elle présente un lien fort et non ambigu avec la question ou l'objectif qu'elle est censée renseigner. Un deuxième élément de pertinence est donné par l'existence de points de référence qui permettent de jauger les valeurs des métriques par rapport à des états à atteindre ou à éviter.</p> <p>Efficacité d'une métrique. Une métrique pertinente est efficace si, compte tenu des données disponibles, son calcul conduit à des valeurs suffisamment précises pour répondre à la question ou l'objectif concerné.</p> <p>Grille de lecture. Interprétation des valeurs des métriques en fonction de points de comparaisons (seuils, points de références, variations temporelles, spatiales) et des actions de gestion à entreprendre.</p> <p>Indicateur. Métrique qui satisfait les critères de pertinence et d'efficacité et qui est donc à même d'orienter utilement les décisions des gestionnaires.</p>

La mise en place d'un suivi régulier à partir des STAVIRO doit permettre de suivre l'état de ces ressources. La liste des métriques à analyser a été définie conjointement avec le PNMM et avec Julien Wickel. Elle cible les principales familles de poissons pêchés par les différentes pêcheries identifiées sur la zone (**Tableau 5**). Chaque métrique a fait l'objet d'une description et d'une justification de sa pertinence (Beliaeff & Pelletier 2011; Pelletier et al. 2011) et les résultats de son analyse sont reportés sous forme d'une fiche métrique (Annexes 1 et 2), suivant la méthodologie PAMPA. On distingue 3 types de métriques dont le mode de calcul est détaillé dans le Tableau 4.

Tableau 4. Mode de calcul des densités, des richesses spécifiques et des fréquences

Variables	Méthodes de calcul
Densité d'abondance	La densité d'abondance est le nombre moyen d'individus dans un rayon de 5m autour de la caméra, soit une surface de 78.5 m ² . Les densités correspondent à une durée d'observation de 3 min (moyenne sur trois rotations de 3min)
Richesse spécifique (RS)	La RS est le nombre d'espèces dénombrées par unité d'observation dans un rayon 5m autour du système, additionnées sur les trois rotations. Cette métrique correspond à une durée d'observation de 9 min.
Fréquence d'occurrence	La fréquence d'occurrence représente la proportion de stations où l'espèce a été observée dans une zone de 10 m autour du système. Cette métrique correspond à une durée d'observation de 9 min.

Tableau 5. Liste des métriques retenues en fonction de leur pertinence.

Niveau taxonomique	Métriques	Pertinence
Famille (Lethrinidae / Lutjanidae / Carangidae / Serranidae / Acanthuridae / Scaridae / Haemulidae)	Densité d'abondance des poissons de la famille	La plupart des espèces appartenant à ces familles sont commercialisées, ciblés par la pêche à la ligne et secondairement par la chasse sous-marine et le filet maillant. La densité devrait être plus élevée dans les zones où l'effort de pêche est contraint réglementairement, puis éventuellement augmenter dans les zones adjacentes par exportation
	Densité d'abondance des « grands individus »	La pêche à la ligne et la chasse sous- marine ciblent en priorité les individus de grande taille.
	Richesse spécifique par famille	La richesse spécifique par station quantifie la diversité des espèces observées. Elle devrait être plus élevée dans les zones où l'effort de pêche est contraint réglementairement.
Genre	Densité d'abondance par genre (<i>Plectropomus / Epinephelus / Cephalopholis / Naso / Acanthurus</i>)	Les genres les plus ciblés par les pêcheurs sont retenus. La densité devrait être plus élevée dans les zones de où l'effort de pêche est contraint réglementairement, puis éventuellement augmenter dans les zones adjacentes par exportation
Espèces	Fréquence d'occurrence des espèces cibles de la famille <i>M.grandoculis / L.harak / L.bohar / C.melampygus / P.laevis / C.argus</i>	Ces métriques ciblent les espèces fréquemment observées et ciblées par la pêche à la ligne et secondairement par la chasse sous-marine et le filet maillant.
Métriques par intérêts halieutiques	Densité d'abondance des espèces commerciales	Espèces commercialisées à Mayotte (Source SIH)
	Densité d'abondance des espèces cibles de la pêche à la ligne	La ligne est la technique de pêche la plus utilisée dans le lagon de Mayotte. Elle cible une grande diversité d'espèces dont la plupart sont commercialisées.
	Densité d'abondance des espèces cibles de la chasse sous-marine	La chasse sous-marine est interdite dans le lagon. Elle est autorisée sur la pente externe où elle représente une part importante des captures.
	Densité d'abondance des espèces cibles de la pêche au filet	La pêche au filet est interdite aux navires de plaisance. Pour les navires professionnels, l'usage du filet est interdit à l'aplomb des récifs vivants.
Métriques par types trophiques	Densité d'abondance des carnivores	Les carnivores comptent parmi les espèces les plus ciblées par toutes les techniques de pêche. La plupart des espèces carnivores sont commercialisées.
	Densité d'abondance des piscivores	Les espèces piscivores se situent au sommet de la chaîne trophique. La totalité de ces espèces sont ciblées par la pêche et commercialisées.
	Densité d'abondance des herbivores	Les herbivores sont des acteurs majeurs de la régulation des algues sur les récifs.
	Densité d'abondance des planctonophages	Les planctonophages sont à la base de la chaîne trophique.

2.7. Calcul et analyse des indicateurs: l'outil de calcul PAMPA

Les métriques sont calculées et analysées à partir de l'outil de calcul « Ressources et Biodiversité » développé dans le cadre du projet PAMPA (Pelletier et al, 2011 ; 2014).

Pour chaque métrique, les différences en fonction du type géomorphologique, de l'habitat, du statut de pêche et du statut de protection ont été testées au moyen de tests statistiques basés sur des GLM. En fonction de la nature de l'indicateur (par ex. densité ou richesse spécifique) et de sa distribution dans les données analysées, l'outil propose le modèle qui s'ajuste le mieux aux données selon le critère statistique d'Akaike, puis il permet d'ajuster un modèle à deux facteurs (Type géomorphologique/Statut de pêche ou Habitat/Statut de pêche). L'analyse de la variance indique d'abord si les effets des facteurs sont significatifs, puis ces effets sont estimés pour chaque combinaison de niveau des facteurs. Les résultats du modèle peuvent ne pas être significatifs alors que les différences sont en apparence nettes sur les graphiques; ceci peut être dû à un modèle non optimal par rapport aux données, ou à une puissance statistique insuffisante pour détecter un effet existant. Ceci se produit lorsque la variabilité naturelle des données est forte. **Ces résultats sont détaillés dans les fiches métriques des Annexes 1 et 2 (documents séparés).**

2.8. Grille de lecture pour l'évaluation des ressources récifales

2.8.1. Méthodologie d'interprétation des indicateurs

La grille de lecture d'un indicateur définit les règles d'interprétation des résultats de l'analyse quantitative des indicateurs (Pelletier et al. 2011, 2014). **Cette interprétation des valeurs des métriques se fonde sur des points de comparaisons absolus comme des seuils, des points de référence, ou sur des points de comparaisons relatifs comme des comparaisons temporelles ou géographiques.**

Elle permet également de résumer des résultats complexes en un **diagnostic synthétique exprimé sous forme de code couleur, de tendance et assorti d'un commentaire** (voir Guide des outils PAMPA, p. 45). Au cours du projet PAMPA, de nombreux indicateurs issus de données écologiques avaient été construits et analysés en suivant cette démarche, pour plusieurs cas d'étude dont Mayotte (Gigou et al. 2011).

Dans la plupart des cas, on ne dispose pas de seuils ni de points de référence pour les indicateurs issus de suivis de terrain écologiques (Pelletier et al. 2008). Dans le projet PAMPA, les grilles de lecture ont principalement été construites à partir de comparaisons temporelles et spatiales (voir Annexe 8 du Guide PAMPA pour une discussion sur les grilles de lecture et les seuils).

En ce qui concerne la vidéo sous-marine, le grand nombre et la représentativité territoriale des stations vidéo réalisées en Nouvelle-Calédonie depuis 2007, et notamment entre 2012 et 2015, permettent la construction de grilles de lecture basées sur la détermination de seuils à partir des données. Ce travail méthodologique est actuellement en cours dans le projet AMBIO (Tableau 6). Dans cette étude-pilote, il est impossible de déterminer des seuils à partir du jeu de données qui n'est pas assez important, ni représentatif de la diversité des situations rencontrées dans le

lagon de Mayotte. Ce travail pourra néanmoins être réalisé à partir de nouvelles études STAVIRO, en considérant l'ensemble du lagon, voire les bancs et récifs éloignés. Cependant, **afin d'illustrer comment les indicateurs peuvent être interprétés à partir de seuils**, une partie des indicateurs obtenus sera comparée avec les seuils en cours de définition en NC (§ 6.1, p. 51).

Tableau 6. Méthodologie de détermination des seuils à partir du jeu de données vidéo de Nouvelle Calédonie

Toutes les métriques écologiques considérées sont telles que plus leur valeur est élevée, plus l'état écologique est satisfaisant.

La construction des seuils pour une métrique donnée s'appuie sur l'étendue de la distribution de valeurs, et non sur les quantiles de la distribution, ce qui rendrait les seuils très dépendants des plans d'échantillonnage. Il est supposé qu'en raison du grand nombre et de la variété des expositions des sites et des habitats pour lesquels des données vidéo sont disponibles, l'étendue des valeurs de chaque métrique comprend l'ensemble des valeurs que cette métrique pourrait prendre dans le lagon de Nouvelle-Calédonie.

Afin de rendre les seuils robustes aux distributions dissymétriques fréquentes pour les métriques écologiques (nombreux zéros, existence de valeurs extrêmes), les seuils intermédiaires sont déterminés en excluant les queues à gauche et à droite de chaque distribution (5% des données exclues de part et d'autre), puis en divisant l'étendue tronquée en cinq intervalles de largeurs égales. Les valeurs minimales et maximales de chaque métrique constituent les bornes inférieures et supérieures de la gamme des seuils. Pour les densités, la très forte dissymétrie a nécessité de recourir à une transformation logarithmique pour calculer les seuils. Pour les richesses spécifiques, les seuils sont définis sur la distribution initiale tronquée. Aucun seuil n'est défini à l'heure actuelle pour les métriques de type fréquence d'occurrence.

Le jeu de données vidéo considéré pour construire les seuils comprend 2383 stations collectées lors de vingt campagnes réalisées sur quinze sites. Ces stations se répartissent dans cinq habitats : Corail vivant, Détritique, Fond lagonaire, Herbier et Algueraie. Ils ont été déterminés a posteriori du terrain grâce à une typologie des données vidéo relative à l'habitat. Ces habitats abritent des diversités et des abondances très différentes. Les seuils sont donc déterminés pour chaque habitat. Par contre, ils ne sont pas déterminés par unité géomorphologique. Ce choix dérive de plusieurs raisons :

- l'observation générale dans l'analyse de ces données que le facteur habitat s'est systématiquement révélé plus structurant pour les peuplements de poisson que le facteur type géomorphologique.
- le fait que le type géomorphologique inclut implicitement un gradient côte-large qui peut souvent être confondu avec un gradient de pression anthropique. Il est important que les seuils soient définis sur la base de critères d'environnement naturel, et non en considération de pressions anthropiques, fluctuantes, et objet des mesures de gestion décidées à partir des évaluations.
- des seuils par unité géomorphologique amèneraient à des interprétations non comparables entre types géomorphologiques du fait des seuils différents.

2.8.2. Evaluation des ressources récifales en fonction du statut de pêche

Cette évaluation s'appuie sur l'ensemble des données collectées. Les GLM prennent en compte les facteurs explicatifs : type géomorphologique, statut (pression) de pêche : de 1 à 3, et habitat issu de la typologie. Habitat et type géomorphologique permettent de contrôler les différences spatiales correspondantes pour mieux révéler d'éventuelles différences en fonction de la pression de pêche. Les résultats sont détaillés dans l'Annexe 1 et synthétisés dans le § 6.1.

2.8.3. Evaluation des ressources récifales dans la Passe en S

Cette évaluation s'appuie sur une comparaison entre : a) toutes les stations réalisées dans le périmètre de la réserve ; et b) les stations situées hors réserve, en se limitant au même type géomorphologique (pentes interne et externe car les passes ne sont pas assez représentées dans l'échantillonnage). Les résultats sont détaillés dans l'Annexe 2 et synthétisés dans le § 6.2. Bien que le projet PAMPA ait développé des grilles de lecture pour l'évaluation des effets de la protection, avec des codes couleur basés sur les différences entre zone protégée et zone non protégée, aucun code couleur ne sera utilisé dans le cadre de ce travail. Premièrement, il existait des différences, avant la mise en réserve, entre la Passe en S et les zones adjacentes, par ex. la Passe de Bandrélé (voir les études antérieures). Deuxièmement, il est impossible d'interpréter l'évolution des différences entre les études antérieures et cette étude, du fait que les stations hors réserve ne correspondent pas. Dans cette étude, seules trois stations ont été réalisées dans la Passe Bandrélé, et en l'absence de données vidéo antérieures, les tendances ne peuvent être évaluées.

3. Distribution des stations

Les analyses ont été conduites sur 104 des 115 stations réalisées pendant la campagne d'échantillonnage de novembre 2014. 70% des stations se situent au niveau du récif barrière (Pentes interne et externe) (Figures 5 et 6). Toutefois si l'on rapporte le nombre de stations à la surface des différentes formations récifales, les quatre types géomorphologiques apparaissent bien représentés (Tableau 7).

La plupart des stations ont été posées sur des fonds meubles situés au pied des tombants coralliens. A ce titre, la classe "corail vivant" est sous-représentée par rapport aux autres classes d'habitat (Tableau 8).

La moitié des stations se situent au sein de zones peu pêchées (Statut de pêche =3)(Figure 4). **Les zones plus** pêchées auraient mérité d'être mieux représentées, cependant cette catégorie inclut aussi les stations situées dans des zones de réserve, qui servent de référence pour évaluer l'impact de la pêche.

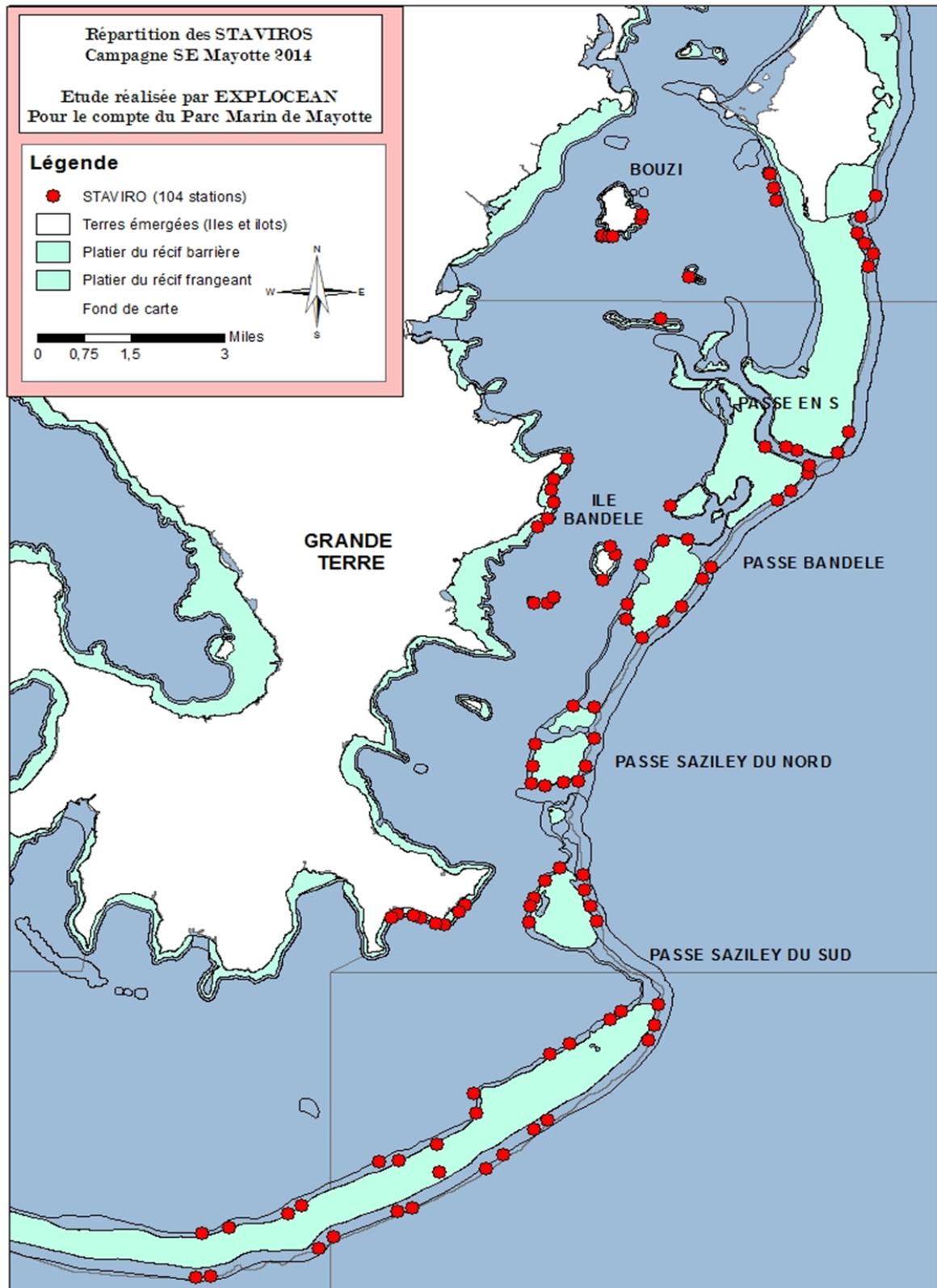


Figure 5. Bilan des stations réalisées et validées lors de la campagne SE Mayotte 2014

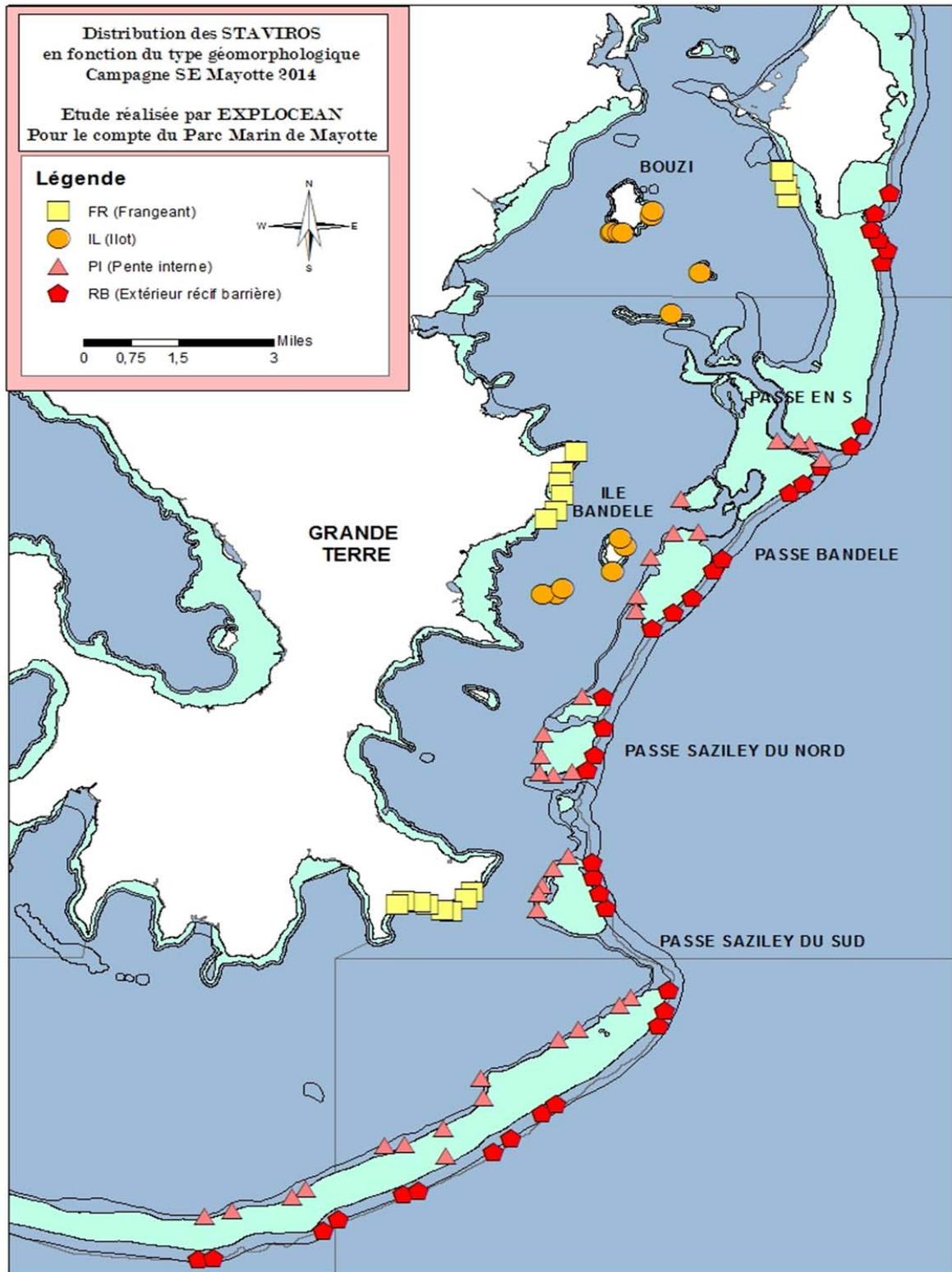


Figure 6. Distribution des STAVIRO en fonction du type géomorphologique

Tableau 7. Distribution des stations selon le type géomorphologique et le statut de pêche.

Type géomorphologique	Statut de pêche			TOTAL
	1	2	3	
Récif frangeant (FR)	0	8	10	18
Récif d'îlot (IL)	1	6	7	14
Pente interne du récif Barrière (PI)	14	6	15	35
Pente externe du récif barrière (RB)	7	10	20	37
TOTAL	22	30	52	104

Tableau 8. Distribution des stations selon l'habitat et le statut de pêche.

Habitat	Statut de pêche			TOTAL
	1	2	3	
Corail vivant	2	4	5	11
Dalle	8	10	21	39
Débris	2	9	17	28
Sable	10	7	9	26
TOTAL	22	30	52	104

Rappel des statuts de pêche

Statut	Définition
1	Très pêché
2	Moyennement pêché
3	Peu pêché

4. Caractérisation de l'habitat corallien

4.1. Description de l'habitat corallien

La caractérisation de l'habitat corallien des 104 stations selon le protocole AMBIO (AMBIO/A/1). Pour chaque station, l'habitat a été décrit sur une rotation (Tableau 9). La topographie, la complexité, le recouvrement en substrat, le statut du corail dur, le sédiment, la forme du corail vivant, le recouvrement en herbier, le recouvrement algal ainsi que la présence d'espèces remarquables ont été relevés.

Tableau 9. Statistiques générales de la caractérisation de l'habitat.

Analyseur :	William Roman
Nombre total de stations analysées :	104
Durée total de l'analyse de l'habitat :	50 heures
Temps minimum pour analyser 1 vidéo :	17 minutes
Temps maximum pour analyser 1 vidéo :	38 minutes
Temps moyen pour analyser 1 vidéo :	27 minutes

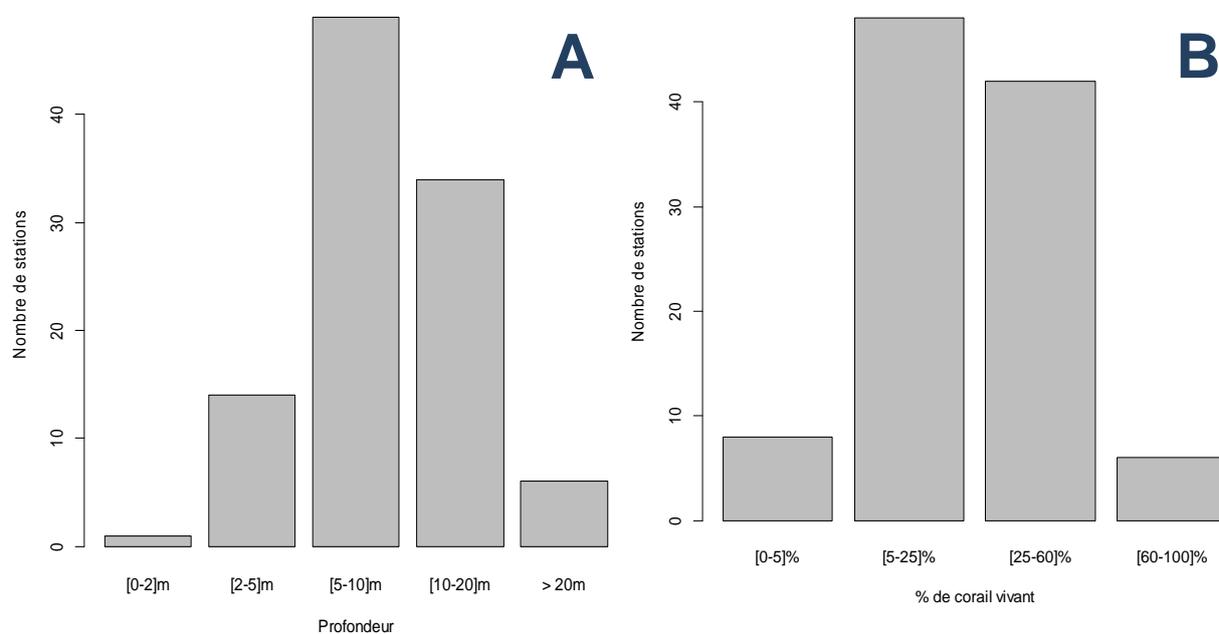


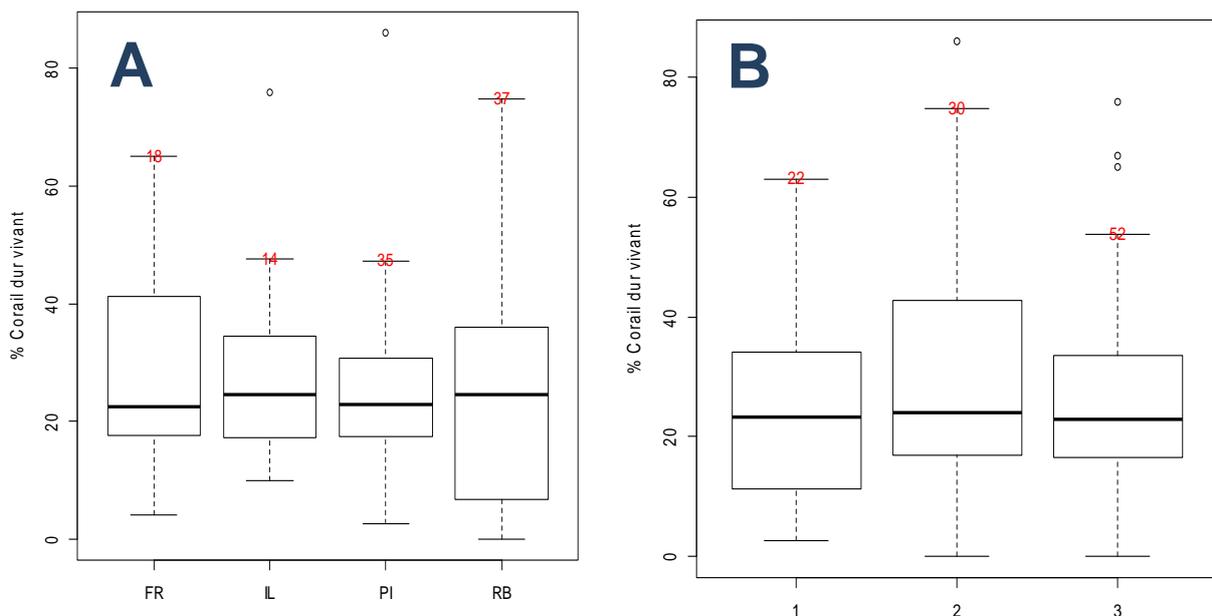
Figure 7. Nombre de stations en fonction (A) de la profondeur et (B) du pourcentage de recouvrement en corail vivant

Les stations ont été déployées à des profondeurs variées ([0,4-33,9] m). 80% des stations ont été réalisées dans des profondeurs comprises entre 5 et 20m (Figure 7A). L'échantillonnage a ciblé les habitats coralliens. Herbiers et algueraies n'ont pas été échantillonnés. Le recouvrement en corail vivant varie entre 0 et 86% (Figure 7B). 92% des stations présentent au moins 5% de corail vivant et 85% des stations présentent un recouvrement corallien compris entre 25 et 60%. Le taux de recouvrement dépend fortement de la position de la station. La majorité des stations ont été positionnées sur les platiers coralliens (sur la dalle) ou dans le sable à proximité d'un tombant ou d'une patate isolée, afin d'éviter de casser le corail. Les pourcentages de recouvrement en corail vivant sont classiques des pourcentages observés avec la technique STAVIRO.

4.2. Variation de l'habitat selon le type géomorphologie et le statut de pêche.

La Figure 8 présente les pourcentages de recouvrement en corail vivant, dalle et sable en fonction du type géomorphologique et du statut de pêche.

- Le recouvrement moyen en corail vivant par station varie peu selon le type géomorphologique et le statut de pêche (Figure 8A et 8B)
- Les recouvrements en sable et dalle (Figure 8C 8D 8E 8F) présentent des différences importantes qui peuvent être expliquées par la position des stations. Les stations situées sur les îlots et la pente externe ont été posées sur le platier corallien, riche en dalle tandis que les stations situées sur le récif frangeant et la pente interne ont été posées dans des habitats dominés par le sable (Pied de tombant et arrière récif).



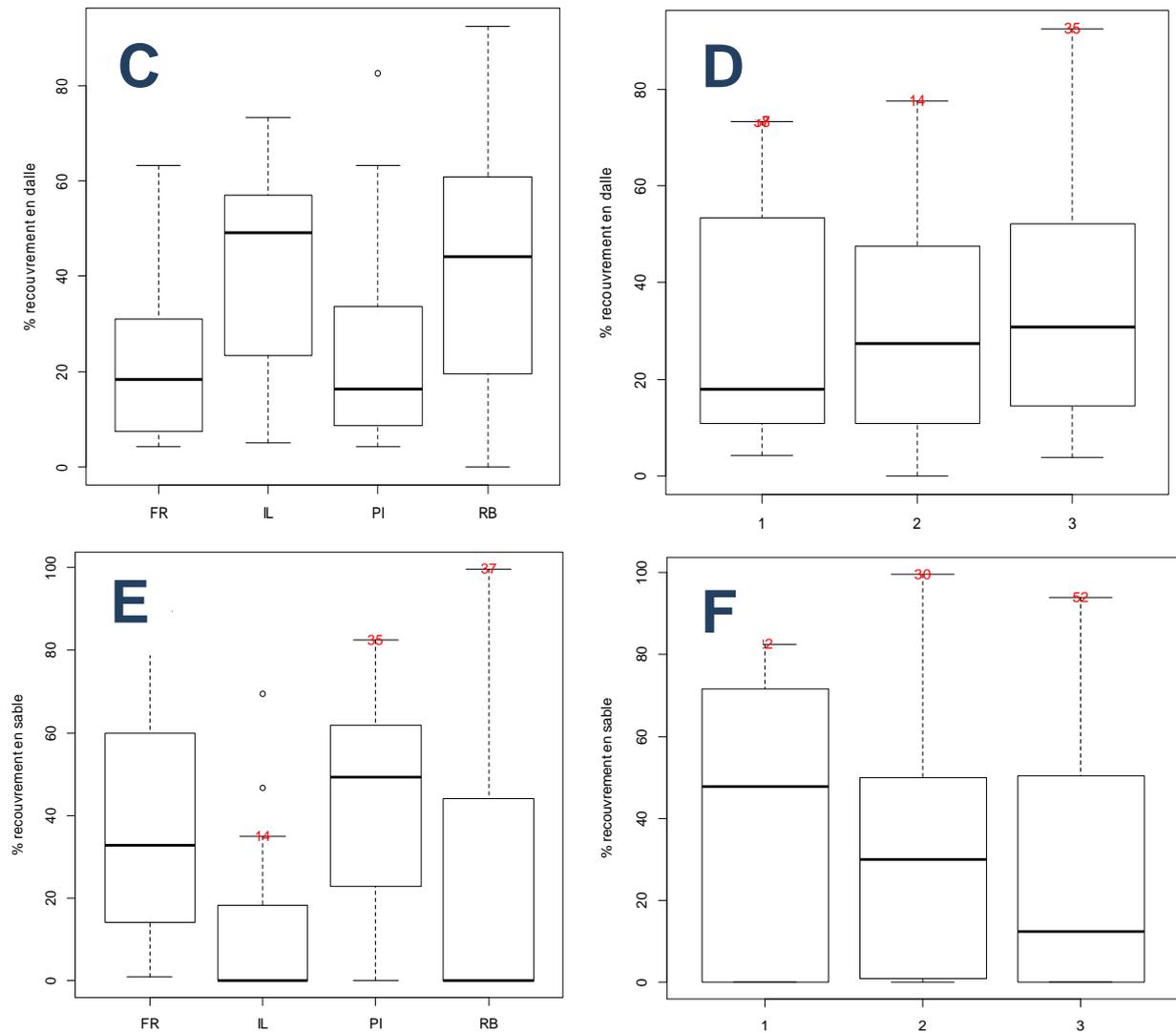


Figure 8. Pourcentages de recouvrement en corail vivant, dalle et sable en fonction du type géomorphologique (FR = Frangeant, IL = Récif d'îlots, PI = Pente interne du récif barrière, RB = pente externe du récif barrière) et du statut de pêche 1 = peu pêché, 2 = moyennement pêché, 3 = très pêché).

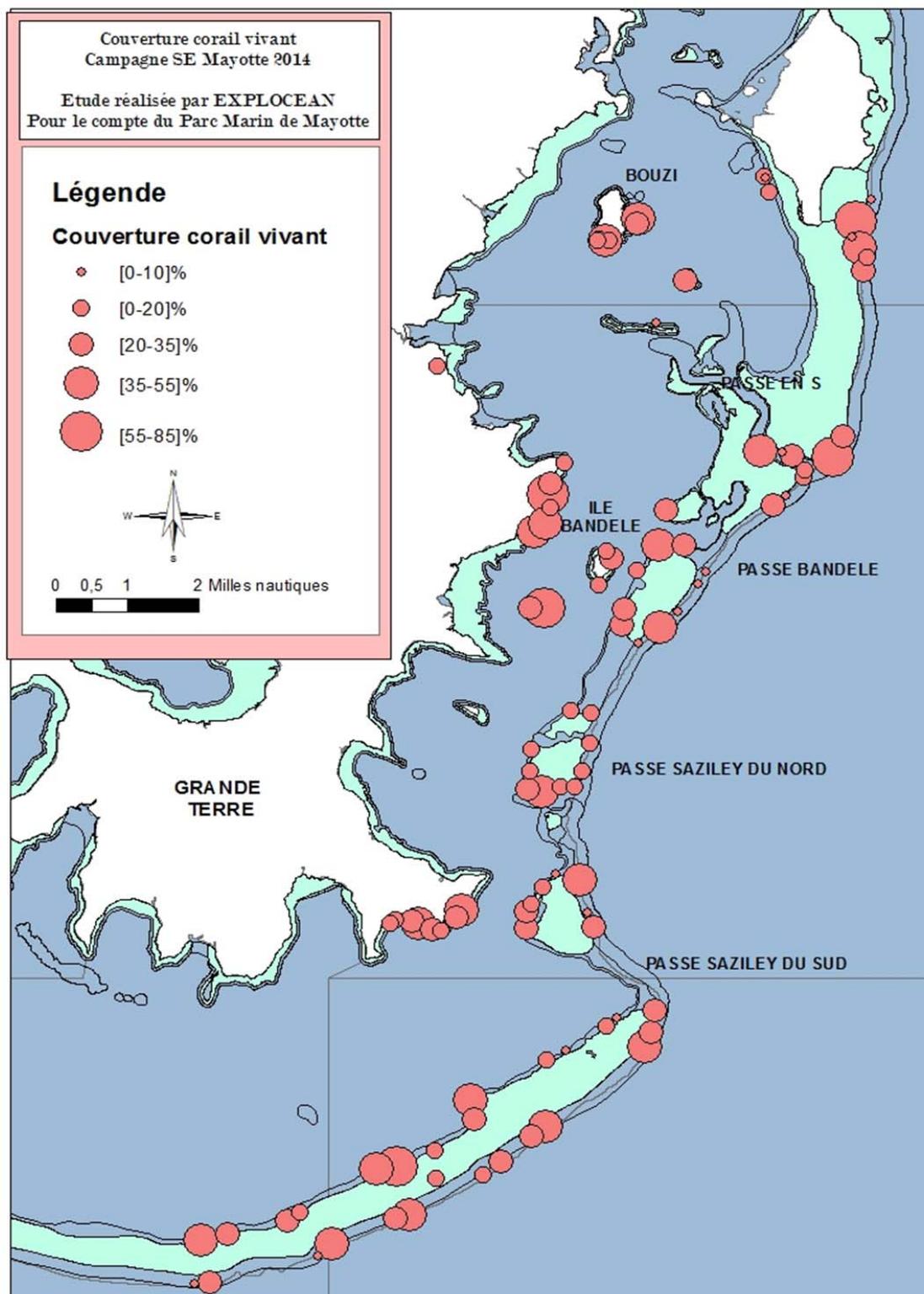


Figure 9. Carte représentant le pourcentage de recouvrement en corail vivant de chaque station

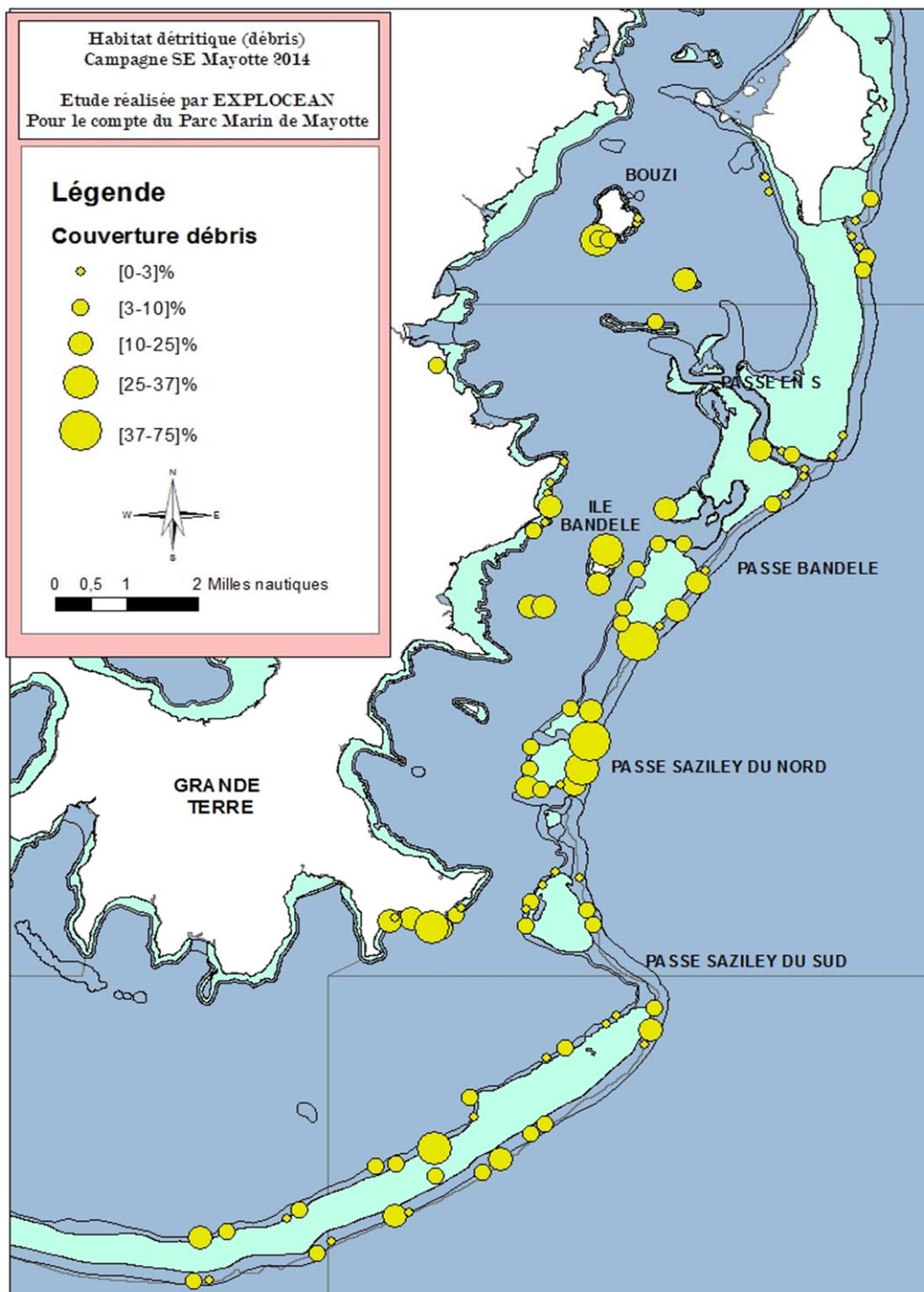


Figure 10. Carte représentant le pourcentage de recouvrement en débris de chaque station

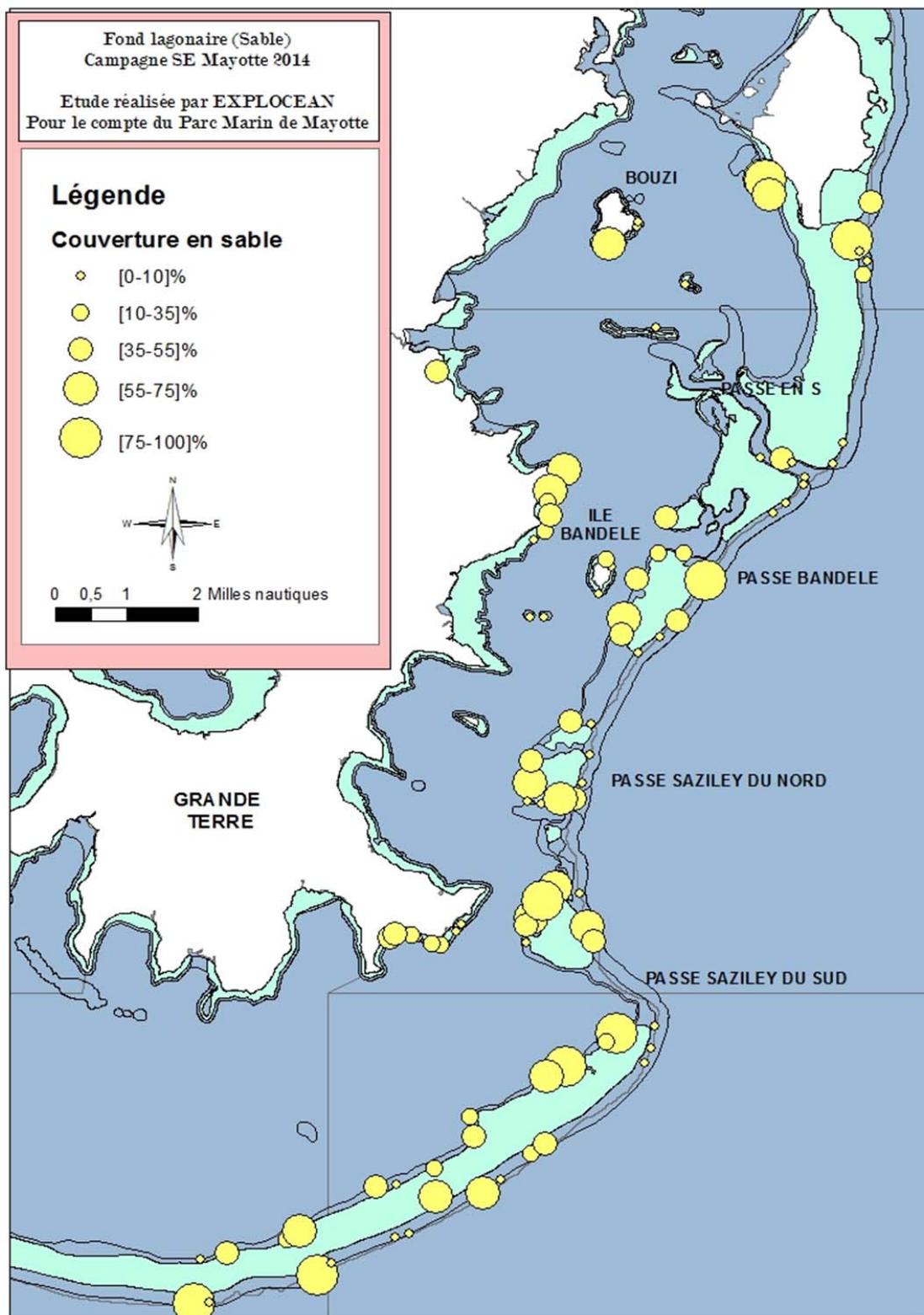


Figure 11. Carte représentant le pourcentage de recouvrement en sable de chaque station

4.3. Typologie des stations

Les données habitat des 104 stations exploitables ont été utilisées pour réaliser cette typologie d'habitat. Les paramètres retenus pour caractériser chaque station sont présentés dans le Tableau 10.

Tableau 10. Paramètres utilisés pour établir une typologie d'habitat

Paramètres	Définition
Profondeur	Profondeur relevée au niveau de la station
Topographie	Paramètre codé de 1 à 5. Les valeurs correspondent respectivement à h négligeable, $h < 1$ m, $1 < h < 2$ m, $2 < h < 3$ m, $h > 3$ m. h désigne la plus grande dénivellation entre les creux et les bosses observés sur l'image.
Complexité	Codé de 1 à 5, valeurs correspondant respectivement à: aucune, faible, intermédiaire, forte, exceptionnelle
Substrat	Pourcentage de recouvrement par sable, gravier, petit bloc (< 0.3 m), gros bloc ($0.3 \text{ m} < < 1$ m), roche (> 1 m), dalle
Corail vivant	Pourcentage de recouvrement
Macroalgues	Pourcentage de recouvrement
Herbier	Pourcentage de recouvrement

L'analyse est effectuée en deux temps : a) une analyse en composantes principales normée (ACP); puis b) une classification hiérarchique ascendante (CAH) basée sur la distance de Ward (Ward 1963). Les classes de station obtenues sont ensuite décrites par les variables initiales, en testant la différence de moyenne de chaque variable entre la classe et l'ensemble des stations. Ces différences sont testées avec une statistique de Student sur la base d'une approximation gaussienne (Lebart & Morineau 1984). Un test significatif indique que la moyenne de la variable dans la classe est plus élevée (cas d'une statistique positive) ou moins élevée (cas d'une statistique négative) que la moyenne de la même variable prise sur l'ensemble des stations

Facteurs explicatifs de la variance du jeu de données

La structuration du jeu de données est bien reflétée par les deux premiers axes de l'ACP qui expliquent à eux seuls 71,3% de la variance du jeu de données (Figure 12A) ; Le premier facteur explicatif oppose les stations sur substrat sableux aux stations sur substrat dur (Figure 12B). Le deuxième facteur sépare les milieux détritiques des stations où le recouvrement en corail vivant est plus important.

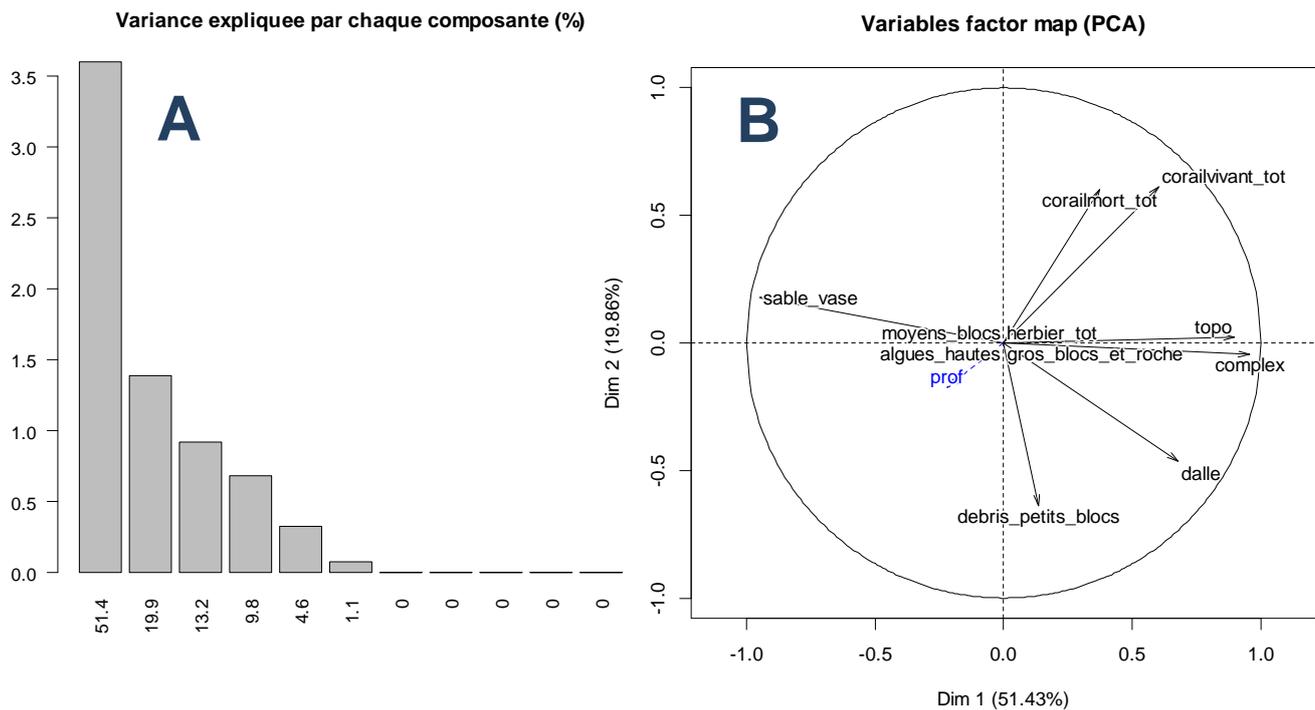


Figure 12. Pourcentage de variance expliquée par chaque axe (A) et projection des variables sur le premier plan factoriel (B). *Prof=profondeur, complex=complexité, topo=topographie*

Partitionnement des stations et caractérisation des classes

La classification hiérarchique ascendante appliquée à l'ensemble des coordonnées factorielles des stations (donc 100% de la variance du jeu de données) conduit à un arbre avec des partitions équilibrées dès la première dichotomie (Figure 13A). Une partition en 4 classes a été retenue qui correspond à un compromis entre le nombre de classe et la finesse de leur définition.

Les 4 classes de la partition ont été caractérisées par les variables descriptives de l'habitat local de chaque station (Figure 13B et Tableau 11).

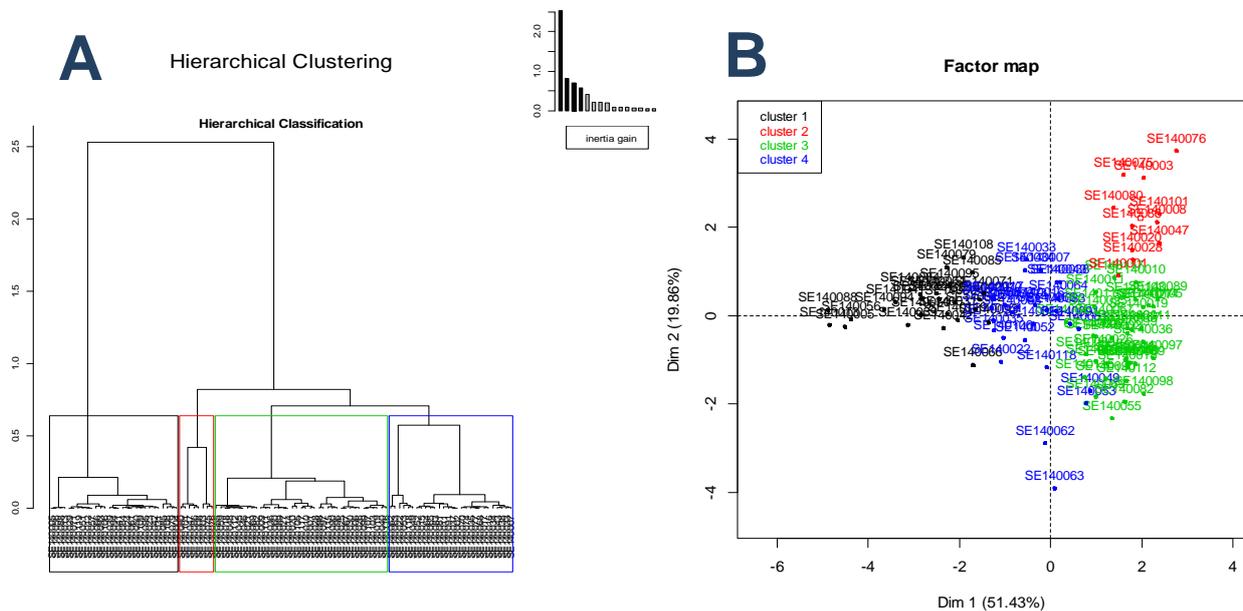


Figure 13. Arbre de partitionnement des stations en classes. Projection des stations sur le plan factoriel

Tableau 11. Caractérisation des classes de stations par les descripteurs de l'habitat local. Les variables particulièrement caractéristiques de chaque habitat sont indiquées en gras (valeurs élevées dans la classe) et en italiques (valeurs faibles dans la classe).

Habitat	Topographie	Complexité	Sable (%)	Débris (%)	Dalle (%)	Corail vivant (%)	Corail mort (%)
Corail vivant	3,45	3,86	<i>6,87</i>	<i>Faible</i>	19,06	60,32	9,33
Dalle	3,25	3,76	3	Faible	58,2	18,75	NC
Débris (détritique)	2,25	NC	Faible	13,34	21,28	Faible	Faible
Sable (Fond lagonaire)	<i>1,74</i>	<i>2,19</i>	70,26	<i>3,72</i>	<i>11,0</i>	<i>13,27</i>	<i>1,73</i>

La typologie distingue de manière satisfaisante les principaux habitats rencontrés dans le lagon avec un habitat à fond sableux et trois habitats de fonds durs : corail vivant, dalle et débris (détritique) (Figure 14).

La topographie et la complexité sont plus élevées dans les habitats « corail vivant » et « dalle ». La profondeur ne présente pas de variations significatives selon les habitats.

Les stations de la classe **corail vivant** sont caractérisées par :

- Recouvrement en corail dur important
- Recouvrement en corail vivant important
- Topographie et complexité plus élevées que la moyenne
- Recouvrement en sable faible
-

Les stations de la classe **dalle** sont caractérisées par :

- Recouvrement en dalle important
- Topographie et complexité plus élevées que la moyenne
- Recouvrement en corail vivant plus élevé que la moyenne

La dalle est une ancienne structure corallienne très érodée servant de substrat dur aux nouvelles colonies. Elle est différente de la roche, dont l'origine n'est pas corallienne.

Les stations de la classe **débris** sont caractérisées par :

- Recouvrement en débris important
- Topographie et complexité moins élevées que la moyenne
- Recouvrement en dalle plus élevé que la moyenne

Les « débris » correspondent aux débris coralliens.

Les stations de la classe **sable** sont caractérisées par :

- Recouvrement en sable important
- Topographie et complexité faibles
- Recouvrement en dalle et corail vivant plus faibles que la moyenne

Répartition et carte des habitats sur le site

Tableau 12. Nombre de stations par classes d'habitat sur le site

Habitat	Nombre de stations	% du jeu de données
Corail vivant	11	10,5
Dalle	39	38,5
Débris (détritique)	28	27
Sable (Fond lagonaire)	25	24

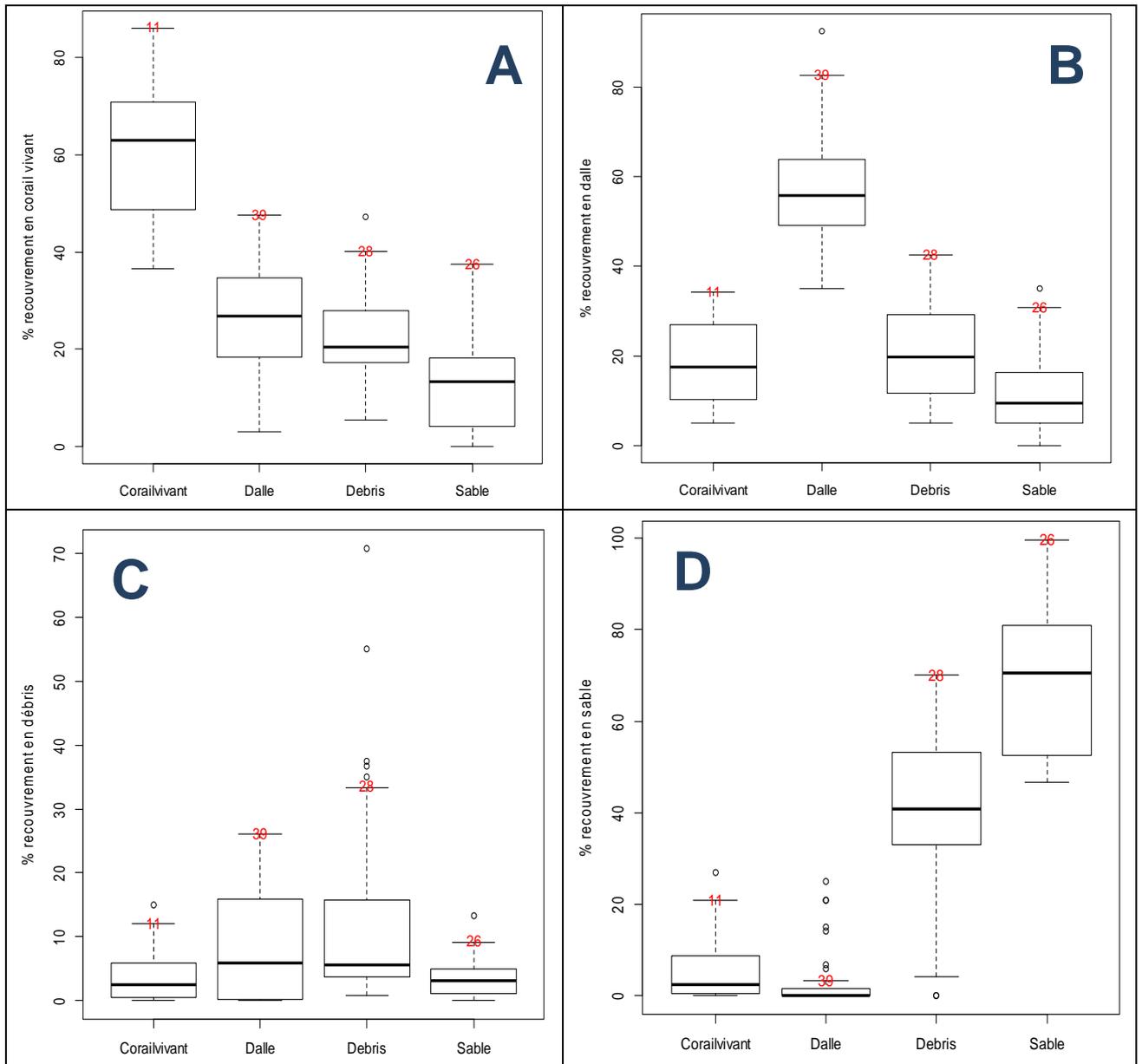


Figure 14. Recouvrement en substrat abiotique pour (A) Classe Corail vivant, (B) Classe dalle, (C) Classe détritique, (D) Fond sableux

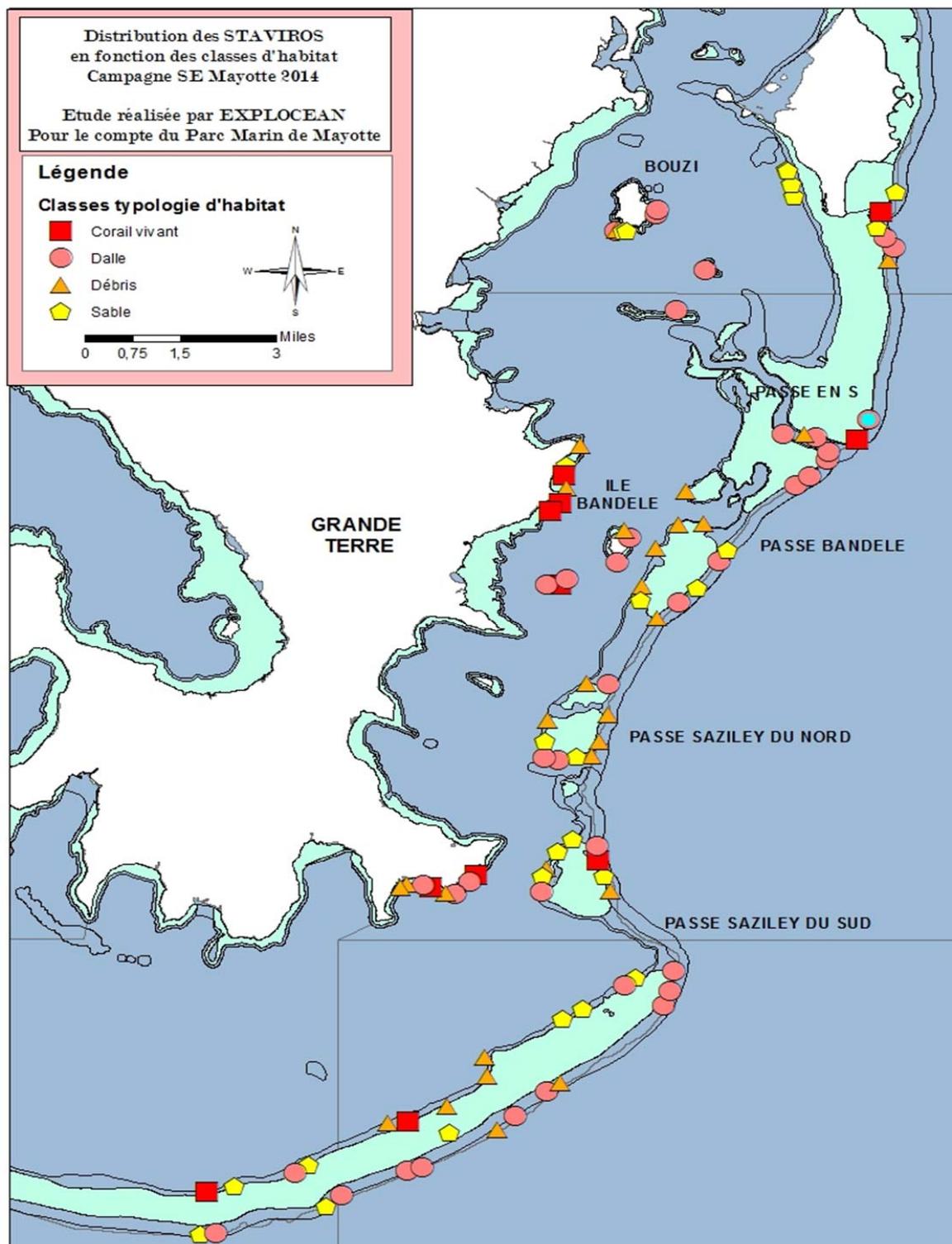


Figure 15. Carte représentant la répartition des classes d'habitat par station

5. Description des peuplements ichthyologiques

Les analyses ont été conduites sur 104 des 115 stations réalisées pendant la campagne d'échantillonnage. Les statistiques générales de l'analyse ichthyologique sont présentées dans le Tableau 13.

Tableau 13. Statistiques générales de l'analyse ichthyologique

Analyseur :	William Roman
Nombre total de stations analysées :	104
Durée total de l'analyse de l'habitat :	95 heures
Temps minimum pour analyser 1 vidéo :	31 minutes
Temps maximum pour analyser 1 vidéo :	1h et 37 minutes
Temps moyen pour analyser 1 vidéo :	49 minutes

5.1. Liste des espèces observées et niveaux d'identification

131 espèces appartenant à 24 familles et 62 genres ont été observées (Tableau 14). Les familles les plus diversifiées sont les Acanthuridae (20 espèces), les Chaetodontidae (17 espèces), les Scaridae et les Serranidae (12 espèces). Il s'agit également des espèces les plus observées (Figure 15)

91% des individus ont été identifiés au niveau de l'espèce. Les individus identifiés au niveau du genre (9%) se composent essentiellement de juvéniles de perroquets *Scarus sp* et de *Ctenochaetus sp*.

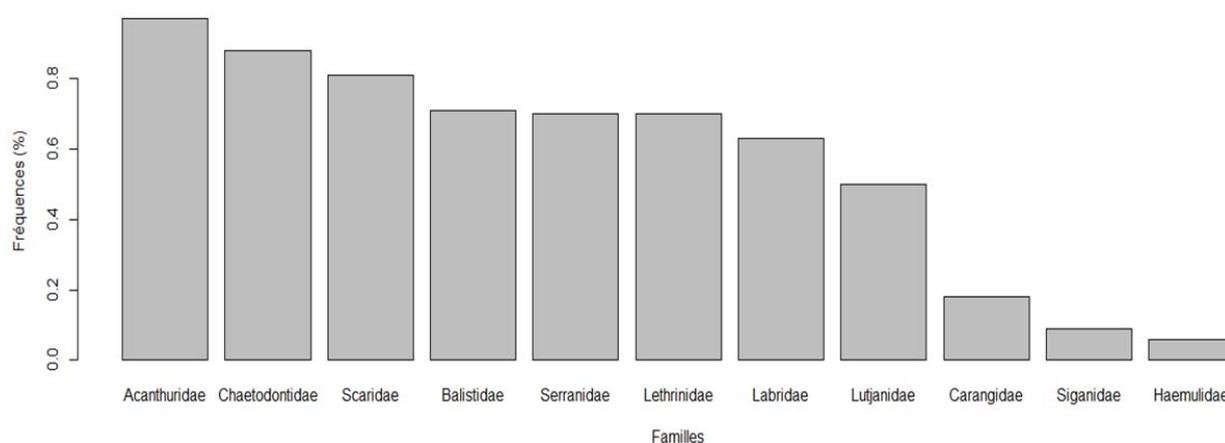


Figure 16. Fréquence d'occurrence des principales familles

Tableau 14. Liste alphabétique des familles et des espèces de poissons échantillonnés

Famille	Espèces	Famille	Espèces
Acanthuridae (20)	<i>Acanthurus leucosternon</i>	Carangidae (2)	<i>Caranx melampygius</i>
	<i>Acanthurus lineatus</i>		<i>Scomberoides lysan</i>
	<i>Acanthurus mata</i>	Chaetodontidae (17)	<i>Chaetodon auriga</i>
	<i>Acanthurus nigricauda</i>		<i>Chaetodon bennetti</i>
	<i>Acanthurus tennentii</i>		<i>Chaetodon falcula</i>
	<i>Acanthurus thompsoni</i>		<i>Chaetodon guttatissimus</i>
	<i>Acanthurus xanthopterus</i>		<i>Chaetodon kleinii</i>
	<i>Ctenochaetus binotatus</i>		<i>Chaetodon lunula</i>
	<i>Ctenochaetus striatus</i>		<i>Chaetodon madagaskariensis</i>
	<i>Ctenochaetus truncatus</i>		<i>Chaetodon melannotus</i>
	<i>Naso brachycentron</i>		<i>Chaetodon melannotus</i>
	<i>Naso brevirostris</i>		<i>Chaetodon meyeri</i>
	<i>Naso elegans</i>		<i>Chaetodon trifascialis</i>
	<i>Naso hexacanthus</i>		<i>Chaetodon trifasciatus</i>
	<i>Naso thynnoides</i>		<i>Chaetodon vagabundus</i>
	<i>Naso unicornis</i>		<i>Chaetodon xanthocephalus</i>
	<i>Naso vlamingii</i>		<i>Forcipiger sp</i>
	<i>Paracanthurus hepatus</i>		<i>Hemitaurichthys zoster</i>
	<i>Zebrasoma scopas</i>		<i>Heniochus acuminatus</i>
	<i>Zebrasoma velifer</i>	<i>Heniochus monoceros</i>	
Balistidae (8)	<i>Balistapus undulatus</i>	Cheloniidae	<i>Chelonia mydas</i>
	<i>Balistoides conspicillum</i>	Dasyatidae	<i>Himantura fai</i>
	<i>Balistoides viridescens</i>	Ephippidae	<i>Platax orbicularis</i>
	<i>Melichthys niger</i>	Haemulidae (2)	<i>Diagramma labiosum</i>
	<i>Odonus niger</i>		<i>Plectorhinchus vittatus</i>
	<i>Pseudobalistes flavimarginatus</i>	Holocentridae (3)	<i>Myripristis violacea</i>
	<i>Sufflamen bursa</i>		<i>Sargocentron</i>
<i>Sufflamen chrysopterum</i>	<i>caudimaculatum</i>		
Caesionidae (7)	<i>Caesio caerulea</i>	Kyphosidae	<i>Kyphosus sp</i>
	<i>Caesio lunaris</i>	Labridae (8)	<i>Bodianus anthioides</i>
	<i>Caesio varilineata</i>		<i>Bodianus axillaris</i>
	<i>Caesio xanthonota</i>		<i>Bodianus diana</i>
	<i>Pterocaesio marri</i>		<i>Cheilinus fasciatus</i>
	<i>Pterocaesio tile</i>		<i>Cheilinus undulatus</i>
	<i>Pterocaesio trilineata</i>		<i>Epibulus insidiator</i>

Labridae	<i>Hemigymnus fasciatus</i> <i>Oxycheilinus digramma</i>	Scaridae (12)	<i>Cetoscarus ocellatus</i> <i>Chlorurus sordidus</i> <i>Chlorurus strongylocephalus</i> <i>Hipposcarus harid</i> <i>Scarus caudofasciatus</i> <i>Scarus falcipinnis</i> <i>Scarus frenatus</i> <i>Scarus ghobban</i> <i>Scarus rubroviolaceus</i> <i>Scarus russelii</i> <i>Scarus scaber</i> <i>Scarus tricolor</i>
Lethrinidae (6)	<i>Gnathodentex aureolineatus</i> <i>Gymnocranius grandoculis</i> <i>Lethrinus harak</i> <i>Lethrinus obsoletus</i> <i>Lethrinus olivaceus</i> <i>Monotaxis grandoculis</i>		
Lutjanidae (9)	<i>Aphareus furca</i> <i>Aprion virescens</i> <i>Lutjanus bohar</i> <i>Lutjanus fulviflamma</i> <i>Lutjanus fulvus</i> <i>Lutjanus gibbus</i> <i>Lutjanus kasmira</i> <i>Lutjanus rivulatus</i> <i>Macolor niger</i>		
Mullidae (7)	<i>Mulloidichthys flavolineatus</i> <i>Mulloidichthys auriflamma</i> <i>Parupeneus barberinus</i> <i>Parupeneus cyclostomus</i> <i>Parupeneus macronemus</i> <i>Parupeneus pleurostigma</i> <i>Parupeneus trifasciatus</i>	Scombridae	<i>Rastrelliger kanagurta</i>
Muraenidae	<i>Gymnothorax javanicus</i>	Serranidae (12)	<i>Aethaloperca rogaa</i> <i>Cephalopholis argus</i> <i>Cephalopholis boenack</i> <i>Cephalopholis miniata</i> <i>Cephalopholis nigripinnis</i> <i>Cephalopholis sexmaculata</i> <i>Epinephelus flavocaeruleus</i> <i>Epinephelus oceanicus</i> <i>Epinephelus spilotoceps</i> <i>Gracila albomarginata</i> <i>Plectropomus laevis</i> <i>Variola louti</i>
Pomacanthidae (4)	<i>Apolemichthys trimaculatus</i> <i>Centropyge multispinis</i> <i>Pomacanthus imperator</i> <i>Pygoplites diacanthus</i>		Siganidae (2)
Priacanthidae	<i>Priacanthus hamrur</i>	Zanclidae	<i>Zanclus cornutus</i>

5.2. Composition spécifique des principales familles

Les chirurgiens (**Acanthuridae**) les plus fréquents sont les chirurgiens queue de balai (*Zebrasoma scopas*) et la licorne à épine orange (*Naso elegans*) (Figure 17). Les chirurgiens du genre *Ctenochaetus* (Acagesp5.) sont observés sur 45% des stations.

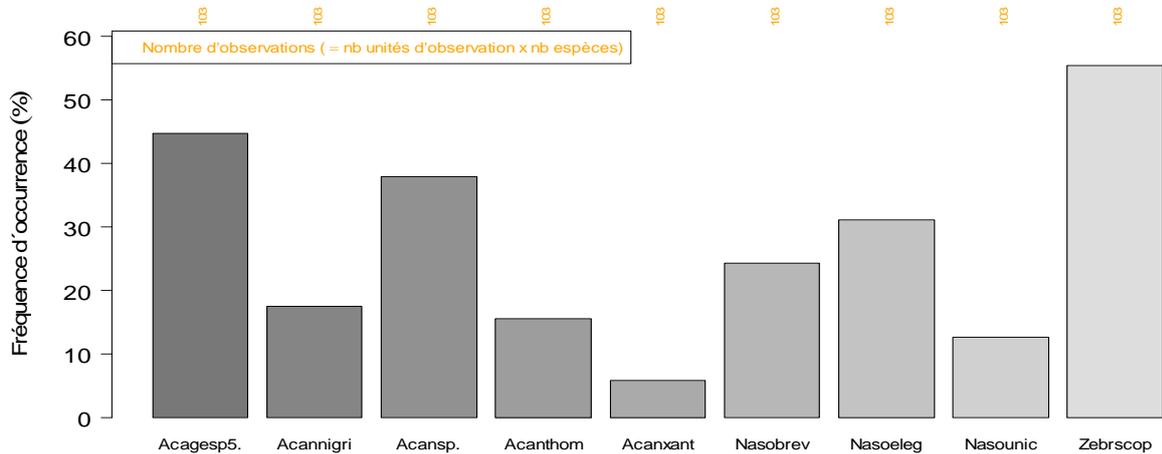


Figure 17. Fréquence d'occurrence des espèces les plus fréquentes parmi les poissons chirurgiens (Acanthuridae). Acagesp5.= Complexe d'espèces regroupant *Ctenochaetus binotatus*, *Ctenochaetus striatus*, *Ctenochaetus truncatus*. Acannigri= *Acanthurus nigricauda*, Acansp.= *Acanthurus* de genre non identifié, Acanthom= *Acanthurus thompsoni*, Acanxant= *Acanthurus xanthopterus*, Nasobrev= *Naso brevirostris*, Nasoeleg= *Naso elegans*, Nasounic= *Naso unicornis*, Zebrscop= *Zebrasoma scopas*.

Les poissons papillons (**Chaetodontidae**) considérés comme indicateurs de l'état de santé des récifs sont abondants et diversifiés. Les espèces les plus fréquentes sont les poissons papillon *Chaetodon auriga* et *Chaetodon trifasciatus*. (Figure 18).

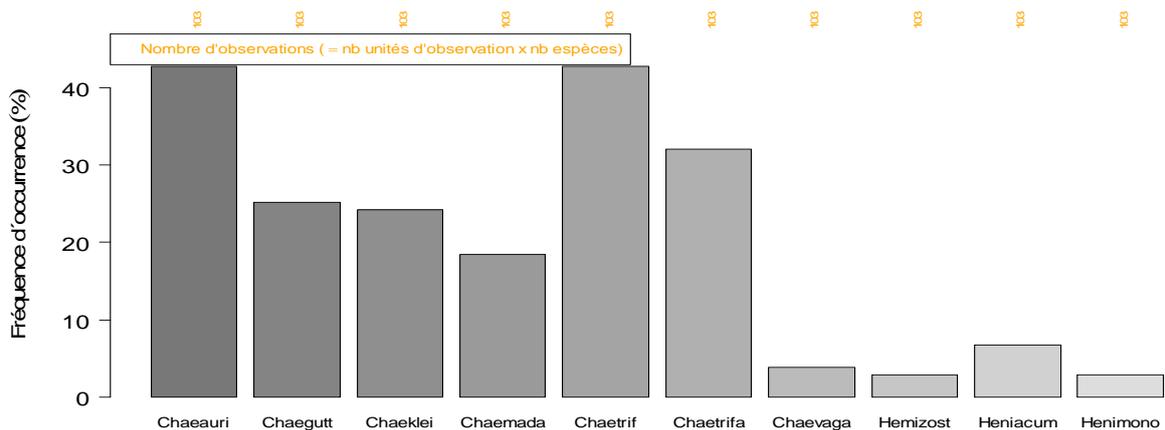


Figure 18. Fréquence d'occurrence des espèces de poissons-papillons (Chaetodontidae). Chaeauri= *Chaetodon auriga*, Chaegutt= *Chaetodon guttatissimus*, Chaeklei= *Chaetodon kleinii*, Chaemada= *Chaetodon madagascariensis*, Chaetrif= *Chaetodon trifasciatus*, Chaetrifa= *Chaetodon trifascialis*, Chaevaga= *Chaetodon vagabundus*, Hemizost= *Hemitaurchichtys zoster*, Heniaccum= *Heniochus acuminatus*, Henimono= *Heniochus monoceros*.

Les poissons perroquets (Scaridae) présentent une fréquence d'occurrence élevée même si l'identification se limite souvent au niveau du genre. Les espèces les plus fréquentes sont le *Chlorurus sordidus* et le perroquet tricolore *Scarus tricolor* (Figure 19), Les juvéniles sont rarement identifiés (Scargesp.)

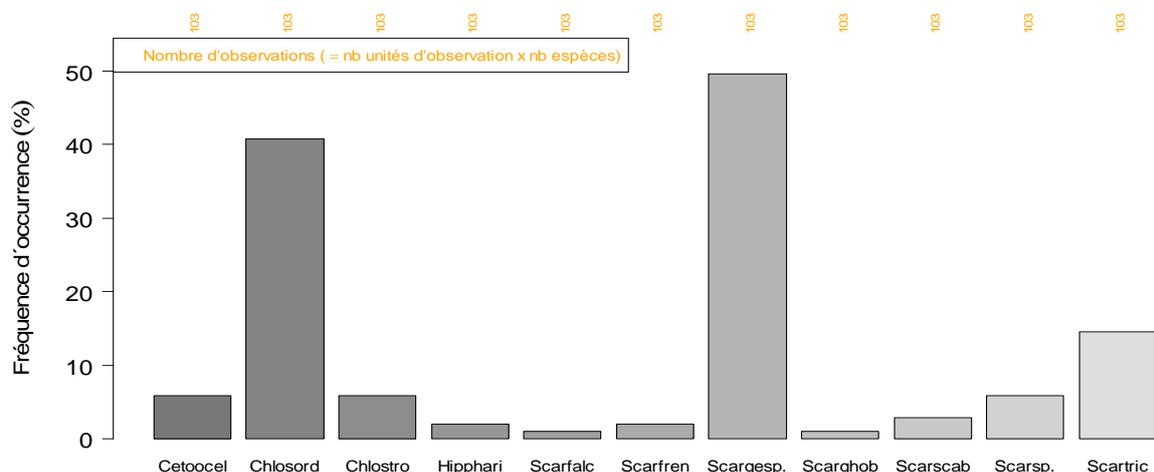


Figure 19. Fréquence d'occurrence des espèces de poissons-perroquets (Scaridae). Cetoocel= *Cetoscarus ocellatus*, Chlosord= *Chlorurus sordidus*, Chlostro= *Chlorurus strongylocephalus*, Hipphari= *Hipposcarus harid*, Scarcaud= *Scarus caudofasciatus*, Scarfalc= *Scarus falcipinnis*, Scarfren= *Scarus frenatus*, Scargesp.= Perroquet de genre non identifié, Scarghob= *Scarus ghobban*, Scarrubr= *Scarus rubroviolaceus*, Scarscab= *Scarus scaber*, Scarsp.= *Scarus* d'espèce non identifiée, Scartric= *Scarus tricolor*.

Les vivaneaux et perches (Lutjanidae) sont fréquents mais les observations sont constituées d'individus isolés. Les plus fréquents sont le casse-marmite (*Lutjanus bohar*) et le vivaneau noir et blanc (*Macolor niger*) (Figure 20).

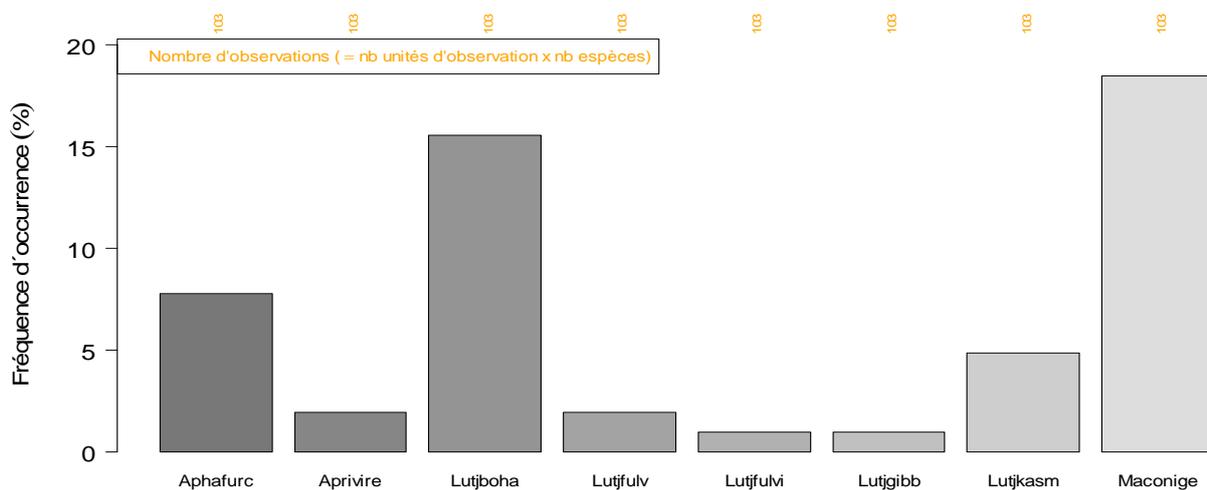


Figure 20. Fréquence d'occurrence des espèces de Lutjanidae. Aphafurc= *Aphareus furca* ; Aprivire= *Aprion virescens* ; Lutjboha= *Lutjanus bohar* ; Lutjfulv= *L. fulviflamma* ; Lutjfulvi= *L. fulvus* ; Lutjgibb= *L. gibbus* ; Lutjkasm= *L. kasmira* ; Maconige= *Macolor niger*.

Les capitaines ou empereurs (Lethrinidae) () les plus fréquents sont *le capitaine gueule pavée (Monotaxis grandoculis)* et *l'empereur saint Pierre (Lethrinus harak)*

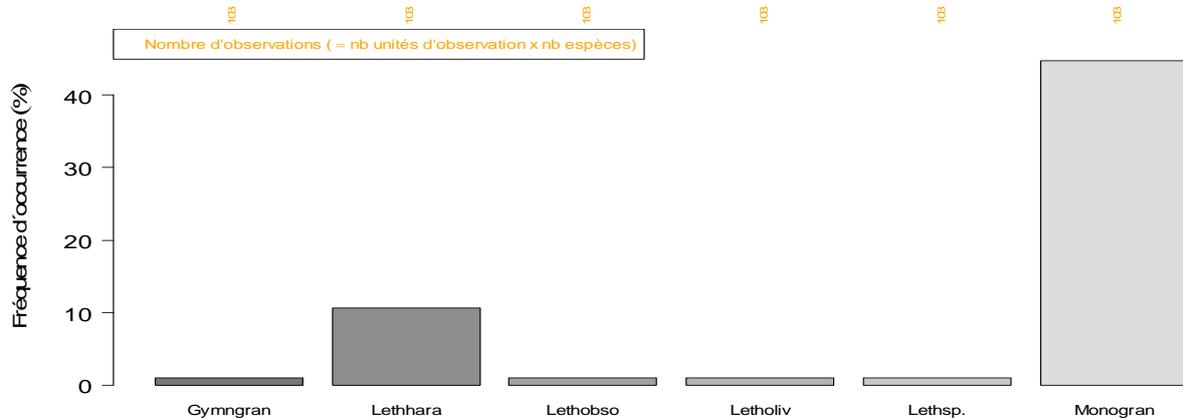


Figure 21. Fréquence d'occurrence des espèces de becs et bossus (Lethrinidae). Gymngran.= *Gymnocranius grandoculis*; Lethhara= *L. harak*; Lethnebu= *L. nebulosus*; Lethobso= *L. obsoletus*; Letholiv= *L. olivaceus*; Lethsp.= Lethrinidae d'espèces non identifiées; Lethvari= *L. variegatus*; Lethxant= *L. xanthochilus*; Monogran= *Monotaxis grandoculis*.

Les mérous (Serranidae) (Figure 22) les plus fréquents sont le mérou celeste *Cephalopholis argus* et *Cephalopholis nigripinnis*. Le mérou sellé, *Plectropomus laevis* a été observé sur 8% des stations.

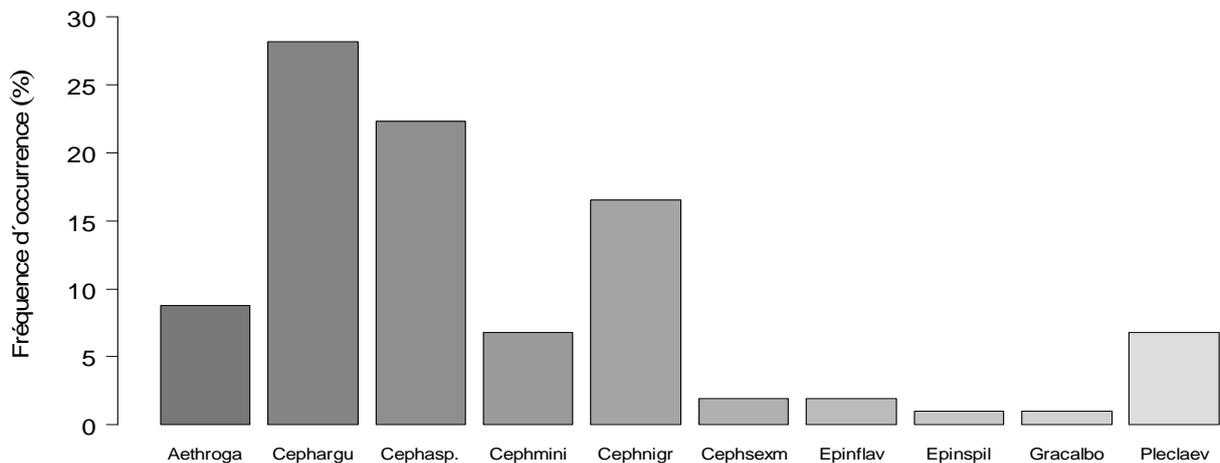


Figure 22. Fréquence d'occurrence des espèces de mérous (Serranidae). Aethroga.= *Aethaloperca roga*; Cephargu= *C. argus*; Cephasp.= *Cephalopholis sp.*; Cephmini= *C. miniata*; Cephnigr= *C. nigripinnis*; Cephsexm= *C. sexmaculata*; Epinflav= *E. flavocaeruleus*; Epinspil= *E. spilotoceps*; Gracalbo= *G. albomarginata*; Pleclaev= *Plectropomus laevis*.

5.3. Richesse spécifique et densité d'abondance par station

En moyenne 16.5 espèces ont été recensées par station pour une densité de 25 poissons/100m². Les espèces commerciales représentent une part importante des espèces observées et de l'abondance de l'ichtyofaune (17.4 poissons/100m²).

Les Acanthuridae et les Chaetodontidae sont les familles les plus diversifiées et les plus abondantes. (Tableau 15).

Tableau 15. Richesse spécifique par station, densité totale et densités des grands individus des communautés de poissons sur les stations échantillonnées dans la zone d'étude.

Les valeurs moyennes sont données avec un intervalle de confiance de 95%.

	RS moyenne par station	Densité (indiv/100m ²)	Densité de grands individus
Ichtyofaune totale	16.5 +/- 5.62	24.96 +/- 20.9	4.23 +/- 6.27
Commerciaux	7.9 +/- 3.24	17.44 +/- 19.4	2.54 +/- 5.12
Serranidae	0.69 +/- 0.86	0.71 +/- 0.94	0.12 +/- 0.44
Lethrinidae	0.62 +/- 0.59	1.17 +/- 2.72	0.14 +/- 0.70
Scaridae	0.83 +/- 0.97	1.73 +/- 3.15	0.36 +/- 0.88
Acanthuridae	2.62 +/- 1.76	7.35 +/- 9.43	1.65 +/- 4.21
Lutjanidae	0.52 +/- 0.77	0.75 +/- 2.47	0.01 +/- 0.07
Chaetodontidae	2.56 +/- 1.98	3.15 +/- 3.00	0.72 +/- 1.18

Richesse spécifique par station

Les RS totales par station ne présentent pas de différences significatives selon les 4 types géomorphologiques (ANOVA, p<0.36). (Figure 23). L'habitat joue un rôle important sur les RS totale observées. Les peuplements par station sont plus diversifiés au niveau des platiers coralliens (dalle) et des tombants riches en corail vivant (ANOVA, p<0.0001) (Figure 24)

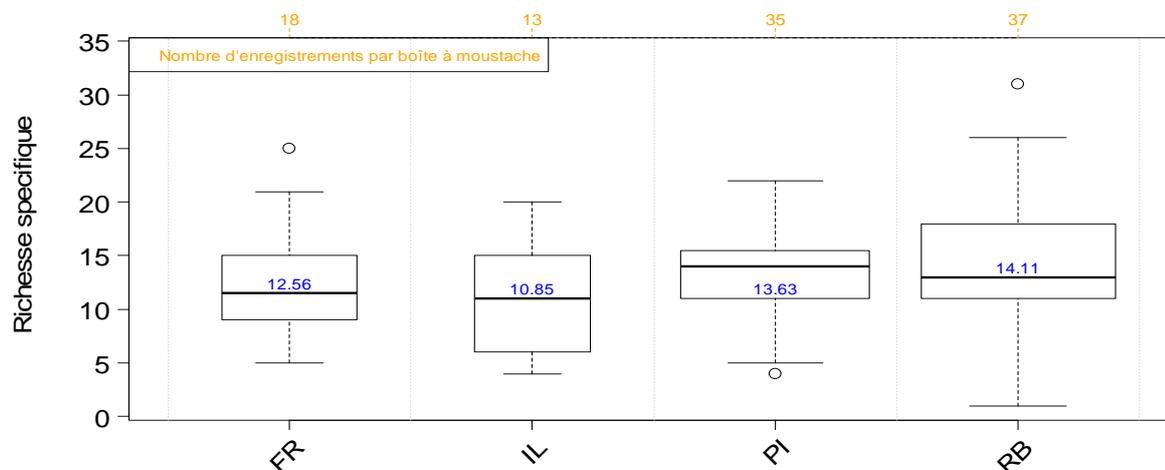


Figure 23. Richesse spécifique totale par station en fonction des types géomorphologiques

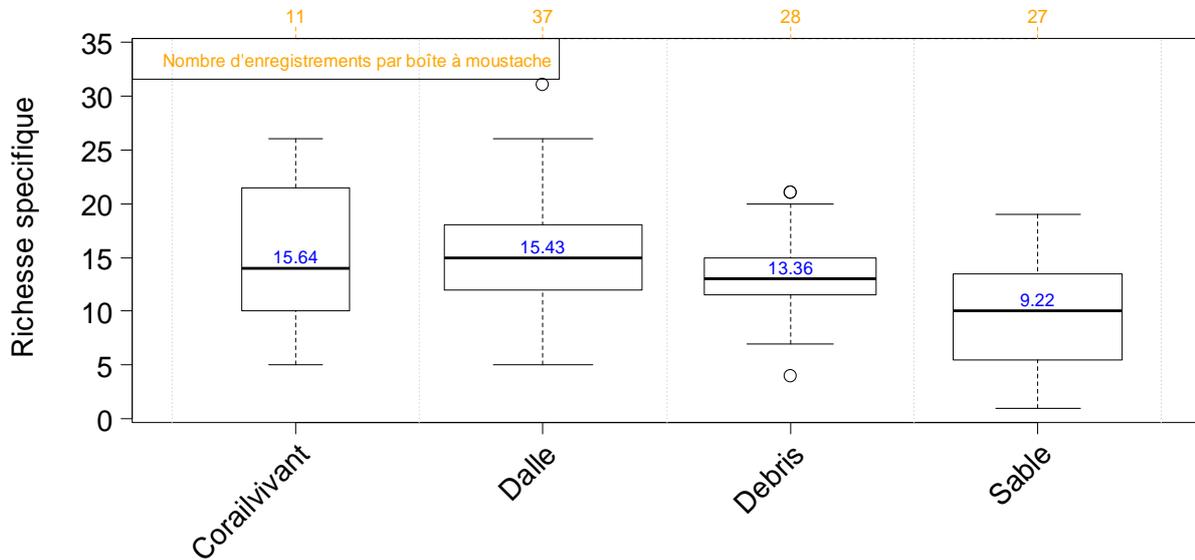


Figure 24. Richesse spécifique totale par station en fonction des classes d'habitat issues de la typologie

Densité totale par station

Les densités par station sont sensiblement plus élevées au niveau du récif barrière (PI et RB) même si les différences de densités entre les 4 types géomorphologiques ne sont pas significatives (GLM famille gamma, $p < 0.55$) (Figure 25). Les densités les plus élevées sont observées au niveau des platiers coralliens (dalle) (GLM famille gamma, $p < 0.02$) (Figure 26)

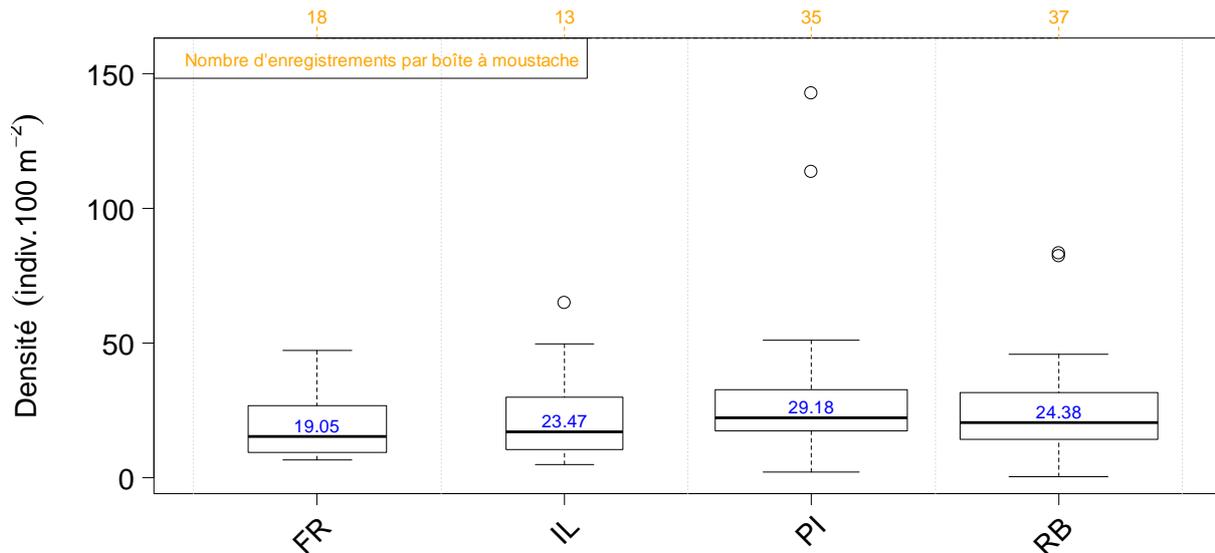


Figure 25. Densité moyenne par station en fonction des types géomorphologiques

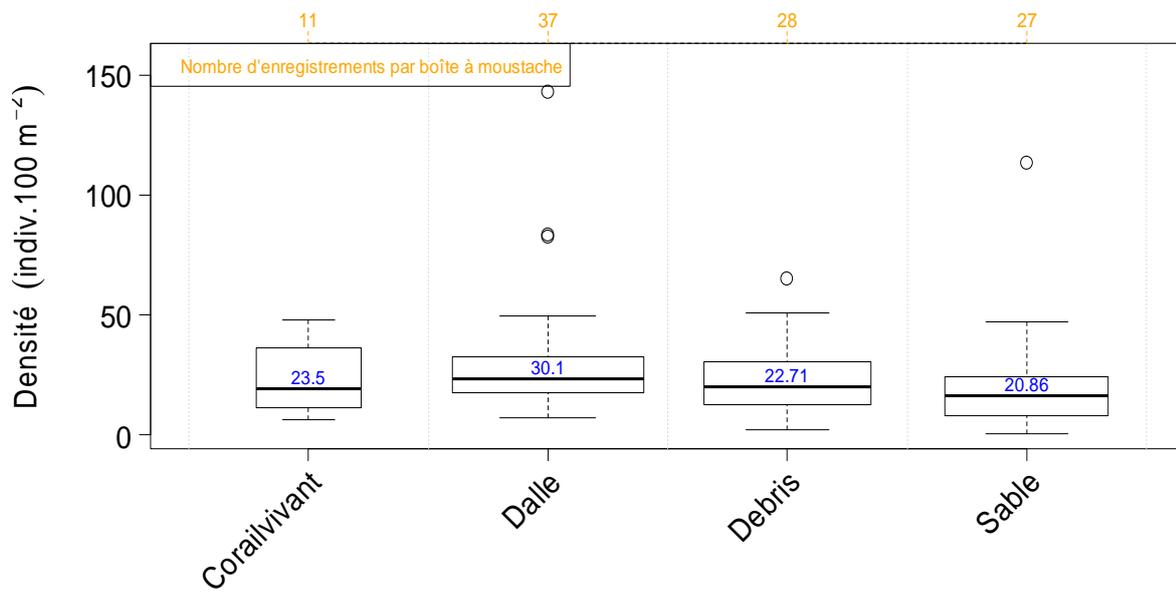


Figure 26. Densité moyenne par station en fonction des classes d'habitat issues de la typologie

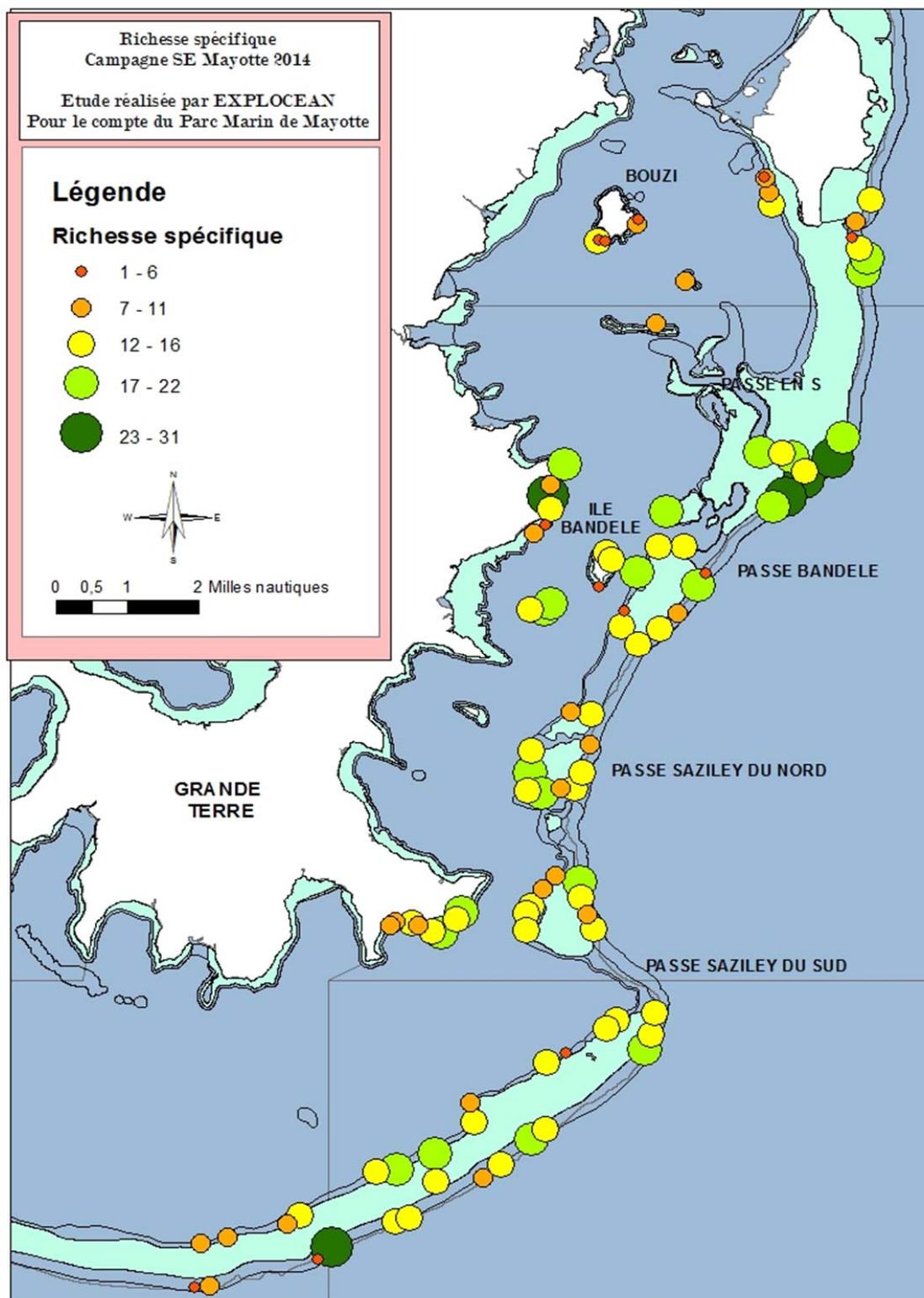


Figure 27. Carte représentant la richesse spécifique par station

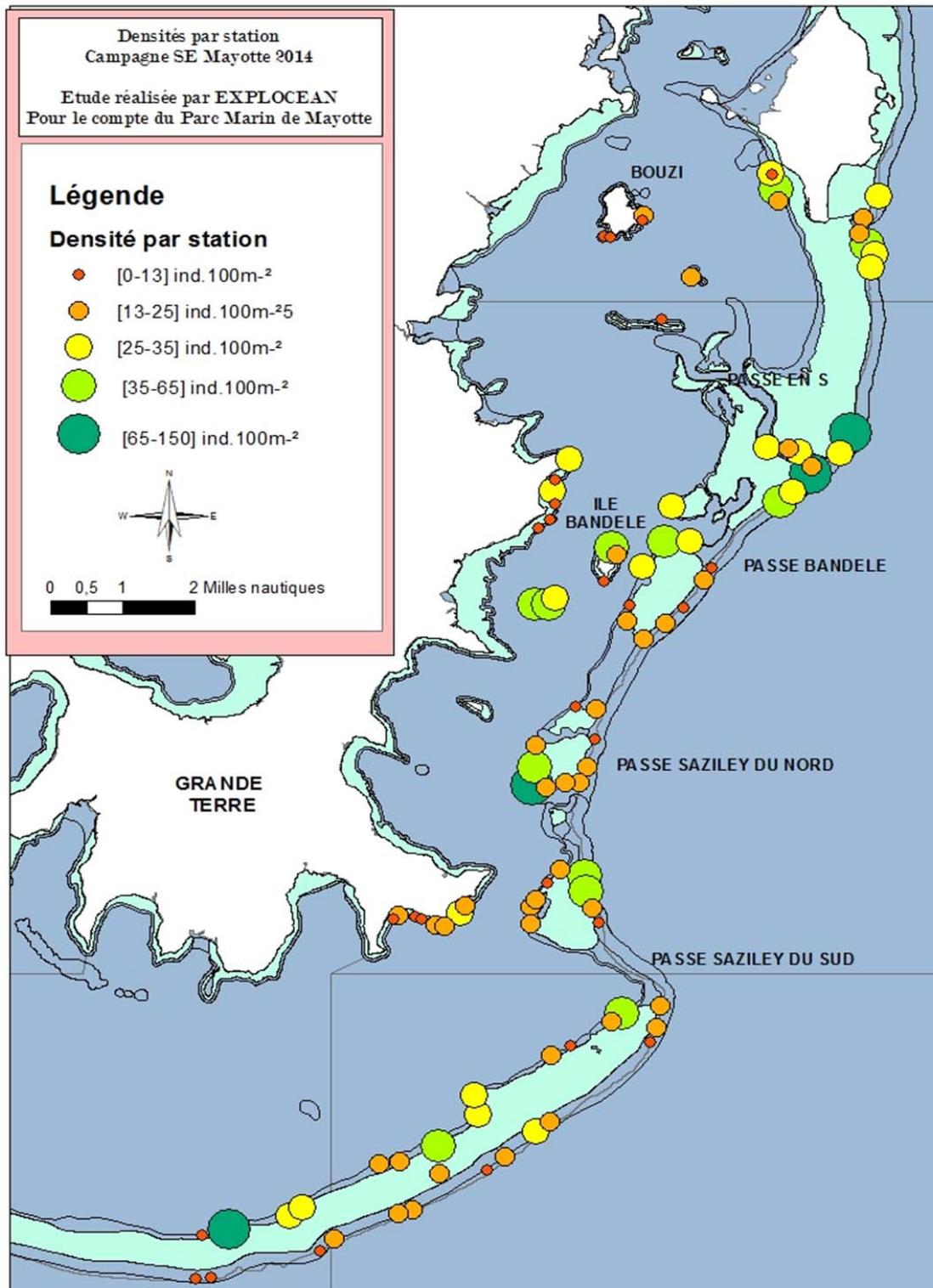
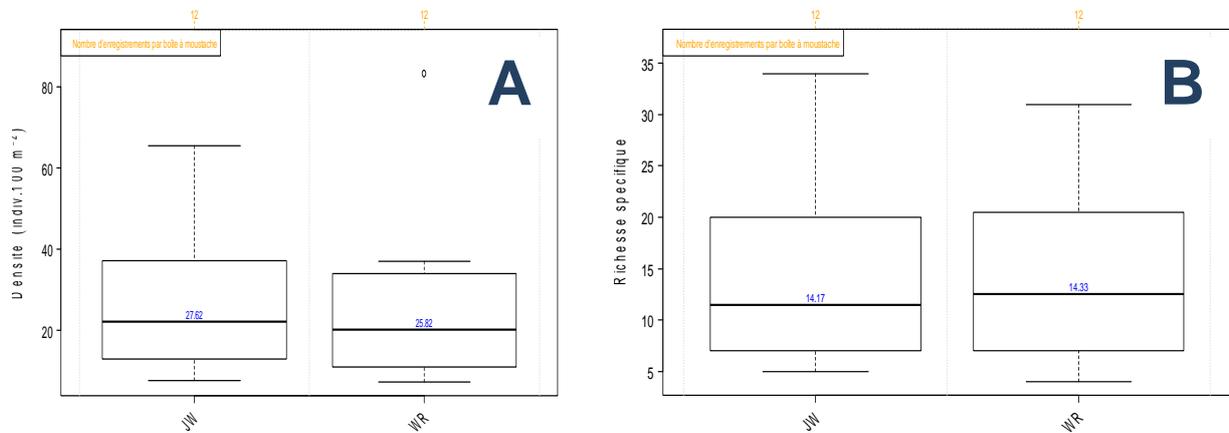


Figure 28. Carte représentant la densité d'abondance par station

5.4. Effet observateur lors de l'analyse des images

Afin de valider certaines identifications et de limiter un effet observateur sur les données, 12 vidéos ont été sélectionnées aléatoirement puis analysées parallèlement par Julien Wickel. La liste de ces 12 vidéos : SE140083 SE140025 SE140084 SE140074 SE140003 SE140097 SE140031 SE140079 SE140042 SE140091 SE140098 SE140106

La densité totale ou la richesse spécifique ne présentent pas d'effets "observateur" significatifs. Les résultats au niveau des principales familles ne montrent pas de différences significatives liées à un effet observateur (Figure 29). L'interaction entre les observateurs a permis de faciliter les identifications et explique le nombre limité d'individus identifiés au niveau du genre ou de la famille. L'estimation des classes de taille ne présentent pas non plus de différences entre les observateurs.

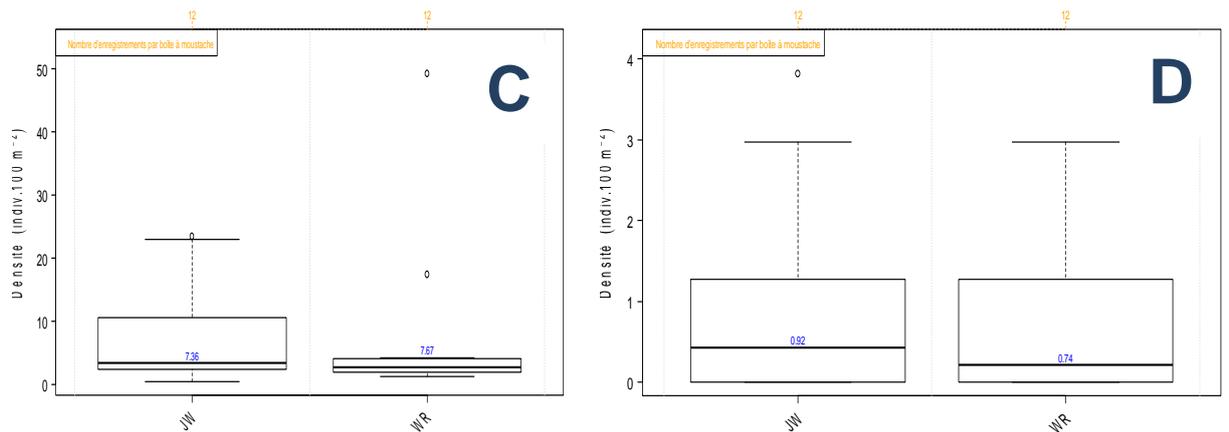


Densité globale

Test statistique : ANOVA (donnée log transformée), effet NS du facteur observateur ($p < 0,78$)

Richesse spécifique totale

Test statistique : GLM Famille Binomiale négative, effet NS du facteur observateur ($p < 0,96$)

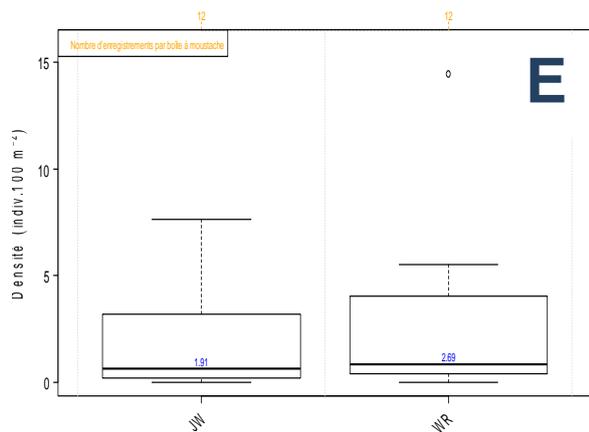


Densité des Acanthuridae

Test statistique : ANOVA (donnée log transformée), effet NS du facteur observateur ($p < 0,74$)

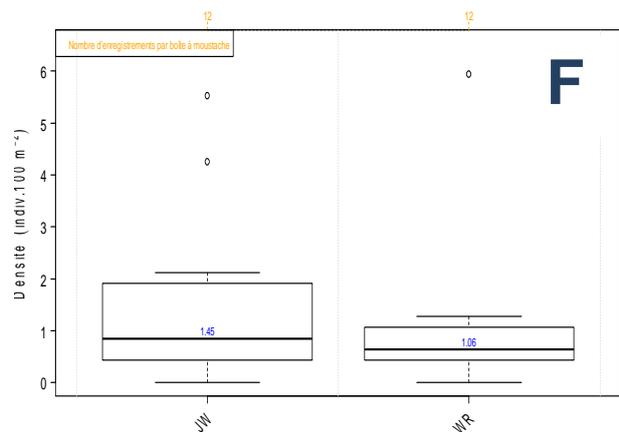
Densité des Lethrinidae

Test statistique : ANOVA (donnée log transformée), effet NS du facteur observateur ($p < 0,73$)



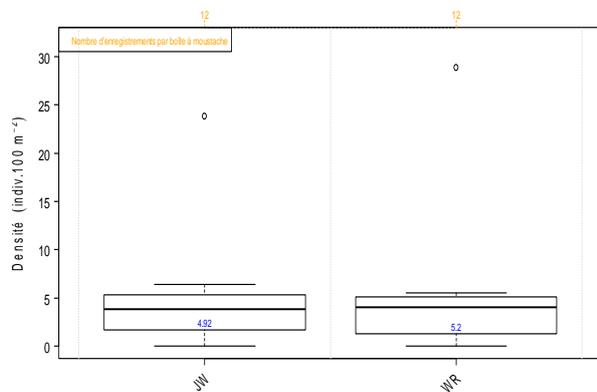
Densité des Scaridae

Test statistique : ANOVA (donnée log transformée), effet NS du facteur observateur ($p < 0,60$)



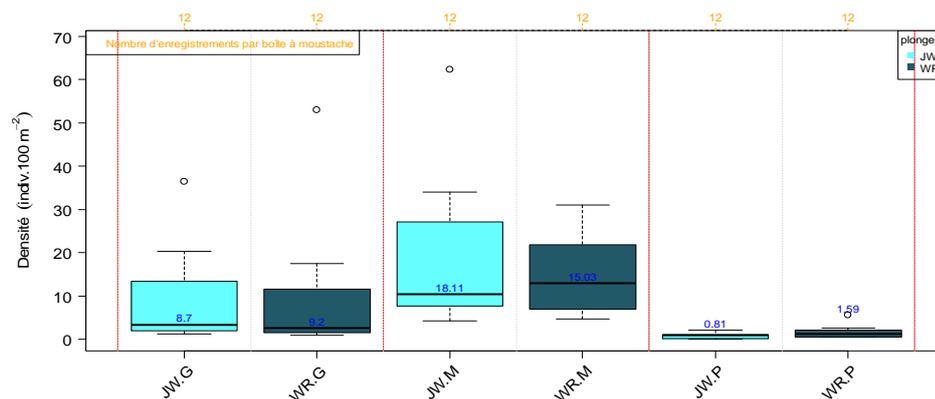
Densité des Serranidae

Test statistique : ANOVA (donnée log transformée), effet NS du facteur observateur ($p < 0,82$)



Densité des sp.

Test statistique : ANOVA (donnée log transformée), effet NS du facteur observateur ($p < 0,91$)



Densité par classe de taille.

Test statistique : ANOVA (donnée log transformée) à deux facteurs Classe de taille et Observateurs. Effet NS du facteur observateur ($p < 0,87$) et effet significatif du facteur classe de taille ($p < 0,004$).

Figure 29. Test d'un éventuel effet observateur. Densité et richesse spécifique par famille, niveau d'identification et estimation des tailles

6. Evaluation des ressources récifales : Maintien de peuplements récifaux fonctionnels

6.1. Effet du statut de pêche

Le prélèvement de la ressource halieutique, tant par la pêche de loisir embarquée que par la chasse sous-marine doit être en adéquation avec les stocks de poissons et leur capacité à se régénérer, en prenant en compte les captures de la pêche professionnelle ciblant souvent les mêmes espèces, pour maintenir une ressource durable.

6.1.1. Densité d'abondance toutes espèces et richesse spécifique par station

Toutes espèces confondues, la RS et la densité par station ne présentent pas de différences significatives selon le statut de pêche (LM, $p < 0.36$). Elles dépendent par contre fortement du type géomorphologique et de l'habitat (Figure 30).

Voir également Annexe 1, Fiches 1.1 et 11.1).

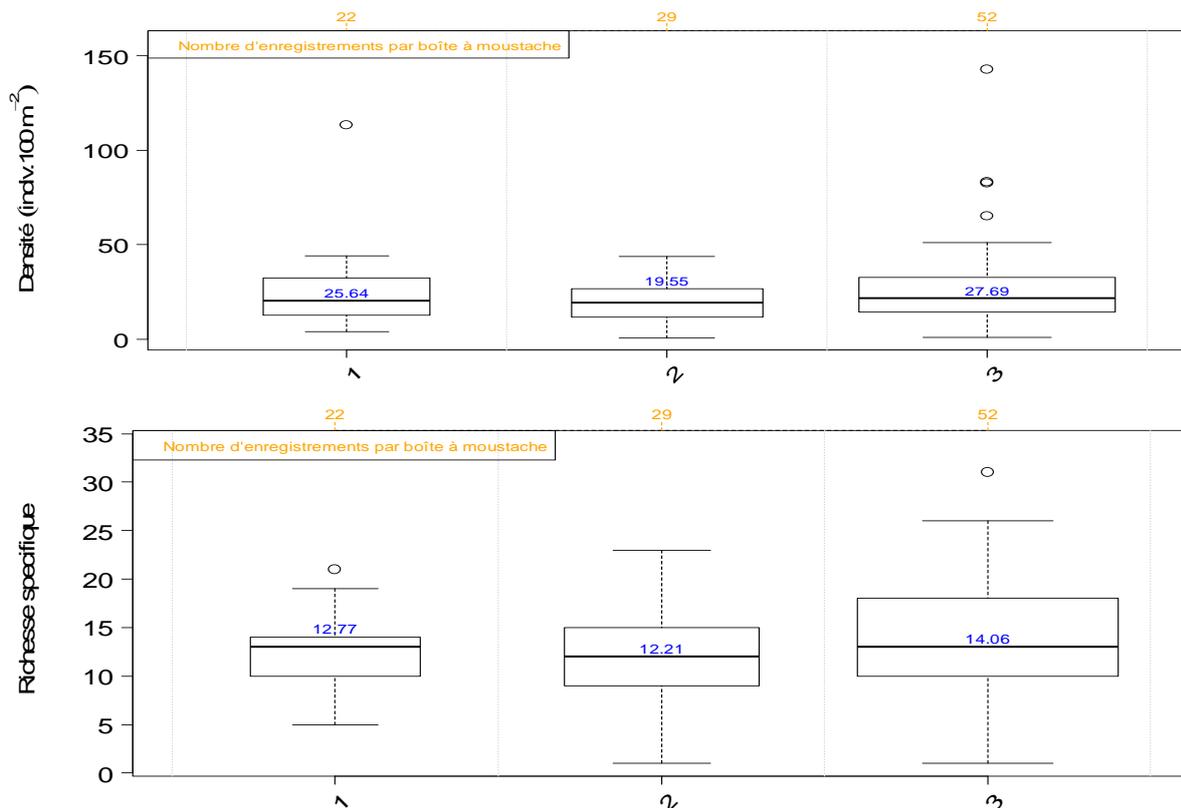


Figure 30. Densité (haut) et Richesse spécifique (bas) par station en fonction des statuts de pêche, de peu pêché (3) à très pêché (1).

Les métriques suivantes se rapportent aux espèces d'intérêt halieutique pour les pêcheurs professionnels et non-professionnels.

6.1.2. Diagnostic pour les LETHRINIDAE

Ce diagnostic regroupe les interprétations de 6 métriques (Annexe 1, Fiches 1.1 à 1.5).

	Métrique	Interprétation	
Les capitaines ou empereurs (LETHRINIDAE)	Présence	Les Lethrinidae sont présents sur l'ensemble des types géomorphologiques, du littoral jusqu'à la pente externe. Ils sont également observés sur l'ensemble des habitats, des récifs coralliens aux fonds sableux lagunaires	
	Fréquence d'occurrence	Les fréquences d'occurrence mettent en évidence les préférences en termes d'habitat et de type géomorphologique (Pente interne et fond lagunaire) mais ne diffèrent pas significativement selon le statut de pêche	
	Densité d'abondance Famille	Les densités ne diffèrent pas significativement selon le type géomorphologique, l'habitat ou le statut de pêche	
	Densité d'abondance des « grands individus »	Les grands individus ne représentent qu'une part minime des observations	
	Richesse spécifique (RS) Famille	Elle reste relativement faible . La famille est surtout représentée par deux espèces : le capitaine gueule pavée, <i>Monotaxis grandoculis</i> et le capitaine Saint Pierre, <i>Lethrinus harak</i> . Les autres espèces de Lethrinidae de taille plus imposante, telles que <i>Lethrinus olivaceus</i> ont rarement été observées.	
	Fréquence d'occurrence : <i>Monotaxis grandoculis</i>	Ces espèces sont observées sur 70% des stations, souvent au stade de juvéniles.	
	Fréquence d'occurrence : <i>Lethrinus harak</i>	Les fréquences d'occurrence mettent en évidence les préférences de chaque espèce en termes d'habitat et de type géomorphologique mais ne diffèrent pas significativement selon le statut de pêche	
	Comparaison avec seuils par habitats NC Pour exemple		Densité Famille
	Corallien		
	Débris		
	Fond lagunaire		

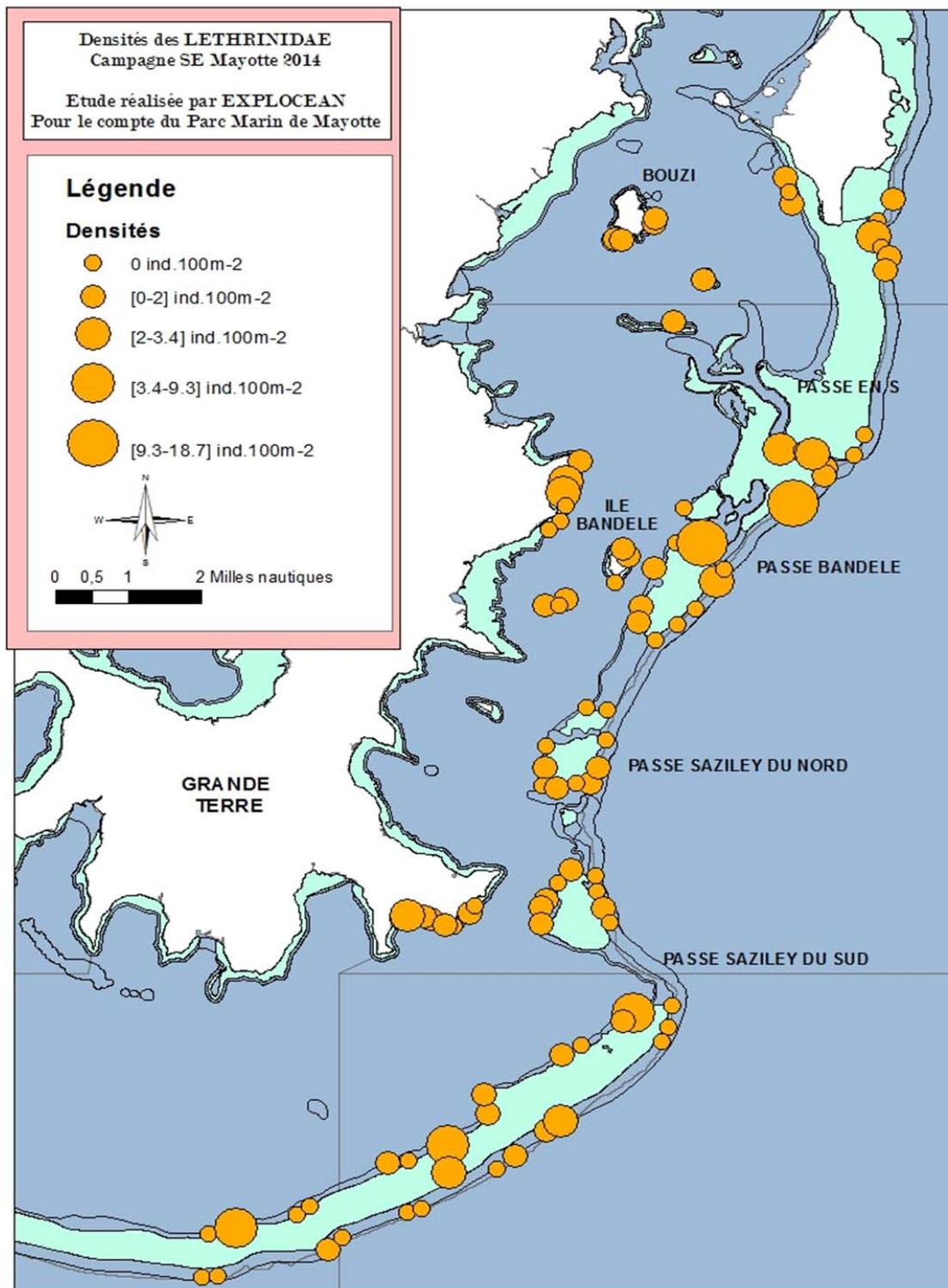


Figure 31. Carte représentant la densité d'abondance des Lethrinidae.

6.1.3. Diagnostic pour les LUTJANIDAE

Ce diagnostic regroupe les interprétations de 7 métriques (Annexe 1, Fiches 2.1 à 2.6)

	Métriques	Commentaires	
Les lutjans et vivaneaux (LUTJANIDAE)	Présence	Les Lutjanidae sont présents sur l'ensemble des types géomorphologiques, du littoral jusqu'à la pente externe. Ils sont également observés sur l'ensemble des habitats, des récifs coralliens aux fonds sableux lagonaire	
	Fréquence d'occurrence	Les fréquences d'occurrence mettent en évidence les préférences en termes d'habitat et de type géomorphologique (Pente interne et fond lagonaire) mais ne sont statistiquement pas différentes selon le statut de pêche	
	Densité d'abondance	Les densités sont directement liées à la présence d'agrégations d'espèces (<i>Lutjanus.kasmira</i> et <i>L. gibbus</i>) de petites tailles sur les platiers coralliens. Les autres espèces de Lutjans de taille plus imposante, telles que les <i>Aprion virescens</i> , <i>Lutjanus bohar</i> ou <i>Macolor.niger</i> ont été observées mais en faible densité Les densités ne sont statistiquement pas différentes selon le type géomorphologique, l'habitat ou le statut de pêche	
	Densité d'abondance des « grands individus »	Les grands individus ne représentent qu'une part minime des observations	
	Richesse spécifique	La richesse spécifique des Lutjanidae reste relativement faible. Les richesses spécifiques ne sont statistiquement pas différentes selon le type géomorphologique, l'habitat ou le statut de pêche. Une espèce est relativement fréquente : le casse-marmite, <i>Lutjanus bohar</i>	
	Densité d'abondance des poissons du genre <i>Lutjanus</i>	Les densités sont sensiblement supérieures au niveau des îlots et de la pente interne du récif barrière en raison de la présence de bancs de <i>Lutjanus kasmira</i> et de <i>Lutjanus gibbus</i> . Les autres espèces du genre sont trop rarement observées	
	Fréquence d'occurrence : <i>Lutjanus bohar</i>	Les fréquences d'occurrence mettent en évidence les préférences en termes d'habitat et de type géomorphologique mais ne sont statistiquement pas différentes selon le statut de pêche	
	Fréquence d'occurrence : <i>Aprion virescens</i>		
	Comparaison avec seuils NC par habitat Pour exemple		Densité
Corallien			
Débris			
Fond lagonaire			

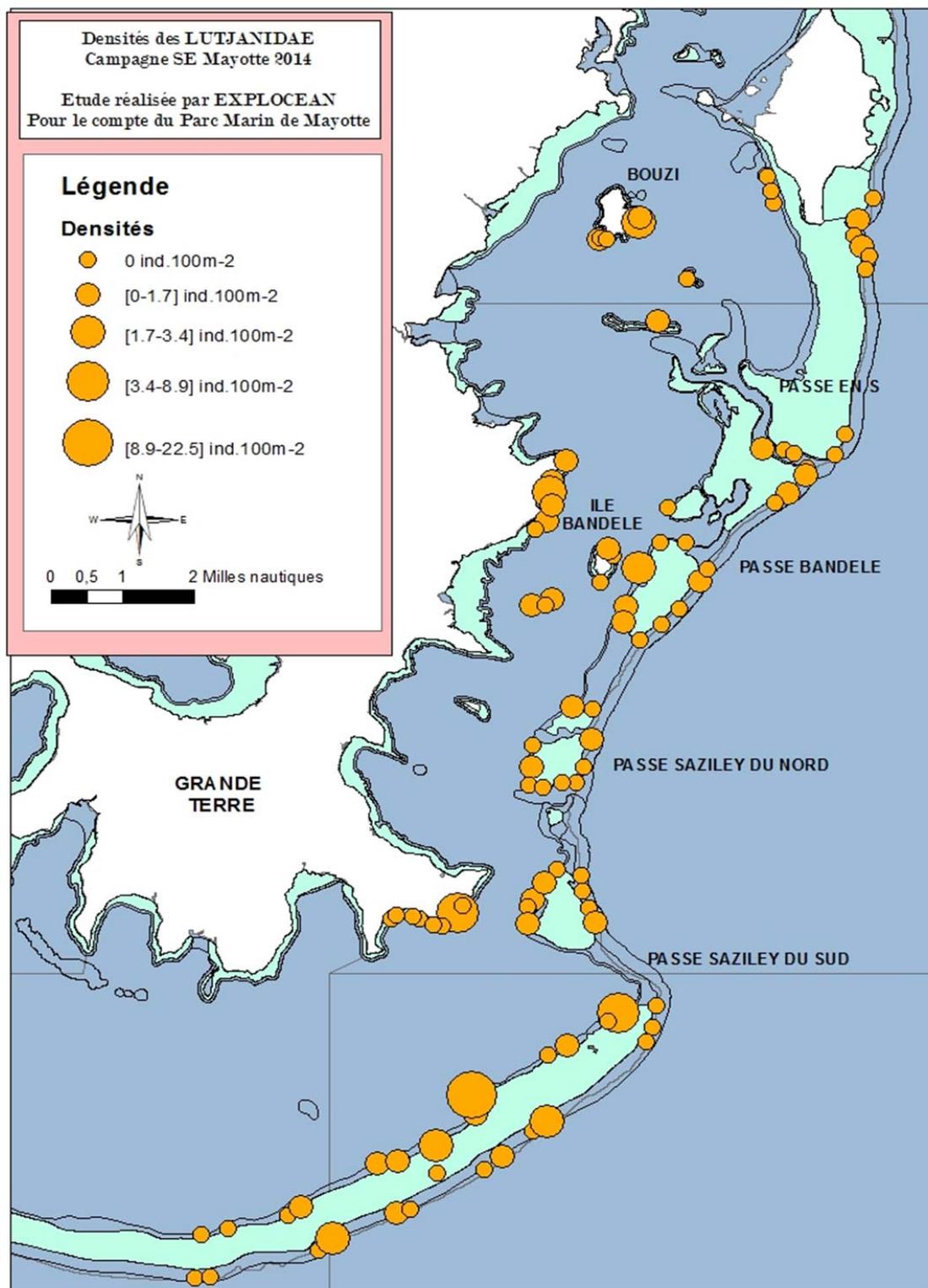


Figure 32. Carte représentant la densité d'abondance des Lutjanidae

6.1.4. Diagnostic pour les CARANGIDAE

Ce diagnostic regroupe les interprétations de 4 métriques (Annexe 1, Fiches 3.1 à 3.3)

	Métriques	Commentaires	
Les carangues CARANGIDAE	Présence	Les Carangidae sont présents sur l'ensemble des types géomorphologiques. Ils fréquentent également l'ensemble des habitats, des récifs coralliens aux fonds sableux lagunaires	
	Densité d'abondance des poissons	Les densités observées sont trop faibles pour des analyses statistiques	
	Richesse spécifique	Seules 2 espèces observées sur l'ensemble des stations. Pas d'analyses statistiques	
	Fréquence d'occurrence	Les fréquences d'occurrence mettent en évidence les préférences en termes d'habitat et de type géomorphologique (pente interne et fond lagonaire) Les fréquences sont significativement plus élevées dans les zones très pêchées	
	Fréquence d'occurrence : <i>Caranx melampygus</i>	La carangue bleue <i>Caranx melampygus</i> est observée sur 20% des stations. Les fréquences d'occurrence mettent en évidence les préférences en termes d'habitat et de type géomorphologique mais ne sont statistiquement pas différentes selon le statut de pêche	
	Comparaison avec seuils NC par habitat Pour exemple		Densité
	Corallien		
	Débris		
	Fond lagonaire		

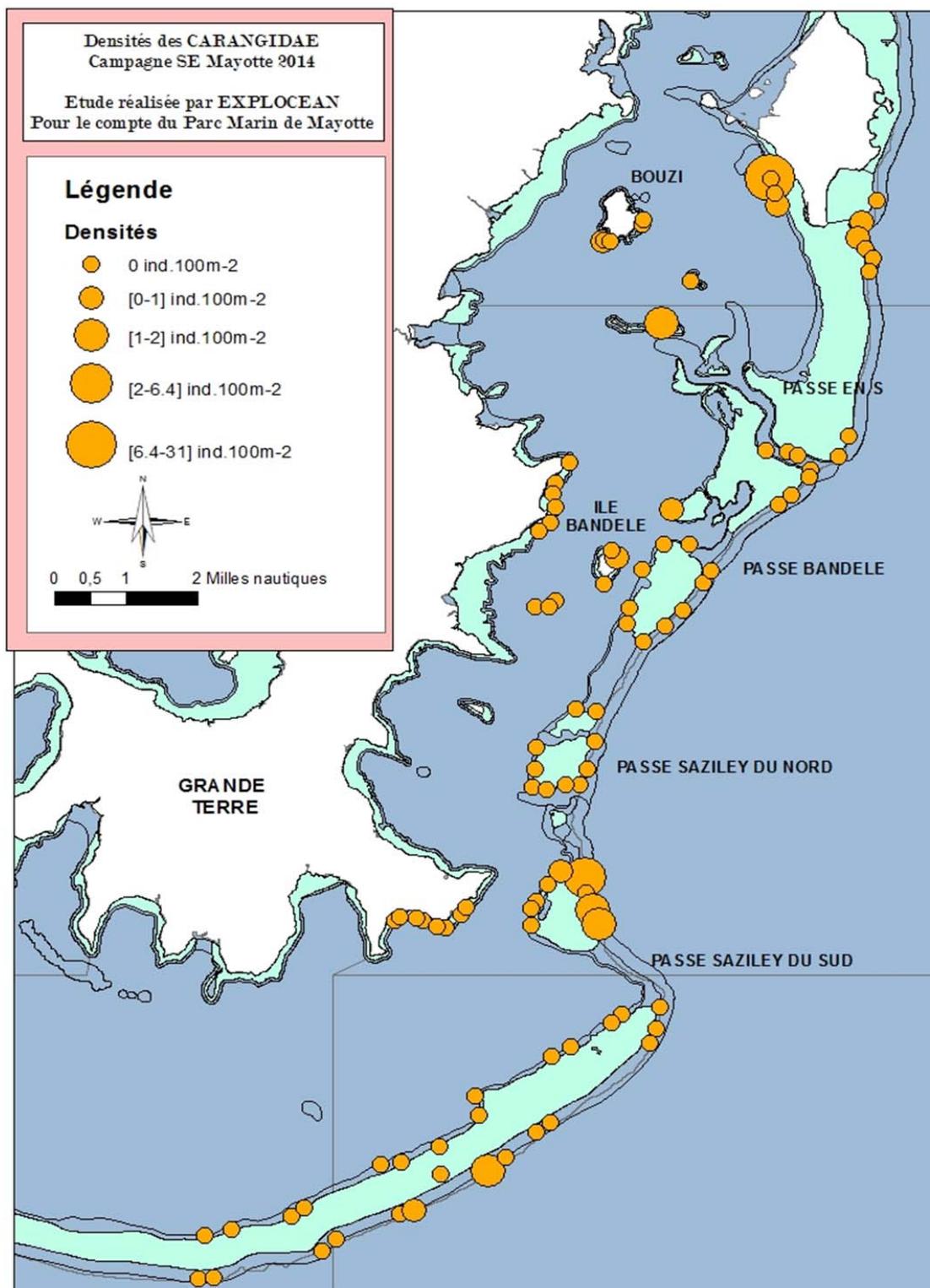


Figure 33. Carte représentant la densité d'abondance des Carangidae

6.1.5. Diagnostic pour les SERRANIDAE

Ce diagnostic regroupe les interprétations de 9 métriques (Annexe 1, Fiches 4.1 à 4.9)

	Métriques	Commentaires	
	Présence	Les Serranidae sont présents sur l'ensemble des types géomorphologiques, du littoral jusqu'à la pente externe	
	Fréquence d'occurrence	Les fréquences d'occurrence mettent en évidence les préférences en termes d'habitat et de type géomorphologique (habitat corallien du récif barrière) mais ne sont statistiquement pas différentes selon le statut de pêche	
Les mérous et vieilles SERRANIDAE	Densité d'abondance des poissons de la famille Serranidae	Ils sont plus abondants au niveau du récif barrière (RB et PI), mais pas de différences significatives selon le statut de pêche	
	Densité d'abondance des grands individus	Les grands individus ne représentent qu'une part minime des observations	
	Richesse spécifique des Serranidae	Les Serranidae sont assez diversifiés, et significativement plus dans les habitats coralliens (dominés par la dalle et le corail vivant) au niveau du récif barrière (pentes interne et externe). mais pas de différences significatives selon le statut de pêche	
	Densité d'abondance des <i>Plectropomus</i>	Genre trop rarement observé pour une analyse statistique	
	Fréquence d'occurrence : <i>Plectropomus laevis</i>	Espèce présente sur l'ensemble des types géomorphologiques, du littoral jusqu'à la pente externe, mais trop rarement observée pour une analyse statistique	
	Densité d'abondance des <i>Epinephelus</i>	Genre trop rarement observé pour une analyse statistique	
	Densité d'abondance des mérous du genre <i>Cephalopholis</i>	Les mérous et vieilles du genre Cephalopholis sont relativement abondants. Le mérou céleste (<i>Cephalopholis argus</i>) représente la majorité des observations du genre <i>Cephalopholis</i> . Les densités sont significativement plus élevées au niveau du récif barrière (pentes interne et externe), mais ne diffèrent pas significativement selon l'habitat ou le statut de pêche	
	Fréquence d'occurrence : <i>Cephalopholis argus</i>	Le mérou céleste (<i>Cephalopholis argus</i>) fréquente préférentiellement les habitats coralliens du récif barrière (pentes interne et externe) Les fréquences d'occurrence ne diffèrent pas significativement selon le statut de pêche	
	Comparaison avec seuils NC par habitat Pour exemple		Densité
Corallien			
Débris			
Fond lagunaire			

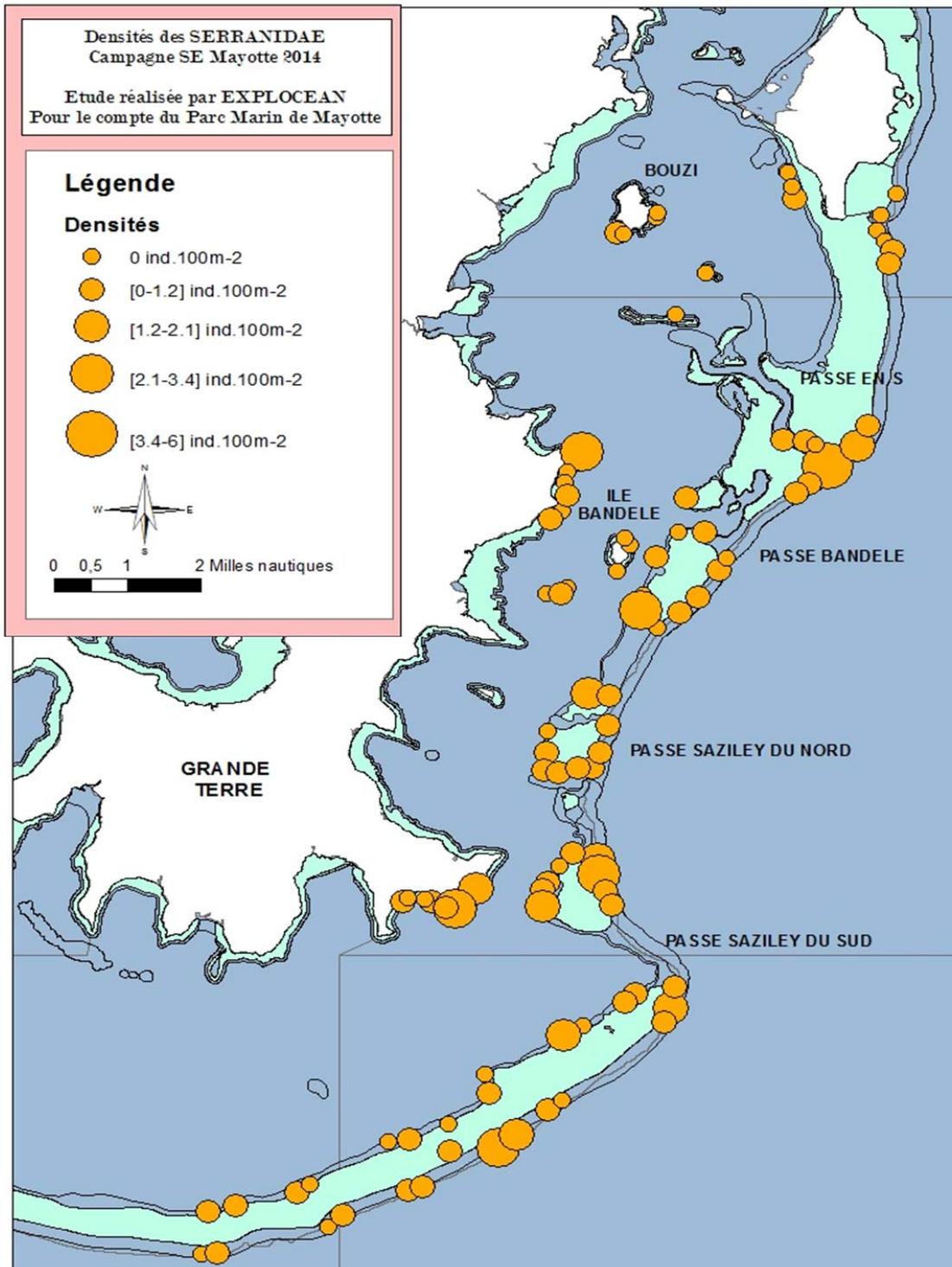


Figure 34. Carte représentant la densité d'abondance des Serranidae

6.1.6. Diagnostic sur les ACANTHURIDAE

Ce diagnostic regroupe les interprétations de 6 métriques (Annexe 1, Fiches 5.1 à 5.6)

	Métriques	Commentaires			
	Présence	Les Acanthuridae sont présents sur l'ensemble des types géomorphologiques, du littoral jusqu'à la pente externe. Ils fréquentent également l'ensemble des habitats, des récifs coralliens aux fonds sableux lagonaires			
Les nasons et chirurgiens ACANTHURIDAE	Densité d'abondance	<p>Famille significativement plus abondante au niveau du récif barrière (Pentes interne et externe).</p> <p>Famille significativement plus abondante sur les platiers coralliens (dalle) et les tombants riches en corail vivant.</p> <p>La densité élevée est essentiellement due à la forte présence sur tous les habitats de <i>Ctenochaetus.striatus</i>. Elle est aussi liée à la présence d'autres espèces de petite taille telles que <i>Acanthurus.thompsoni</i> et <i>Zebrasoma.scopas</i>. Les espèces de <i>Naso</i> et les <i>A.xanthopterus</i> sont moins fréquentes. Famille significativement plus abondante dans les zones peu pêchées dans tous les habitats</p>			
	Densité d'abondance des grands individus	Les grands individus ne représentent qu'une part minime des observations.			
	Richesse spécifique des Acanthuridae	<p>Les chirurgiens sont assez diversifiés.</p> <p>La richesse spécifique est significativement plus élevée sur les habitats coralliens riches en corail vivant et sur les platiers dominés par la dalle.</p> <p>La richesse spécifique ne présente pas de différences significatives selon le statut de pêche</p>			
	Fréquence et Densité d'abondance des <i>Naso</i>	<p>Les densités ne sont statistiquement pas différentes selon le type géomorphologique, l'habitat ou le statut de pêche.</p> <p>Les densités sont sensiblement plus élevées au niveau de la pente externe en raison des bancs (20-30 individus) de <i>Naso brevirostris</i> et <i>Naso hexacanthus</i>.</p>			
	Densité d'abondance des <i>Acanthurus</i>	<p>Les densités ne sont statistiquement pas différentes selon le type géomorphologique, l'habitat ou le statut de pêche.</p>			
	Comparaison avec seuils NC par habitat Pour exemple		Densité	RS	
		Corallien			
Débris					
	Fond lagonaire				

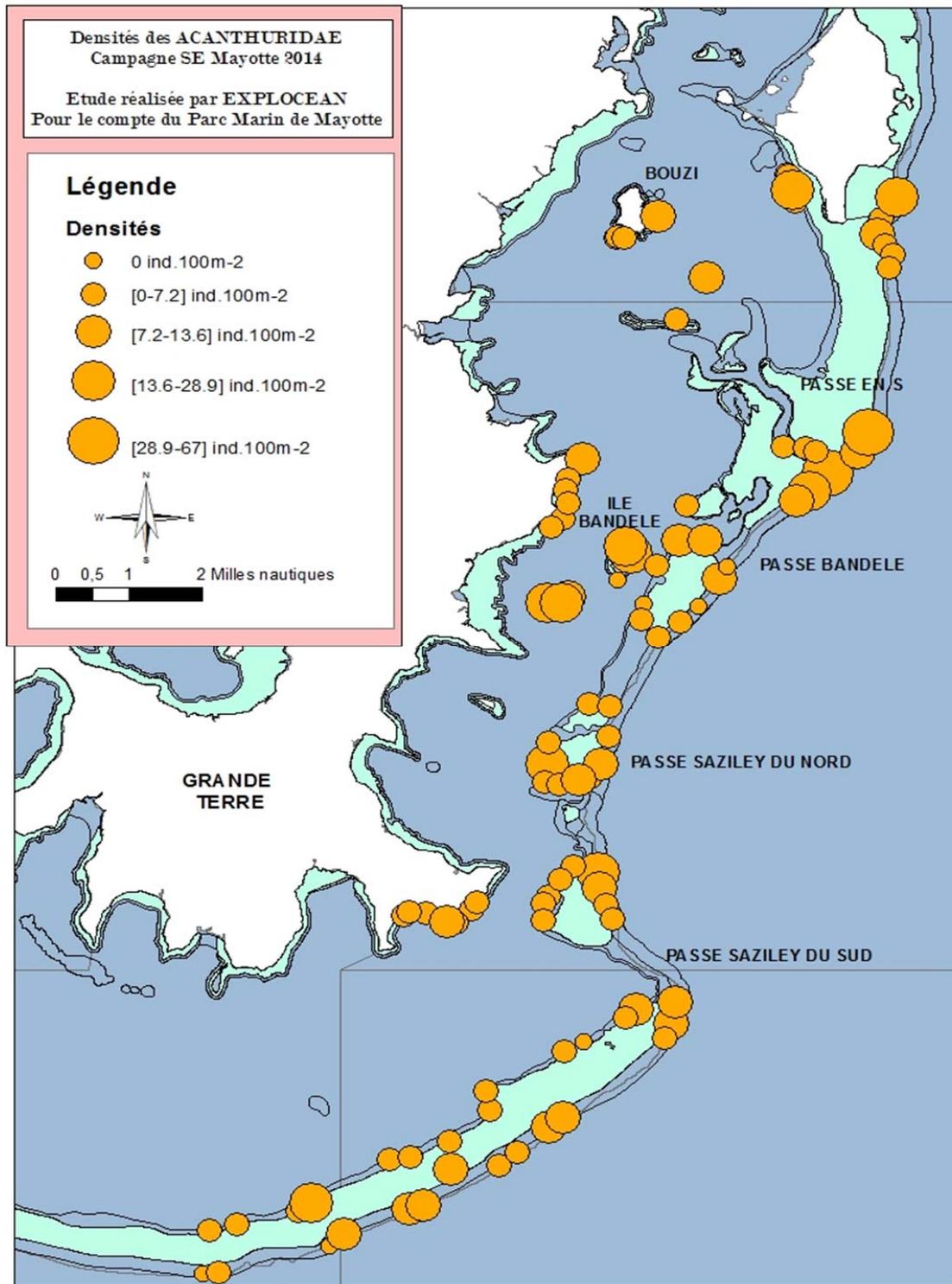


Figure 35. Carte représentant la densité d'abondance des Acanthuridae

6.1.7. Diagnostic sur les SCARIDAE

Ce diagnostic regroupe les interprétations de 3 métriques (Annexe 1, Fiches 6.1 à 6.3)

	Métriques	Commentaires		
Les perroquets SCARIDAE	Densité d'abondance de la famille	<p>Les densités de perroquets sont significativement supérieures au niveau du récif barrière (RB et PI)</p> <p>Les densités de perroquets sont significativement supérieures dans les habitats coralliens dominées par le corail vivant et la dalle corallienne et dans les habitats détritiques.</p> <p>Les densités de perroquets sont significativement plus élevées dans les zones peu pêchées dans tous les habitats à l'exception des fonds lagonaire.</p>		
	Densité d'abondance des « grands individus »	Les grands individus ne représentent qu'une part minime des observations.		
	Richesse spécifique	<p>La richesse spécifique est significativement plus élevée sur les habitats coralliens riches en corail vivant et sur les platiers dominés par la dalle.</p> <p>La richesse spécifique est significativement plus élevée dans les zones peu pêchées sur les ilots et la pente externe du récif barrière.</p>		
	Comparaison avec seuils NC par habitat Pour exemple		Densité	RS
	Corallien			
	Débris			
	Fond lagonaire			

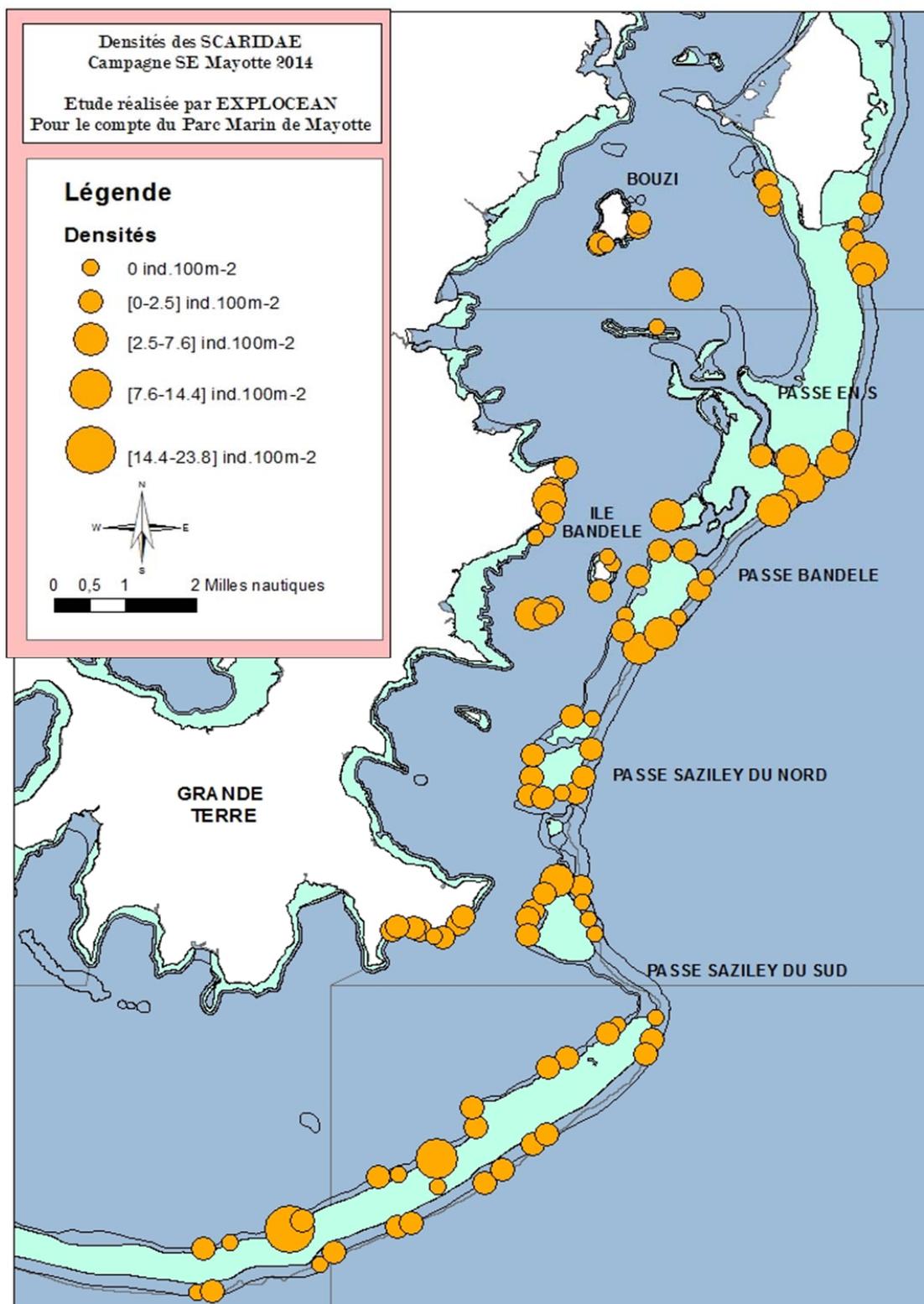


Figure 36. Carte représentant la densité d'abondance des Scaridae

6.1.8. Diagnostic sur les espèces d'intérêt halieutique.

Ce diagnostic regroupe les interprétations de 4 métriques (Annexe 1, Fiches 8.1 à 9.3)

	Métriques	Commentaires
Ressources halieutiques récifales	Densité des espèces commerciales par unité d'observation	<p>Les espèces commerciales sont présentes sur l'ensemble des types géomorphologiques, du littoral jusqu'à la pente externe. Les densités sont sensiblement supérieures au niveau du récif barrière (Pente interne et externe)</p> <p>Les densités ne sont statistiquement pas différentes selon l'habitat ou le statut de pêche.</p>
	Comparaison densité avec seuils NC	Non comparable NC/MAY
	Densité des espèces cibles TRES RECHERCHEES de la pêche à la ligne	<p>La pêche à la ligne est la technique la plus utilisée à Mayotte. Elle concerne tous les récifs lagunaires.</p> <p>Les densités d'espèces cibles de la pêche à la ligne sont significativement supérieures au niveau du récif barrière (Pente interne et externe)..</p> <p>Les densités ne sont statistiquement pas différentes selon l'habitat ou le statut de pêche.</p>
	Comparaison densité avec seuils NC	Non comparable NC/MAY
	Densité des espèces cibles TRES RECHERCHEES de la chasse sous-marine	<p>La chasse sous-marine est seulement autorisée sur la pente externe du récif barrière (RB)</p> <p>Les densités d'espèces cibles de la chasse sont significativement inférieures au niveau de la pente externe du récif barrière</p> <p>Les densités ne sont statistiquement pas différentes selon l'habitat ou le statut de pêche.</p>
	Comparaison densité avec seuils NC	Non comparable NC/MAY
	Densité des espèces cibles TRES RECHERCHEES de la pêche au filet	<p>La pêche au filet est interdite aux navires de plaisance. Pour les navires professionnels, l'usage du filet est interdit à l'aplomb des récifs vivants.</p> <p>Les densités d'espèces cibles du filet sont significativement inférieures au niveau du récif frangeant</p> <p>Sur le récif frangeant, les densités d'espèces cibles du filet ne présentent pas de différences significatives en fonction de la pression de pêche</p>
	Comparaison densité avec seuils NC	Non comparable NC/MAY

6.1.9. Diagnostic sur les métriques par régime trophique

Ce diagnostic regroupe les interprétations de 4 métriques (Annexe 1, Fiches 10.1 à 10.4)

	Métriques	Commentaires		
Ressources halieutiques récifales	Densité des espèces carnivores	<p>Les densités d'espèces carnivores sont significativement supérieures au niveau du récif barrière (Pente interne et externe).</p> <p>Les densités d'espèces carnivores sont significativement supérieures au niveau des habitats coralliens (tombant et platier corallien)</p> <p>Les densités ne sont statistiquement pas différentes selon le statut de pêche</p>		
	Comparaison avec seuils NC par habitat Pour exemple		Densité	RS
		Corallien		
		Débris		
		Fond lagonaire		
	Densité des espèces piscivores	<p>Les piscivores sont présents sur l'ensemble des types géomorphologiques, du littoral jusqu'à la pente externe. Ils fréquentent également l'ensemble des habitats, des récifs coralliens aux fonds sableux lagunaires.</p> <p>Les densités ne sont statistiquement pas différentes selon le statut de pêche.</p>		
	Comparaison avec seuils NC par habitat Pour exemple		Densité	RS
		Corallien		
		Débris		
		Fond lagonaire		
Densité des espèces herbivores	<p>Les densités d'espèces herbivores sont significativement supérieures au niveau de la pente externe du récif barrière.</p> <p>Les densités d'espèces herbivores sont significativement supérieures au niveau des platiers coralliens (dalle corallienne)</p> <p>Les densités ne sont statistiquement pas différentes selon le statut de pêche</p>			
Comparaison avec seuils NC par habitat Pour exemple		Densité	RS	
	Corallien			
	Débris			
	Fond lagonaire			

	Densité des espèces planctonophages	<p>Les planctonophages sont présents sur l'ensemble des types géomorphologiques, du littoral jusqu'à la pente externe. Ils fréquentent également l'ensemble des habitats, des récifs coralliens aux fonds sableux lagunaires.</p> <p>Les densités ne sont statistiquement pas différentes selon le statut de pêche.</p>			
	Comparaison avec seuils NC par habitat Pour exemple		Densité	RS	
		Corallien			
		Débris			
Fond lagunaire					

Les conclusions sont regroupées au § 6.3, p. 70.

6.2. Différences entre zones protégées et non protégées au niveau de la passe en S.

La passe en S est un cantonnement de pêche mis en place depuis 1990, mais réellement surveillé depuis 1995. Le cantonnement de pêche est un instrument de gestion des ressources halieutique et à ce titre, nous présentons ici des résultats spécifiques pour la Passe en S.

Par ailleurs, ce site a fait l'objet de plusieurs études réalisées au moyen de comptages en plongée, et il est donc pertinent de rapporter nos résultats à ceux des études existantes.

L'état initial (Letourneur 1996) ainsi que l'étude Wickel et al. (2010) se basent sur une comparaison entre la Passe en S et la Passe de Bandrélé. Avant la mise en réserve, les deux zones présentent des richesses spécifiques, des abondances totales, et des tailles moyennes par espèce similaires. Huit familles sont plus diversifiées dans la Passe en S (dont les Serranidae, Lutjanidae, Lethrinidae, Caesionidae) et trois sont plus diversifiées dans la Passe Bandrélé (Pomacentridae, Scaridae et Acanthuridae). La biomasse des espèces exploitées est plus de 2 fois plus élevée dans la Passe en S. Quelques espèces sont plus abondantes dans la Passe de Bandrélé comme les Mullidés, Labridés, le genre Chromis et certains Scaridae et Acanthuridae. En 2009, les RS sont stables et similaires dans les deux passes, mais le peuplement est plus équilibré dans la Passe en S, tandis que l'abondance totale est un peu plus élevée dans la Passe Bandrélé. Les indices de diversité, ainsi que les abondances de plusieurs familles ont décliné sur les deux zones. A contrario, aucune famille n'a vu son abondance augmenter. Pour ce qui est des espèces d'intérêt commercial, la biomasse des Serranidae, Lutjanidae et Siganidae a significativement diminué au sein de la réserve. Au niveau de l'espèce-cible, carangue bleue, capitaines et vivaneau noir voient leur biomasse augmenter dans la Passe en S, à l'inverse du casse-marmite et du sigan marguerite. Dans la Passe Bandrélé, les biomasses de carangue bleue et de gueule pavée augmentent, tandis que celle du sigan marguerite (*S.stellatus*) diminue.

Nous avons sélectionné une partie des données STAVIRO récoltées pendant la campagne 2014 pour revisiter ces différences entre les deux passes. Seules les stations situées sur la pente externe du récif barrière et sur la pente interne ont été retenues pour cette analyse.

10 stations sont exploitables dans la réserve de la passe en S (Tableau 16). Le nombre de stations est suffisant dans la réserve pour établir une comparaison des métriques entre les deux zones. La différence entre les nombres de station de chaque zone ne peut affecter que l'évaluation des différences entre les fréquences d'occurrence par zone. Ces dernières seront en effet plus élevées hors réserve, et seront reportées pour mémoire.

Tableau 16. Répartition des stations en fonction du statut de protection et du type géomorphologique.

	RE	HR
Pente interne du récif	4	31
Pente externe du récif	6	31

Sur les 43 métriques testées, 16 présentent des différences significatives entre la passe en S (RE) et les zones HR du récif barrière. Pour 14 métriques, les valeurs des métriques sont plus élevées dans tous les habitats de la réserve (Tableau 17).

Tableau 17. Indicateurs pertinents pour l'évaluation des ressources récifales en fonction du statut de protection (passe S vs. Pentes interne et externe hors réserve).

	Métrique	Différence entre Passe en S (RE) et hors réserve (HR)	Etudes antérieures (2009 si année non précisée)
LETHRINIDAE	Densité d'abondance par station	RE ~ HR	RE<PB (bancs)
	Fréquence d'occurrence famille	RE ~ HR	
	Densité d'abondance des « grands individus »	Non testée car peu d'individus observés	
	Richesse spécifique	RE ~ HR	
	Fréquence d'occurrence : <i>Monotaxis grandoculis</i>	RE ~ HR	RE~PB (ns) (densité)
	Fréquence d'occurrence : <i>Lethrinus harak</i>	RE < HR (observé seulement HR) ¹	
LUTJANIDAE	Densité d'abondance par station	RE ~ HR	RE>PB (ns)
	Fréquence d'occurrence famille	RE ~ HR	
	Richesse spécifique	RE ~ HR	
	Fréquence d'occurrence : <i>Lutjanus bohar</i>	RE ~ HR	RE~PB
	Fréquence d'occurrence : <i>Aprion virescens</i>	RE < HR (observé seulement HR) ¹	RE<PB (densité, faibles)
CARANGIDAE	Densité d'abondance par station	Non testée car peu d'individus observés	RE>PB (ns)
	Fréquence d'occurrence famille	RE < HR (observé seulement HR) ¹	
	Fréquence d'occurrence : <i>Caranx melampygus</i>	RE < HR dans tous les habitats ¹	RE>PB (densité)
SERRANIDAE	Densité d'abondance par station	RE > HR sur la pente externe RE ~HR sur pente interne	RE>PB (ns)
	Fréquence d'occurrence famille	RE > HR dans tous les habitats	
	Densité d'abondance des «grands individus»	Non testée car peu d'individus observés	
	Richesse spécifique par station	RE > HR sur la pente externe RE ~HR sur pente interne	
	Densité d'abondance des	Non testée car peu d'individus	RE>PB (ns)

¹ S'explique probablement par le nombre de stations plus élevé hors réserve

	<i>Plectropomus sp.</i>	observés	(densité, faibles)
	Fréquence d'occurrence : <i>Plectropomus laevis</i>	RE > HR dans tous les habitats et types géomorphologiques	
	Densité d'abondance des <i>Epinephelus sp.</i>	Très peu d'individus observés	
	Densité d'abondance des <i>Cephalopholis sp.</i>	RE < HR sur pente externe (ns) RE ~ HR sur pente interne (ns)	RE>PB
	Fréquence d'occurrence : <i>Cephalopholis argus</i>	RE ~ HR	
ACANTHURIDAE	Densité d'abondance par station	RE > HR sur pente externe RE ~ HR sur pente interne	RE<PB
	Densité d'abondance des « grands individus »	RE > HR sur pente externe RE ~ HR sur pente interne	
	Richesse spécifique	RE > HR sur pentes interne et externe	
	Densité d'abondance du genre <i>Naso</i>	RE > HR sur pente externe (ns) RE ~ HR sur pente interne	
	Densité d'abondance du genre <i>Acanthurus</i>	RE > HR sur pentes interne et externe	
SCARIDAE	Densité d'abondance	RE > HR sur pente externe	RE~PB
	Densité d'abondance des « grands individus »	RE > HR sur pente externe	
	Richesse spécifique	RE > HR dans tous les habitats	
Intérêts halieutiques	Densité d'abondance des espèces commerciales	RE > HR dans tous les habitats	Biomasse : 1995: RE>PB 2009: RE~PB
	Densité d'abondance des espèces cibles de la pêche à la ligne	RE ~ HR	
	Densité d'abondance des espèces cibles de la chasse sous-marine.	RE ~ HR	
	Densité d'abondance des espèces cibles de la pêche au filet	RE ~ HR sur pente interne (ns) RE > HR sur pente externe	
Types trophiques	Densité d'abondance des carnivores	RE > HR dans tous les habitats	Biomasse Herbivores/Carnivores : 1995 et 2009 : RE<PB
	Densité d'abondance des piscivores	RE > HR dans tous les habitats	
	Densité d'abondance des herbivores	RE > HR dans tous les habitats	
	Densité d'abondance des planctonophages	RE ~ HR	

Lethrinidae et Lutjanidae : aucune métrique ne montre de différences significatives entre RE et HR. Le fait que les fréquences d'*Aprion virescens* et *Lethrinus harak* soient plus élevées HR est dû au nombre de stations élevé HR. Les espèces observées ne sont pas les espèces les plus ciblées par les pêcheurs.

Carangidae : 90% des observations concernent la carangue bleue, *Caranx melampygus*. Les fréquences plus élevées en réserve peuvent s'expliquer par le nombre de stations HR. Bien qu'il s'agisse d'une espèce mobile, cet indicateur est à suivre de près.

Les autres familles répondent bien à l'effet de la protection. Les densités et la diversité des peuplements sont plus élevées dans la passe en S et **sur l'ensemble des habitats**.

Les densités d'espèces commercialisées à Mayotte montrent un effet positif du statut de protection.

Les métriques par type de pêche ne montrent pas d'effet positif. Les causes peuvent être liées à la pratique du braconnage ou à la dégradation des habitats.

Les métriques sur les niveaux trophiques élevés présentent un effet positif du statut de protection.

6.3. Conclusion : Etat des ressources et des peuplements

Le bilan de l'état des ressources et des peuplements réalisé en 2014 met en évidence la présence de pressions anthropiques sur les écosystèmes coralliens des récifs du lagon SE de Mayotte. Les métriques calculées varient beaucoup selon le potentiel halieutique de chaque espèce.

Effet du type géomorphologique et l'habitat

20 métriques (45%) varient significativement selon le type géomorphologique et/ou de l'habitat. Ces résultats varient en fonction de l'affinité de chaque espèce à un type géomorphologique ou à un habitat. Habitat et type géomorphologique apparaissent comme les facteurs principaux déterminant la structure spatiale des communautés de poissons. De manière générale, les valeurs des métriques sont significativement plus élevées au niveau du récif barrière et dans les habitats riches en corail vivant. La plupart des espèces présentent ainsi une structuration naturelle avec un gradient d'éloignement à la côte. Pour les espèces à fort potentiel halieutique, cette structuration est modifiée par les impacts anthropiques.

Une étude multivariée de la structure spatiale à l'échelle de la communauté ichtyologique pourrait compléter ces résultats obtenus à partir d'indicateurs simples et univariés.

Effet du statut de pêche

Contrairement aux deux facteurs précédents, seulement 7 métriques varient significativement selon le statut de pêche. Ces variations sont parfois conformes aux attentes (la métrique présente des valeurs plus faibles dans une zone plus pêchée, noté (+) ci-dessous), parfois inverses (Tableau 18).

Tableau 18. Bilan des effets significatifs du statut de pêche

Métriques	Effet du statut de pêche
Fréquence d'occurrence CARANGIDAE	(+) sur les récifs lagunaires et la pente externe
Fréquence d'occurrence SERRANIDAE	(+) dans tous les habitats
Densité d'abondance des ACANTHURIDAE	(-) dans les habitats coralliens
Densité d'abondance des grands ACANTHURIDAE	(-) sur les récifs lagunaires et la pente externe
Densité d'abondance des SCARIDAE	(-) sur les récifs lagunaires et la pente externe
Densité d'abondance des grands SCARIDAE	(-) sur les récifs lagunaires et la pente externe
Richesse spécifique	(-) sur les récifs lagunaires et la pente externe
Densité des herbivores	(-) sur les récifs lagunaires et la pente externe

L'effet contre-intuitif (valeur de la métrique plus élevée lorsque pression de pêche plus faible) observé pour certaines métriques pourrait s'expliquer par le fait que la pression de pêche correspond à d'autres engins qui ne ciblent pas les espèces concernées par les métriques. C'est par ex. le cas des espèces ciblées par la pêche au filet qui est interdite dans le lagon. Ceci confirme la nécessité de bien revoir la définition du statut de pêche pour les futures analyses. Il serait pertinent d'avoir des niveaux de pression de pêche ciblés par catégorie d'engin et qui seraient spécifiquement utilisés pour les espèces ciblées par chaque engin.

Effet du statut de protection de la Passe en S

Dans une deuxième analyse, nous avons étudié les différences entre les stations de la Passe en S et les stations du Récif Barrière. Le statut de réserve étant clair et binaire (HR/RE), les résultats des comparaisons renseignent sur le comportement des métriques envisagées pour l'évaluation des ressources, et ce bien que la majorité des stations Hors Réserve de 2014 ne soient pas situées dans un biotope de Passe. La Passe en S a été initialement délimitée du fait de la richesse et de l'abondance de l'ichtyofaune et de l'habitat corallien. Il est donc à attendre que les métriques présentent des valeurs plus élevées en réserve que hors réserve. Dans nos résultats, les métriques qui présentent des différences significatives entre la Passe en S et hors réserve sont la densité d'abondance et la richesse spécifique des Serranidae, des Acanthuridae, des Scaridae, des espèces commerciales et des trois principaux groupes trophiques. La fréquence des Serranidae est également plus élevée dans la réserve, alors que seulement 10 stations sont en réserve contre 60 en dehors. Ces résultats concordent en général avec l'étude de Wickel et al. (2010). Aucune de nos métriques n'indique de différence, significative ou pas, en défaveur de la réserve². De ce point de vue, les résultats sont donc cohérents avec l'existant, et confortent la pertinence des métriques proposées.

² deux fréquences d'occurrence sont plus élevées HR du seul fait du nombre de stations.

7. Recommandations techniques pour un suivi à long-terme

L'étude menée en 2014 constitue un premier test pour l'application de la technique STAVIRO dans le lagon de Mayotte. Elle n'a été conduite que sur environ un quart du lagon.

Dans la perspective du suivi et de l'évaluation des ressources et des écosystèmes récifo-lagonaires, il est proposé un plan d'échantillonnage pour un suivi opérationnel représentatif et adapté à la problématique de la gestion des ressources à l'échelle du lagon de Mayotte.

Le suivi recommandé comprend :

- Plan d'échantillonnage : nombre et localisation des stations
- Périodicité des suivis
- Présentation des méthodes d'échantillonnage
- Métriques et méthodologie d'évaluation
- Moyens à mettre en œuvre pour réaliser le plan de suivi

7.1.Scénarios et recommandations

Compte tenu de l'étendue du lagon, de l'éloignement des récifs isolés et des moyens dont disposent le PNMM, plusieurs scénarios ont été évoqués et discutés.

Scénario 1 : campagne sur l'ensemble du lagon	
<ul style="list-style-type: none">• Campagne couvrant l'ensemble du lagon (1100 km²)• Les stations sont réparties sur l'ensemble des habitats et des types géomorphologiques, mais avec des intensités proportionnées par habitat, voire aux sites de pêche.• Le plan d'échantillonnage est stratifié selon les habitats et les unités géomorphologiques, mais pas nécessairement selon les zones de pêche.	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Etude de référence<ul style="list-style-type: none">○ en termes d'acquisition de connaissance (biodiversité et ressources halieutiques)○ pour les campagnes futures• Permet d'identifier les zones à enjeu de pêche au sein du lagon• Vision complète du potentiel halieutique	<ul style="list-style-type: none">• Effort d'échantillonnage considérable• Campagne lourde en moyens humains et logistiques• Obligation de trouver un financement extérieur et des moyens nautiques non-dépendants du Parc• Ne peut être reproduite fréquemment

Scénario 2 : campagne sur une sélection de sites

Sur le modèle des suivis GCRMN, le suivi est concentré sur une sélection de sites très pêchés (passes du Sud, Banc Iris), un site de référence non-pêché car peu attractif pour les pêcheurs, et un site de référence non pêché car AMP (Passe en S).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Logistique plus légère• Campagne moins longue, car moins de trajets• Possibilité d'effectuer des campagnes régulières sur les mêmes sites pour étudier l'évolution de la disponibilité des ressources halieutiques.• Faisable avec les moyens du Parc.	<ul style="list-style-type: none">• Aucune assurance de la représentativité des sites qui seront choisis, ni en tant que site pêché, ni en tant que site non pêché.• Pas de point de comparaison spatial• Des sites pêchés aujourd'hui peuvent ne plus l'être à l'avenir, car les habitudes des pêcheurs évoluent.• Dans ce cas, risque de ne pas disposer de données sur les « nouveaux » sites pêchés.

Stratégie de suivi : Recommandations générales

- **Réaliser un état initial (baseline) sur l'ensemble du lagon**

Cet état initial servira de campagne de référence pour le Parc. Compte tenu de l'étendue du lagon, le lagon est stratifié en quatre zones. 206 stations ont été positionnées en concertation avec le Parc, afin de couvrir toutes les zones d'intérêt et les principales « unités géomorphologiques ». Le nombre total de stations peut être revu en fonction des moyens disponibles et des priorités de gestion. L'unité géomorphologique (pentes interne et externe du récif barrière, passes, récifs et îlots lagonaires, récifs frangeants et récifs isolés) est un critère de stratification pertinent car il est à la fois corrélé à l'habitat et à un gradient côte-barrière, il présente un lien avec les zones de gestion et les unités sont rencontrées tout autour du lagon. Des données complémentaires, par ex. hyperspectrales pourraient être utilisées pour affiner ces strates géomorphologiques et au sein de ces strates pour répartir et positionner finement les stations.

- **Réaliser un suivi périodique sur l'ensemble du lagon tous les 6 ans**

Le plan d'échantillonnage sera similaire à l'état initial. Il sera basé sur le même réseau de stations et mis en œuvre à la même saison que l'état initial. Il pourra être éventuellement reprogrammé dans le temps en cas d'évènement majeur (catastrophe naturelle, blanchissement...), ou à la lueur des enjeux de gestion des ressources.

- **Réaliser un suivi annuel ciblé sur certaines zones**

Ce suivi se concentre sur une sélection de sites très pêchés (passes du Sud, Banc de l'Iris), un site de référence non-pêché car peu attractif pour les pêcheurs, et un site de référence non pêché car protégé (Passe en S).

Les stations correspondront à un sous-échantillonnage du suivi d'ensemble et reposeront sur la même stratification (partition) du lagon. Ce suivi peut être réalisé en régie par le personnel technique formé du Parc.

- Dans tous les cas, prévoir une stratification qui sera conservée : découpage du lagon en zones et stratification selon les principales « unités » géomorphologiques (pente interne et externe du récif barrière, récifs et îlots intermédiaires, récifs frangeants et récifs isolés), en affinant si besoin avec les données hyperspectrales.

Recommandations particulières et ajustements possibles

- **Adapter le nombre de stations par strate géographique aux moyens disponibles pour la campagne et à la surface de la strate.**

- Pour optimiser les temps de trajet entre stations : ces dernières doivent être groupées par paires à une distance équivalant à 6min de trajet au maximum.
- Conserver la stratification pour les suivis ultérieurs qui pourront éventuellement ne visiter que certaines strates, en fonction des moyens disponibles et des priorités de gestion.
- La définition des strates géographiques pourra être révisée à la lueur des enjeux de gestion des ressources.

7.2. Plan d'échantillonnage des états initiaux et périodiques

Comme tenue de l'étendue du lagon de Mayotte, les 4 zones définies (Tableau 19) offrent une partition pertinente au regard des expositions dominantes, avec des surfaces aussi comparables que possible. La zone 1 correspond à la zone de l'étude pilote ; la zone 3 correspond à un des complexes récifaux (Mtsamboro-Choizil). Cette zonation peut être adaptée si nécessaire.

Les **206 points** de suivi ont été sélectionnés en collaboration avec le PNMM et l'IFREMER. Les stations seront les mêmes à chaque collecte de données (voir liste des stations en Annexe 3, p. 93). L'échantillonnage a été stratifié selon la surface récifale des zones (Tableau 19), des 6 types géomorphologiques et des 3 statuts (pressions) de pêche (Tableaux 20 et 21).

La position des points tient également compte des données existantes :

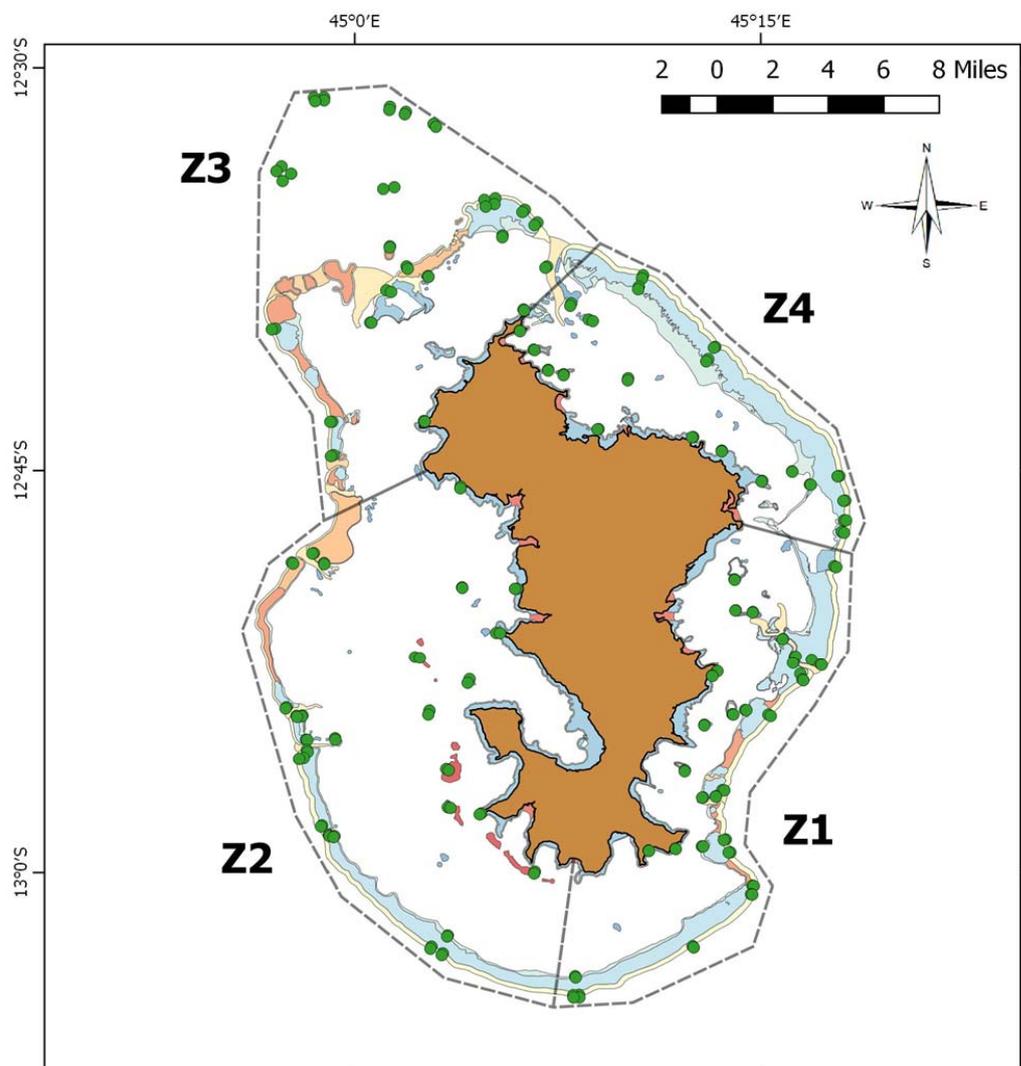
- 23 points sont positionnés sur une station GCRMN
- 51 points sont positionnés sur une station effectuée en 2014

Tableau 19. Répartition des stations dans les différentes zones du lagon.

Zones	Code	Superficie (km2)	% de surface lagonaire	Nombre de stations
Zone 1 : Lagon Est et Sud est, échantillonnée en 2014	Z1	350	21	62
Zone 2 : Lagon Ouest et Sud-ouest	Z2	611	37	48
Zone 3 : Banc de L'Iris et lagon Nord-ouest	Z3	413	25	52
Zone 4 : Lagon Nord et Nord-est	Z4	261	15	44

Tableau 20. Distribution des stations selon le type géomorphologique et le statut de pêche (PP=Peu Pêché ; MP=Moyennement Pêché ; TP=Très Pêché).

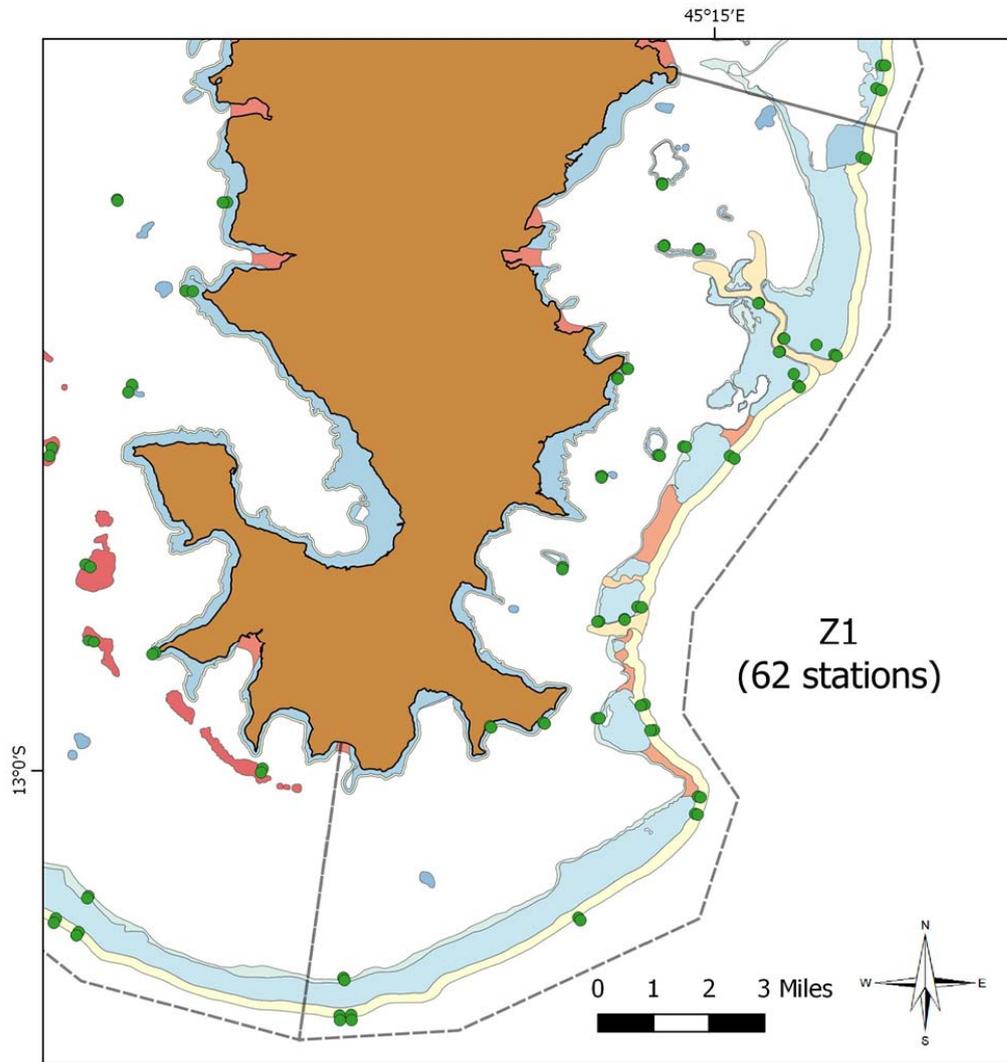
	Statut de pêche			TOTAL
	PP	MP	TP	
Récif frangeant (FR)	32	NA	2	34
Récif lagonaire (RL)	30	4	6	40
Pente interne du récif Barrière (PI)	10	8	12	30
Passe (PA)	8	NA	10	18
Pente externe du récif barrière (RB)	22	20	24	66
Récifs isolés (Iris, Surprise..)	NA	8	10	18
TOTAL	102	40	64	206



Légende

Géomorphologie du lagon		partie submergée en discontinue	pente interne
barrière interne	passe peu profonde	platier du récif barrière	
fonds de baie envasée	passe profonde	platier du récif frangeant	
partie submergée en continue	pente externe du récif barrière	récif interne	
	pente externe du récif frangeant		

Figure 37. Proposition de zonation du lagon et plan d'échantillonnage recommandé



Légende

Géomorphologie du lagon

barrière interne

fonds de baie envasée

partie submergée en continue

partie submergée en discontinue

passé peu profonde

passé profonde

pente externe du récif barrière

pente externe du récif frangeant

pente interne

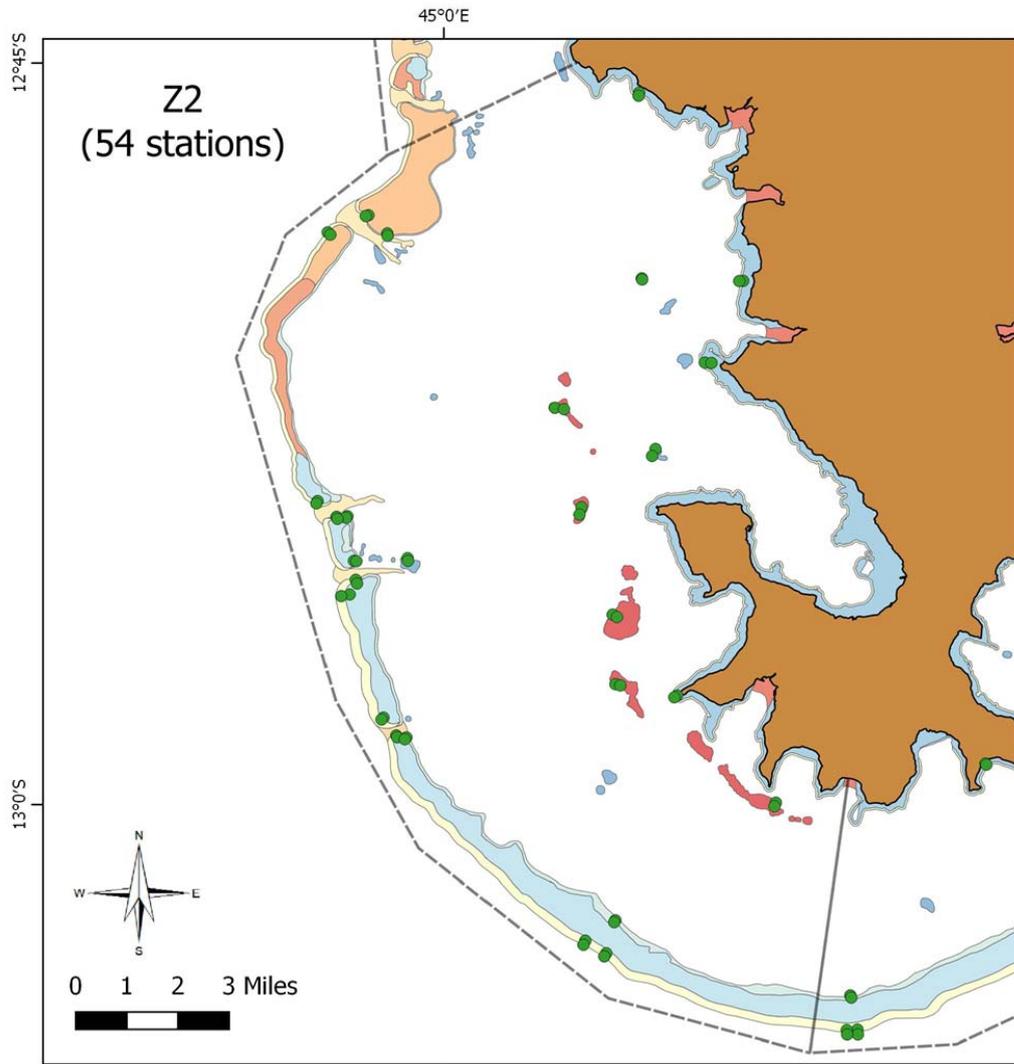
platier du récif barrière

platier du récif frangeant

récif interne

Figure 38. Zone 1 : Lagon Est et sud-est.

Zone 1 : Lagon Est et Sud-est 62 stations dont 5 stations correspondant à une station GCRMN et 51 sont issues des stations réalisées en 2014.



Légende

Géomorphologie du lagon

barrière interne

fonds de baie envasée

partie submergée en continue

partie submergée en discontinue

passé peu profonde

passé profonde

pente externe du récif barrière

pente externe du récif frangeant

pente interne

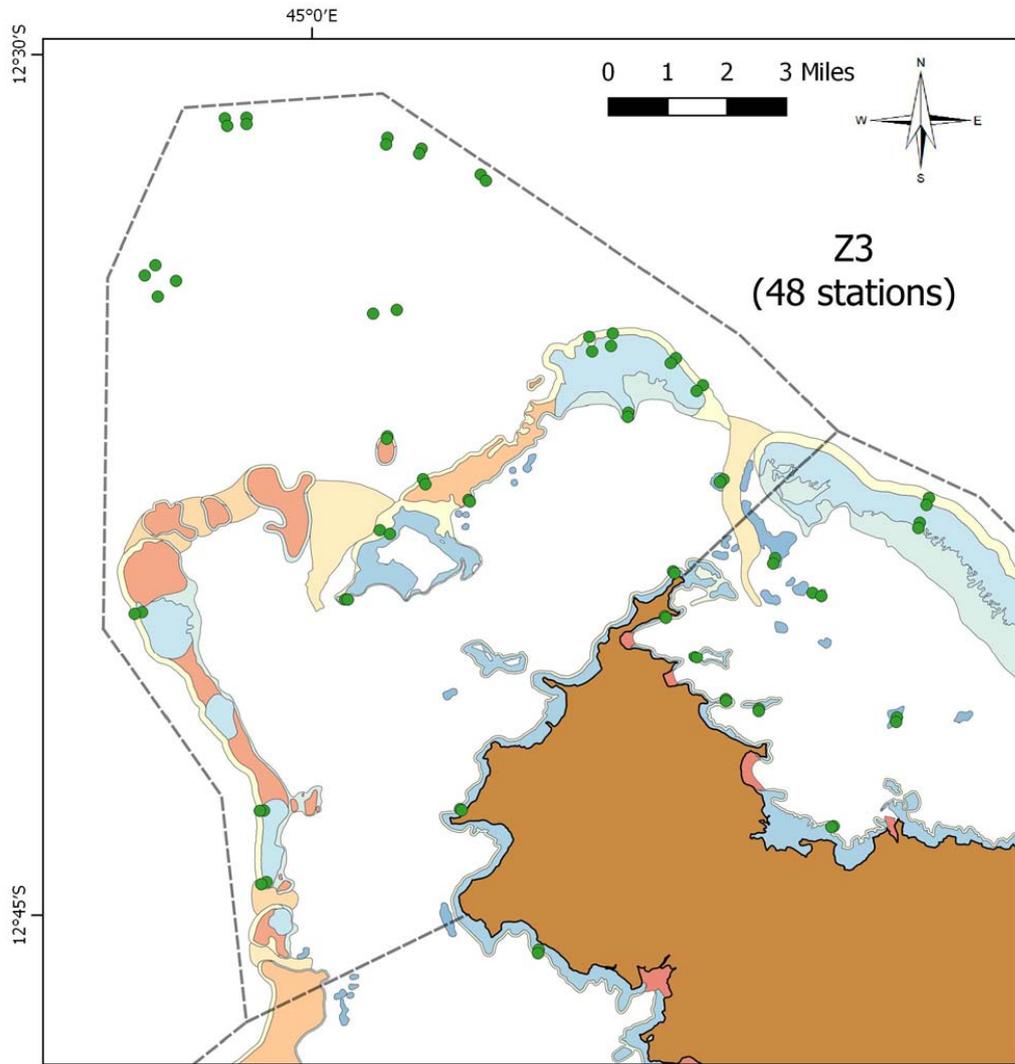
platier du récif barrière

platier du récif frangeant

récif interne

Figure 39. Zone 2 : Lagon Sud-Ouest.

Zone 2 : Lagon Ouest et Sud-ouest : 54 stations dont 6 stations correspondant à une station GCRMN.



Légende

Géomorphologie du lagon

barrière interne

fonds de baie envasée

partie submergée en continue

partie submergée en discontinue

passé peu profonde

passé profonde

pente externe du récif barrière

pente externe du récif frangeant

pente interne

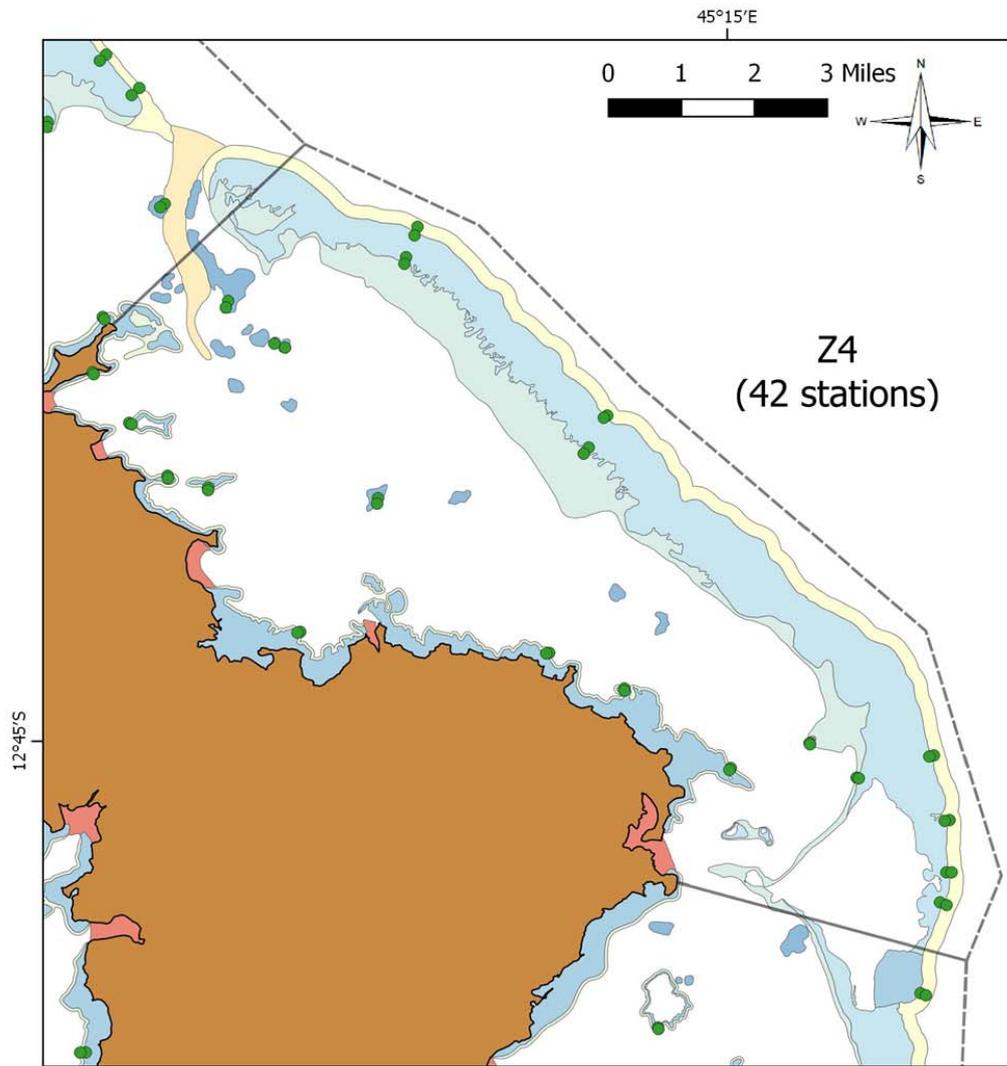
platier du récif barrière

platier du récif frangeant

récif interne

Figure 40. Zone 3 : Banc de l'Iris et Lagon Nord-ouest.

Zone 3 : Banc de l'Iris et lagon Nord : 48 stations dont 2 stations correspondant à une station GCRMN.



Légende

Géomorphologie du lagon

barrière interne

fonds de baie envasée

partie submergée en continue

partie submergée en discontinue

passé peu profonde

passé profonde

pente externe du récif barrière

pente externe du récif frangeant

pente interne

platier du récif barrière

platier du récif frangeant

récif interne

Figure 41. Zone 4 : Lagon Nord-Est.

Zone 4 : Lagon Nord-est : 42 stations dont 10 stations correspondant à une station GCRMN.

7.3.Suivi annuel

Les stations pour un suivi annuel seront identifiées à la lueur de l'état initial.

Ce suivi se concentrera sur une sélection de sites très pêchés (passes du Sud, Banc de l'Iris), un site de référence non-pêché et non protégé (car peu attractif pour les pêcheurs), et un site de référence non pêché car protégé (Passe en S).

Il sera réalisable en 4 ou 5 jours de terrain maximum et devrait comprendre entre 60 et 80 stations.

7.4.Mise en œuvre sur le terrain, matériel et ressources nécessaires

La mise en œuvre sur le terrain, le matériel et les moyens humains sont décrits dans le guide méthodologique remis par l'IFREMER au PNMM (§ 5 et 12).

Les campagnes sont généralement conduites avec deux embarcations travaillant en complémentarité dans la zone à couvrir. Avec 2 systèmes vidéo sur chaque embarcation, 20 stations peuvent être réalisées en moyenne par journée de terrain, à partir d'une embarcation et d'un équipage formé. En intégrant une marge de manœuvre liée aux aléas, 6 à 8 jours pleins seraient nécessaires pour réaliser l'état initial. Ces jours seraient préférablement à répartir sur 2 semaines (2 fois quatre jours).

Un bilan a été établi pour l'étude pilote à partir du rapport terrain et des rapports d'analyse (Annexe 4). Les moyens à mettre en place pour l'état initial ont été évalués (Tableau 21) à partir de ce bilan et sur la base de l'expérience de l'IFREMER NC.

Tableau 21. Moyens humains et matériels pour un état initial

	Quantité	Coût / Durée
Terrain		
Matériel :	4 STAVIRO et petit matériel	
Bateau du PNMM, Mtsounga (semi-rigide) Essence + pilote	2 pilotes expérimentés	16 jours technicien
Temps pers. (PNMM, prestataire ou partenaire)	6 pers.	48 jours technicien
Préparation mission : matériel et plan d'échantillonnage		
Temps pers. (PNMM, prestataire ou partenaire)	2 pers.	3 jours Ingénieur 3 jours Technicien
Rangement post-mission, gestion des images et des données		
Temps agent PNMM	1 pers.	3 jours Technicien
Analyse des images		
Prestataire Analyse habitat et ichtyofaune (206 vidéos)	1 pers.	51 jours.pers (base 1h30 par station, 6h d'analyse par jour)
Doubles analyses sur 10% des stations	1 pers.	5 jours
Analyse des données et rédaction du rapport		
Analyse des données, rédaction, cartes et bancaisation des données	1 pers.	30 jours ingénieur (et technicien)
Synthèse et validation du rapport (Temps agent IFREMER (D.Pelletier)	1 pers.	10 jours expert
Total Temps personnel	1150 heures	67 jours technicien 89 jours ingénieur 10 jours expertise
Temps moyen par station		5 h 30

7.5. Liste d'espèces pour l'analyse des images

L'analyse des images est une étape importante du travail. Nous suggérons de reprendre la liste des espèces d'Intérêt Ecologique, Halieutique et Emblématique (IEHE) qui représente un compromis entre une analyse complète plus coûteuse en temps, et une analyse ciblée sur une liste limitée de taxons qui prendrait un peu moins de temps mais laisserait beaucoup moins de flexibilité dans le choix des indicateurs qui pourraient être construits à partir des données, sachant que l'état des ressources est susceptible de varier fortement au cours des suivis successifs.

7.6. Métriques retenues

Le bilan des effets significatifs des différents facteurs sur l'ensemble des métriques est résumé dans le Tableau 22. **Rappelons que le niveau de la ressource est fourni à titre purement qualitatif car il s'appuie sur une confrontation aux seuils définis en Nouvelle-Calédonie (fournie à titre d'illustration) ; ces seuils ne sont pas directement applicables au lagon de Mayotte.**

Tableau 22. Bilan des effets significatifs des facteurs (Type géomorphologique, Typologie d'habitat, Statut de pêche et Statut de protection) sur l'ensemble des métriques. Le niveau de la ressource est estimé par comparaison au seuil NC. Les cases cochées indiquent un effet significatif (au niveau $p < 0.05$) du facteur sur la métrique. Case grisée = taxons trop rarement observés pour analyses statistiques. Case vide = effet non significatif.

	Métriques	Niveau observé	Type géo	Habitat	Statut de pêche	Différence RE/HR
GENERALE S	Densité d'abondance	Modéré				
	Richesse spécifique	Modéré	X	X		
LETHRINIDAE	Densité d'abondance	Faible				
	Fréquence d'occurrence	Modéré				
	Densité d'abondance des grands individus	Faible				
	Richesse spécifique	Faible	X			
	Fréquence d'occurrence : <i>M. grandoculis</i>	Modéré	X	X		
	Fréquence d'occurrence : <i>Lethrinus harak</i>	Modéré	X	X		X
LUTJANIDAE	Densité d'abondance par station	Faible	X	X		
	Fréquence d'occurrence	Modéré				
	Densité d'abondance des grands individus	Faible				
	Richesse spécifique	Faible				
	Fréquence d'occurrence : <i>Lutjanus bohar</i>	Modéré				
	Fréquence d'occurrence : <i>Aprion virescens</i>	Très faible				X

CARANGID AE	Densité d'abondance	Très faible		X		
	Fréquence d'occurrence	Modérée			X	X
	Fréquence d'occurrence : <i>C. melampygyus</i>	Modérée	X			X
SERRANIDAE	Densité d'abondance par station	Modérée	X	X		X
	Fréquence d'occurrence	Modérée	X	X	X	X
	Densité d'abondance des grands individus	Faible				
	Richesse spécifique par station	Elevée	X	X		x
	Densité d'abondance des <i>Plectropomus</i> sp.	Très faible				
	Fréquence d'occurrence : <i>Plectropomus laevis</i>	Faible		X		X
	Densité d'abondance des <i>Epinephelus</i> sp.	Très faible				
	Densité d'abondance des <i>Cephalopholis</i> sp.	Elevée	X			X
	Fréquence d'occurrence <i>Cephalopholis argus</i>	Elevée	X	X		
ACANTHURIDAE	Densité d'abondance par station	Elevée	X		X	X
	Densité d'abondance des grands individus	Modérée	X	X	X	X
	Richesse spécifique	Elevée		X		X
	Densité d'abondance des <i>Naso</i>	Modérée	X	X		X
	Densité d'abondance des <i>Acanthurus</i>	Modérée				X
	Fréquence d'occurrence : <i>Naso unicornis</i>	Modérée	X	X		
SCARIDAE	Densité d'abondance par station	Modérée	X	X	X	X
	Densité d'abondance des grands individus	Faible		X	X	X
	Richesse spécifique par station	Modérée		X	X	X
HAEMULIDA E	Densité d'abondance par station	Très faible				
	Fréquence d'occurrence	Très faible				
Intérêts halieutiques	Densité d'abondance des espèces commerciales	Elevée				X
	Densité d'abondance des cibles de la ligne	Elevée				
	Densité d'abondance des cibles de la chasse	Elevée	X			
	Densité d'abondance des cibles du filet	Elevée	X	X		X
Groupes trophiques	Densité d'abondance des carnivores	Modérée	X	X		X
	Densité d'abondance des piscivores	Modérée				X
	Densité d'abondance des herbivores	Modérée	X	X		X
	Densité d'abondance des planctonophages	Modérée				

La plupart des métriques calculées dans le cadre de cette étude apparaissent pertinentes au regard des deux types d'analyses qui ont été réalisées. La non-significativité de résultats ne remet pas en cause la pertinence d'une métrique. Ce cas de figure se présente surtout pour le facteur « statut de pêche », alors qu'un grand nombre de différences sont significatives pour la comparaison entre réserve et hors réserve.

Le faible nombre d'individus observés pour certains taxons (*Plectropomus*, *Epinephelus*, Haemulidae) n'est pas dû à un problème d'observabilité, mais plutôt de présence des espèces. Une comparaison des valeurs des métriques vidéo avec celles issues d'autres types de suivi (UVC) n'est pas pertinente dans le cadre de cette étude, car les méthodes de calcul, la durée des observations et les surfaces échantillonnées par chaque technique sont différentes. De plus, le nombre et la position des stations sont différents. Cependant, à titre d'exemple, les densités maximales de Lethrinidae observées à 5 m autour de la caméra sont similaires à celles obtenues par UVC sur les récifs frangeants, les récifs d'ilot et la pente interne du récif barrière (Figure 42). Les densités observées en UVC sont significativement supérieures sur la pente externe. De plus, ces différences sont réduites si la métrique est calculée dans un rayon de 10m autour de la caméra.

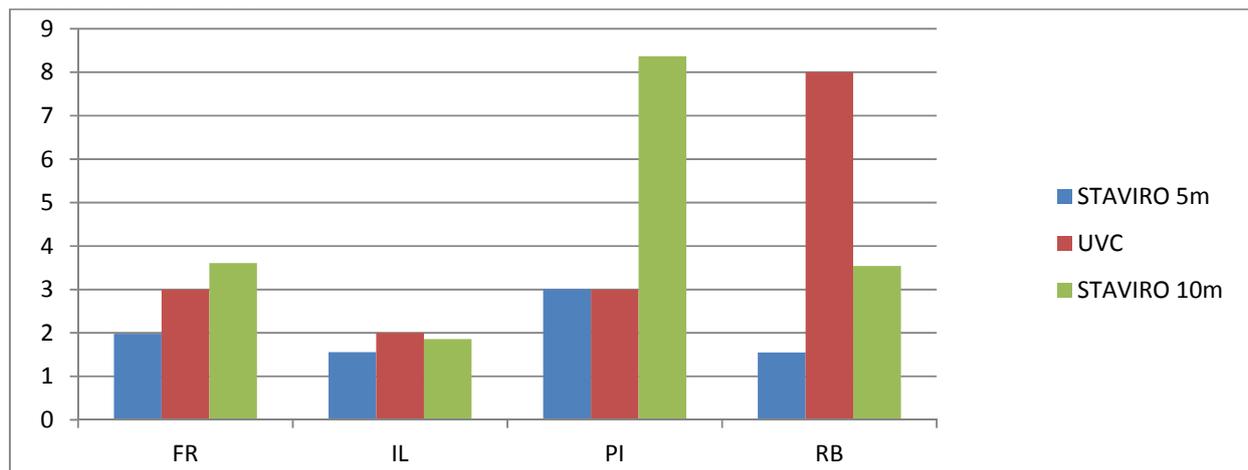


Figure 42. Densité max STAVIRO et densité UVC fournies par J. Wickel, pour 100m².

Nous avons donc réexaminé ces résultats et ceux de l'étude sur la Passe en S (Wickel et al. 2010) pour établir une liste des métriques pertinentes pour l'évaluation et calculables à partir de données de vidéo sous-marine STAVIRO (Tableau 23).

Au final, ce sont 20 métriques qui sont proposées :

- au niveau de l'ensemble des espèces : densité d'abondance et richesse spécifique, pour le rapportage synthétique,
- au niveau « fonctionnel » : 4 métriques de densité d'abondance liées aux espèces-cibles de la pêche,
- au niveau de la famille : 5 métriques de densité d'abondance
- au niveau du genre : 3 métriques de fréquence d'occurrence
- au niveau de l'espèce : 7 métriques de fréquence d'occurrence

Les métriques sélectionnant les grands individus n'ont pas été retenues à ce stade car observés trop rarement. Afin de disposer de métriques relatives à la taille, Il serait néanmoins utile de reconsidérer leur abondance à l'avenir si leur observation devient plus fréquente.

Nous suggérons de considérer également les métriques suivantes pour la conservation de la biodiversité (calculées sans surcoût de terrain à partir des mêmes données) :

- Richesse Spécifique (RS) toutes espèces confondues
- RS des Serranidae / Acanthuridae / Scaridae / Chaetodontidae
- Densité par régime trophique
- Densité d'abondance des Chaetodontidae

Tableau 23. Liste des métriques proposées pour l'évaluation de l'état des ressources.

	Métriques à retenir pour le Parc	Commentaire
	Densité d'abondance	utiles pour rapportage synthétique
	Richesse spécifique	
LETHRINIDAE	Densité d'abondance	⁽¹⁾ principalement <i>L. erythracanthus</i> et <i>obsoletus</i>)
	Fréquences d'occurrence : <i>M. grandoculis</i> , <i>Lethrinus harak</i> et des grandes espèces de <i>Lethrinidae</i> ⁽¹⁾	
LUTJANIDAE	Densité d'abondance	⁽²⁾ peu observé dans les UVC de 2009 (idem <i>Macolor niger</i>) et <i>L. bohar</i> dans une moindre mesure
	Fréquences d'occurrence : <i>Lutjanus bohar</i> , <i>Aprion virescens</i> ⁽²⁾	
CARANGIDAE	Fréquence d'occurrence	Espèce mobile et abondance fluctuante
	Fréquence d'occurrence : <i>Caranx melampygus</i>	
SERRANIDAE	Densité d'abondance	
	Fréquences d'occurrence : <i>Plectropomus laevis</i> , <i>Epinephelus</i> , <i>Cephalopholis argus</i>	
	Densité d'abondance des <i>Cephalopholis</i>	
ACANTHURIDAE	Densité d'abondance ⁽⁴⁾	⁽⁴⁾ en excluant les espèces (<i>Ctenochaetus</i> , <i>A. thompsonii</i> , <i>Zebrasoma</i>)
	Densités d'abondance des <i>Naso</i> et des <i>Acanthurus</i>	
	Fréquence d'occurrence : <i>Naso unicornis</i>	
SCARIDAE	Densité d'abondance	
HAEMULIDAE	Fréquence d'occurrence	

Intérêts halieutiques	Densité d'abondance des espèces commerciales	Métrique utile pour un diagnostic synthétique
	Densité d'abondance des cibles de la ligne	Nécessité de métriques ciblées par catégorie d'engin
	Densité d'abondance des cibles de la chasse	
	Densité d'abondance des cibles du filet	

7.7.Méthode d'analyse des indicateurs

L'évaluation doit prendre en compte l'habitat, l'unité géomorphologique et le niveau de pression de pêche :

- pour l'habitat, il est important de distinguer les stations d'habitat Corail vivant de celles situées sur Fond lagonaire. Les analyses et tests peuvent être conduits par habitat si besoin.
- pour l'unité géomorphologique, il est nécessaire de distinguer a minima frangeant et barrière. Là encore, Les analyses et tests peuvent être conduits par unité ou groupe d'unités géomorphologiques si besoin. Ce facteur permet également de zoomer par ex. sur une zone de passe.
- **pour le niveau de pression de pêche, il est important de réévaluer ce facteur dès la prochaine évaluation et périodiquement au regard de données appropriées sur les efforts réels de pêche et si possible par catégorie d'engin en fonction des métriques concernées (espèces-cibles des engins).**

Par ailleurs, il conviendra pour l'interprétation des métriques basées sur des fréquences de faire des comparaisons entre zones avec des nombres de stations comparables.

L'évaluation devra s'appuyer sur des comparaisons entre zones tant qu'une seule date sera disponible. Lorsque l'état initial sera complété, des variations temporelles pourront être évaluées, par zone et par niveau de facteur (voir ci-dessus).

7.8.Grilles de lecture des indicateurs

Cette question a déjà été évoquée au § 2.8.1, p.20. Dans cette sous-section, sont explicitées les différentes étapes de la mise en place du suivi et de l'évaluation, étant donné l'absence d'historique de données sur l'ensemble de la zone, et notamment de donnée vidéo (Tableau 24). L'interprétation des indicateurs (grille de lecture par indicateur) s'appuie en effet sur différentes méthodes selon les données disponibles et l'ancienneté du suivi.

Déterminer des seuils sur les valeurs des indicateurs pour qualifier l'état des ressources est possible dès lors que l'on dispose d'un jeu de données représentatif de l'étendue des états/situations écologiques que les peuplements halieutiques peuvent être amenés à expérimenter dans la configuration du lagon de Mayotte. Nous proposons de définir des seuils à partir de **l'étendue des valeurs des indicateurs utilisés** (Tableau 6, p. 21).

En l'absence de modèle de dynamique de population ou de peuplement qui définirait des points de référence basés sur des situations à l'équilibre ou optimales, cette procédure permet de qualifier des situations observées sur la base de la meilleure information possible (et comparable). **Il est donc important que le plan d'échantillonnage balaie une diversité de situations et états.** Cette base de connaissance peut être étendue plus largement au plan régional, sous la condition que la cohérence biogéographique soit conservée.

En pratique, avec un état initial, il sera possible de produire une première détermination de seuils, notamment sur les métriques générales (densité d'abondance et richesse spécifique totale) et pour les métriques concernant les taxons abondants et ubiquistes (principales familles et genres, métriques spécifiques de la pêche). Pour les autres métriques, la détermination des seuils demandera de disposer de plus de données. Dans tous les cas, il sera nécessaire de **réévaluer périodiquement les seuils** à mesure que d'autres données sont collectées.

La définition d'états basés sur des seuils par indicateur et l'analyse de l'évolution des différences sont deux aspects complémentaires de l'évaluation.

Tableau 24. Etapes de la mise en place d'un suivi-évaluation des ressources.

Etape	Méthode d'évaluation	Grille de lecture des indicateurs
Etude pilote : 1 seule date sur une partie de la zone	Comparaisons statistiques entre zones correspondant à différents habitats, unités géomorphologiques, et pressions de pêche	Les métriques devraient présenter des valeurs plus élevées, si possible de manière significative, dans les zones protégées et dans les zones où la pression de pêche est plus faible. La comparaison à des zones où la pêche est interdite depuis longtemps est importante pour évaluer l'état des ressources.
Etat initial : 1 seule date sur l'ensemble de la zone	Comparaisons entre zones (en actualisant le facteur habitat et en révisant le facteur pression de pêche)	Idem ci-dessus. De plus, le jeu de données couvre toute la zone et comprend des situations plus variées en terme d'état des ressources. Il est possible de commencer à définir des gammes de valeurs pour les indicateurs et d'en déduire un état des ressources basé sur des seuils.
Suivi annuel partiel : 1 date sur toute la zone et 2 dates sur certaines stations	<ul style="list-style-type: none"> • Comparaisons entre zones • Comparaisons entre dates pour les sites visités 2 fois 	Ce suivi annuel vient enrichir le jeu de données de l'état initial et permet sur les sites visités d'évaluer l'évolution des indicateurs entre les deux dates.
Autres suivis intercalaires	idem	Idem avec trois dates
Etat de l'ensemble du lagon : 2 ^e date	<ul style="list-style-type: none"> • Comparaisons entre zones et entre dates sur l'ensemble du lagon • Evaluation d'états par zone 	<ul style="list-style-type: none"> • Estimation de seuils basés sur une base de données complète • Evolution des différences entre zones protégées/non protégées et selon pression de pêche

8. Conclusions

Terrain. L'étude pilote a permis le déploiement de 104 stations vidéo rotatives STAVIRO dans le lagon sud-est de Mayotte suite à une formation à la méthodologie dispensée en Nouvelle-Calédonie. Ce résultat montre la facilité d'application et de formation à la mise en oeuvre des STAVIRO sur le terrain. Dans la campagne 2014, la profondeur des stations varie de 0 à 34 m. Il est possible de poser des STAVIRO jusqu'à 50 m au moins (profondeur maximale testée).

Analyse des images. Pour cette première étude sur Mayotte, les analyses ont été réalisées par deux prestataires dont l'un n'avait pas encore analysé d'images. Cette étape n'a posé aucun problème et elle a pour l'essentiel été réalisée par un prestataire à distance. La liste d'espèces spécifique à Mayotte a été adaptée du référentiel PAMPA outremer avec l'expertise de J. Wickel.

Espèces observées. Seules les espèces remplissant les critères définis dans le projet AMBIO et d'intérêt Ecologique, Halieutique et Emblématique ont été relevées pour cette étude. La plupart des espèces d'intérêt ont été observées dans les stations réalisées. Etant donné les différences de durée et de surface d'observation entre les STAVIRO et les transects UVC, l'observabilité des espèces sur la vidéo est bonne, comme cela avait été confirmé en Nouvelle-Calédonie sur un très grand nombre de stations (3000).

Résultats de l'analyse des indicateurs 2014. Les données issues de l'analyse des images ont été utilisées pour calculer plus de quarante indicateurs des ressources halieutiques et de la biodiversité.

En l'absence de données de référence (vidéo ou autres) et de recul temporel dans cette étude, l'interprétation des indicateurs de l'étude pilote doit se baser sur des comparaisons entre zones. Les différences spatiales liées à l'affinité des espèces pour un type géomorphologique ou un habitat, mettent en évidence une structuration naturelle avec un gradient d'éloignement à la côte. Pour les espèces à fort potentiel halieutique, cette structuration est modifiée par les impacts anthropiques (pêche, et pressions sur le littoral).

Dans la zone étudiée (quart sud-est du lagon), seules 7 métriques sur 40 ont montré des différences significatives entre les zones peu pêchées et les zones très pêchées. Par contre, 16 métriques sur 43 montrent des différences significatives entre la Passe en S et le récif barrière avoisinant, avec dans la quasi-totalité des cas (14 sur 16) une valeur plus élevée en réserve. Comme souligné également par Wickel et Guillemot (2012), ce type de données fournit un contraste net entre des stations en réserve des stations hors réserve. De plus, il a déjà été démontré que l'état de l'ichtyofaune est meilleur au sein de la Réserve (Wickel et al. 2010).

On en conclut que les données de l'étude pilote ont permis de détecter des différences existantes sur un grand nombre d'indicateurs. Il est donc probable que le nombre moins élevé de résultats significatifs au regard de la pression de pêche s'explique par la définition du facteur statut de pêche qui a permis de réaliser ces comparaisons, et/ou par l'absence effective de différences entre ces zones.

Suivi recommandé. Ce suivi à long terme est basé sur 2 types de campagne : un suivi annuel léger réalisable en 4 à 5 j sur une sélection de sites (60 à 80 points), et un suivi couvrant l'ensemble du lagon tous les 6 ans, réalisable en 2 fois quatre jours de terrain (environ 200 points).

La réalisation d'un état initial à l'échelle du lagon de Mayotte produira :

- une **étude de référence** en termes d'acquisition de connaissance (biodiversité et ressources halieutiques), base qui sera ensuite réactualisée tous les 6 ans ;
- **une vision globale du potentiel halieutique nécessaire à l'évaluation des ressources et des écosystèmes récifo-lagonaires à l'échelle du Parc.**

La technique STAVIRO est particulièrement indiquée pour ces suivis, car elle permet de réaliser en peu de temps un grand nombre de stations.

Méthodes d'analyse et Grilles de lecture des indicateurs. Nous avons proposé une méthode d'analyse qui se complète à mesure que les données sont collectées :

- basée sur des comparaisons spatiales (pression de pêche, statut de protection) lorsqu'une seule date de collecte de données est disponible ;
- basée sur des comparaisons temporelles et spatiales dès lors que deux dates de collecte existent ;
- complétée par la qualification d'état des ressources par zone d'intérêt (ces dernières devant être définies avec les gestionnaires sur la base d'informations sur la pêche et sur les habitats), dès lors qu'un nombre suffisant de données aura été collecté pour déterminer des seuils d'interprétation des indicateurs.

L'analyse des données est réalisable facilement à partir de l'outil de calcul PAMPA qui a servi pour l'étude pilote.

Construction d'un indicateur « Etat de santé des ressources ciblées par la pêche ». Le Plan de gestion du Parc prévoit de suivre par observations directes in situ un certain nombre de ressources lagonaires (Tableau 25). L'indicateur Pêche professionnelle sera composé de plusieurs métriques : densité toutes espèces et pour les espèces ou familles remarquables, taille moyenne toutes espèces et pour les espèces ou familles remarquables, richesse spécifique totale et proportion des différents groupes trophiques. L'objectif est de maintenir les structures trophiques des peuplements récifaux à des niveaux de référence sur certains sites et de déterminer ces références pour les nouveaux sites.

Selon la procédure actuelle d'analyse des images, la technique STAVIRO fournit tous ces indicateurs à l'exception de la taille moyenne. En revanche, elle permet de calculer des métriques (densité, richesse spécifique, fréquence) par classe de taille (Petit, Moyen, Grand).

La taille moyenne appliquée à un groupe d'espèces diversifié (toutes espèces, ou niveau famille) n'est pas à notre sens un indicateur fiable, car elle confond des espèces avec différentes tailles adultes et la valeur moyenne va fortement dépendre de la composition spécifique et de l'abondance des différentes espèces. **La densité par classe de taille ne présente pas cet inconvénient, car les classes sont définies pour chaque espèce.**

Tableau 25. Ressources lagunaires qui seront suivies dans les indicateurs du Parc.

Ressource	Taxons	Remarque
Capitaines	<i>Genre Lethrinus</i>	Cf. Tableau 23
Gueule pavée	<i>Monotaxis grandoculis</i>	Cf. Tableau 23
Vivaneaux	<i>Genre Lutjanus</i>	Cf. Tableau 23
Carangues	<i>Genre Caranx</i>	Cf. Tableau 23
Mérous	<i>Genres Anyperodon, Epinephelus, Plectropomus, Cephalopholis, Variola</i>	Cf. Tableau 23 Anyperodon et Variola non observés en 2014 (au niveau du genre), mais observables par la technique
Nasons et chirurgiens	<i>Genres Naso, Acanthurus, Ctenochaetus</i>	Cf. Tableau 23
Perroquets	Famille	Cf. Tableau 23

Enfin, il est à noter que les données collectées sont également utiles pour produire **sans coût supplémentaire, des indicateurs de biodiversité** pour l'évaluation de l'objectif « Restaurer et maintenir en bon état de conservation l'ensemble des récifs coralliens » (indicateurs recouvrements coralliens et biodiversité associée), y compris **par zone de récif** étant donné le nombre de stations et leur couverture géographique (Plan de gestion, p. 303).

9. Références

- Beliaeff, B., Pelletier D., 2011. A general framework for indicator design and use in environmental management with case studies. *Ocean and Coastal Management* 54, 84-92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2010.10.037>. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00032/14331/>
- Chabanet, P., 2002. Coral reef fish communities of Mayotte (western Indian Ocean) two years after the impact of the 1998 bleaching event. *Marine & Freshwater Research* 53: 107-113.
- Chabanet, P., Bigot, L., 2001. Analyse du peuplement de poissons récifaux – «Point zéro» - Campagne «Observatoire des récifs coralliens» 2000 – ORC 2. Rapport pour le compte de DAF-SPEM de Mayotte : 42 p multigr. + annexes.
- Chabanet, P., Severin, T., Bigot, L., 2002. Analyse des peuplements de poissons récifaux de quatre sites remarquables de «L'ORC Mayotte» - Campagne ORC 3 - 2001 – Observatoire des récifs coralliens de Mayotte. Rapport pour le compte de F.F.E.M./Collectivité de Mayotte/DAF-SPEM. : 28 p + annexes).
- Gigou, A., Bissery, C., Wickel, J., Chabanet, P., 2011. Rapport du projet PAMPA pour le cas d'étude Mayotte. PAMPA/SITES/MAY/1. 45 p.
- Herfaut, J., 2014. Rapport de la campagne de collecte de vidéos du 4 au 14 novembre 2014. Rapport Service des Pêches / DAF.
- Jamon, A., Wickel, J., 2009. Contribution à la définition du caractère "remarquable" des peuplements ichtyologiques des eaux territoriales de Mayotte et à l'évaluation de leurs tailles "critiques" de capture. Rapport APNEE Mayotte/Lagonia pour le compte du Service des Affaires Maritimes de Mayotte. 83 pp. + annexes
- Jamon, A., Wickel, J., Nicet J.B., Durville, P., Fontcuberta, A., Quod J.P., Parc Naturel Marin de Mayotte., 2010. Evaluation de l'impact de la pêche au djarifa sur la ressource halieutique de Mayotte. Rapport PARETO/APNEE/LAGONIA/AAMP, 59 pp.
- Letourneur, Y., Maggiorani, J.M., 1995. Effets de la mise en réserve de la passe en S (île de Mayotte) sur les peuplements et populations de poissons. Rapport Neptune Sces/Service des pêches. 24 pp. + annexes.
- Pelletier, D., Leleu, K., Mallet, D., Mou-Tham, G., Hervé, G., et al., 2012. *Remote High-Definition Rotating Video Enables Fast Spatial Survey of Marine Underwater Macrofauna and Habitats*. PLoSONE7(2):e30536. doi:10.1371/journal.pone.0030536.
- Pelletier, D., E. Gamp, Y. Reecht & C. Bissery. 2011. Indicateurs de la Performance d'Aires Marines Protégées pour la gestion des écosystèmes côtiers, des ressources et de leurs usages (PAMPA). Rapport scientifique final du projet PAMPA. PAMPA/WP1/Coord/5. 58 p.

Pelletier, D., Mallet, D., Roman, W., Cadé, F. 2013. La vidéo sous-marine non appâtée pour l'observation et le suivi des peuplements et habitats côtiers dans des écosystèmes coralliens et tempérés. Montage audiovisuel avec sous-titre anglais (12 '). Congrès IMPAC3, 21-25 octobre. <http://www.oceanplus.tv/fr/reportages/video/192-les-techniques-videos-d-observation-du-milieu-marin-staviro-et-micado>. https://www.youtube.com/watch?v=C_uzdRguTgs

Pelletier, D., Bissery, C., 2014. Guide d'utilisation des outils du projet PAMPA (Indicateurs de la Performance d'Aires Marines Protégées pour la gestion des écosystèmes côtiers, des ressources et de leurs usages). Version 2. Rapport IFRECOR dans le cadre de la Convention n° AAMP/12/089 - IFREMER 12/2 212 911/F. 96 p. <https://w3.ifremer.fr/archimer/doc/00256/36715/>.

Pelletier, D., Carpentier, L., Roman, W., Bockel, T., 2016. La vidéo rotative autonome pour l'observation des habitats et de la macrofaune côtiers. Guide méthodologique des systèmes STAVIRO et MICADO. Rapport AMBIO/A/1. IFREMER Nouméa. 83 p. Version du 7 octobre 2016.

Wickel, J. 2006. Observatoire des récifs coralliens de Mayotte: Bilan 1998-2005. Evaluation et perspectives. Rapport Espaces pour direction de l'Agriculture et de la Forêt. 55 pp + annexes. Parc Naturel Marin de Mayotte (PNMM) ETAT DE SANTE DES RECIFS FRANGEANTS DE LA GRANDE TERRE ET DES ILOTS DU LAGON DE MAYOTTE Situation en 2012 et analyse de l'évolution spatiale et temporelle depuis 1989 Pareto – P486-Poste 1 Rapport technique Septembre 2013 60/60

Wickel, J. 2006. Les îlots du lagon de Mayotte: État des lieux de la vitalité corallienne. Rapport « ESPACES » pour D.A.F. Mayotte, 39 pp. multigr. + annexes. Wickel J. (2007). Suivi 2006 de l'état de santé des récifs coralliens de Mayotte selon la méthode Reef Check. 27 pp. Rapport LAGONIA

10. Annexes

10.1. Annexe 1. Fiches métriques et effets liés au type géomorphologique, à l'habitat et au statut de pêche

Voir document séparé. Roman et al.

10.2. Annexe 2. Fiches métriques Mise en évidence des différences entre réserve de la passe en S et zones adjacentes du récif barrière

10.3. Annexe 3. Liste des points du suivi recommandé

Tableau 26. Positions des points du suivi recommandé.

Les positions sont en WGS84. FR = Frangeant, RL = Récif lagunaire, PI = Pente interne du récif barrière, PA = Passe, RB = Pente extérieure du récif barrière, IS = Récifs isolés

ID	Code zone	Zone	Nom	Statut de pêche	Type geo	Station GCRMN	Station 2014	Longitude	Latitude
1	Z3	Iris et Lagon NO	Iris ext	Fort	IS	N	N	44,981125	-12,518257
2	Z3	Iris et Lagon NO	Iris ext	Fort	IS	N	N	44,97489	-12,518455
3	Z3	Iris et Lagon NO	Iris ext	Fort	IS	N	N	44,981125	-12,520138
4	Z3	Iris et Lagon NO	Iris ext	Fort	IS	N	N	44,975583	-12,520682
5	Z3	Iris et Lagon NO	Iris ext	Moyen	IS	N	N	45,021703	-12,524097
6	Z3	Iris et Lagon NO	Iris ext	Moyen	IS	N	N	45,021307	-12,526076
7	Z3	Iris et Lagon NO	Iris ext	Fort	IS	N	N	45,031501	-12,527264
8	Z3	Iris et Lagon NO	Iris ext	Fort	IS	N	N	45,030808	-12,528748
9	Z3	Iris et Lagon NO	Iris ext	Fort	IS	N	N	45,048524	-12,534785
10	Z3	Iris et Lagon NO	Iris ext	Fort	IS	N	N	45,050009	-12,536567
11	Z3	Iris et Lagon NO	Iris	Moyen	IS	N	N	44,954898	-12,561111
12	Z3	Iris et Lagon NO	Iris	Moyen	IS	N	N	44,95183	-12,564081
13	Z3	Iris et Lagon NO	Iris	Moyen	IS	N	N	44,960836	-12,565664
14	Z3	Iris et Lagon NO	Iris	Moyen	IS	N	N	44,955591	-12,570217
15	Z3	Iris et Lagon NO	Iris	Fort	IS	N	N	45,024375	-12,574077
16	Z3	Iris et Lagon NO	Iris	Fort	IS	N	N	45,017546	-12,575165
17	Z3	Iris et Lagon NO	Récif nord ext	Moyen	RB	N	N	45,086529	-12,580906
18	Z3	Iris et Lagon NO	Récif nord ext	Moyen	RB	N	N	45,079799	-12,581895
19	Z3	Iris et Lagon NO	Récif nord ext	Moyen	RB	N	N	45,086034	-12,584567
20	Z3	Iris et Lagon NO	Récif nord ext	Moyen	RB	N	N	45,080591	-12,586151

21	Z3	Iris et Lagon NO	Grand Récif nord ext	Moyen	RB	N	N	45,104702	-12,588075
22	Z3	Iris et Lagon NO	Grand Récif nord ext	Moyen	RB	N	N	45,103218	-12,58951
23	Z3	Iris et Lagon NO	Passe Longoni ext	Moyen	RB	N	N	45,112459	-12,595949
24	Z3	Iris et Lagon NO	Passe Longoni ext	Moyen	RB	N	N	45,110677	-12,597632
25	Z3	Iris et Lagon NO	Grand Récif nord int	Moyen	RB	N	N	45,090995	-12,60391
26	Z3	Iris et Lagon NO	Grand Récif nord int	Moyen	RB	N	N	45,090846	-12,605147
27	Z3	Iris et Lagon NO	Iris	Moyen	IS	N	N	45,021666	-12,610788
28	Z3	Iris et Lagon NO	Iris	Moyen	IS	N	N	45,021493	-12,611506
29	Z3	Iris et Lagon NO	Récif Mtzamboro	Faible	RB	N	N	45,031922	-12,623215
30	Z3	Iris et Lagon NO	Passe Longoni Passe	Faible	PA	N	N	45,118397	-12,623265
31	Z3	Iris et Lagon NO	Passe Longoni Passe	Faible	PA	N	N	45,117358	-12,624057
32	Z3	Iris et Lagon NO	Récif Mtzamboro	Faible	RB	N	N	45,032615	-12,6247
33	Z4	Lagon N et NE	Grand Récif NE	Faible	RB	O	N	45,177544	-12,628683
34	Z3	Iris et Lagon NO	Récif Mtzamboro int	Faible	PI	N	N	45,045011	-12,629203
35	Z3	Iris et Lagon NO	Récif Mtzamboro int	Faible	PI	N	N	45,045407	-12,629698
36	Z4	Lagon N et NE	Grand Récif NE	Faible	RB	O	N	45,176827	-12,630712
37	Z4	Lagon N et NE	Grand Récif NE int	Faible	PI	N	N	45,174872	-12,635828
38	Z4	Lagon N et NE	Grand Récif NE int	Faible	PI	N	N	45,174476	-12,637411
39	Z3	Iris et Lagon NO	Passe Mtzamboro ext	Faible	RB	N	N	45,019476	-12,638011
40	Z3	Iris et Lagon NO	Passe Mtzamboro ext	Faible	RB	N	N	45,022396	-12,6391
41	Z4	Lagon N et NE	Surprise GCRMN	Faible	PI	O	N	45,133243	-12,646127
42	Z4	Lagon N et NE	Surprise GCRMN	Faible	PI	O	N	45,132698	-12,647711
43	Z3	Iris et Lagon NO	Douamougno GCRMN	Faible	FR	O	N	45,103898	-12,64995
44	Z3	Iris et Lagon NO	Douamougno GCRMN	Faible	FR	O	N	45,104319	-12,650482
45	Z4	Lagon N et NE	banc du coq	Faible	RL	N	N	45,144043	-12,656216
46	Z4	Lagon N et NE	banc du coq	Faible	RL	N	N	45,146567	-12,657156
47	Z3	Iris et Lagon NO	Ilot mtzamboro int	Faible	PI	N	N	45,009542	-12,658115
48	Z3	Iris et Lagon NO	Ilot mtzamboro int	Faible	PI	N	N	45,010284	-12,658164
49	Z3	Iris et Lagon NO	Récif NO ext	Moyen	RB	N	N	44,951063	-12,661814
50	Z3	Iris et Lagon NO	Récif NO ext	Moyen	RB	N	N	44,948935	-12,662309
51	Z4	Lagon N et NE	Douamougno	Faible	FR	N	N	45,101535	-12,662977
52	Z4	Lagon N et NE	Douamougno	Faible	FR	N	N	45,101807	-12,663447
53	Z4	Lagon N et NE	Grand Récif NE Ext	Faible	RB	N	N	45,22192	-12,673171
54	Z4	Lagon N et NE	Grand Récif NE ext	Faible	RB	N	N	45,221104	-12,673715
55	Z4	Lagon N et NE	Ilot Handrema	Faible	RL	N	N	45,110096	-12,674896
56	Z4	Lagon N et NE	Ilot Handrema	Faible	RL	N	N	45,11069	-12,675193
57	Z4	Lagon N et NE	Grand Récif NE int	Faible	PI	N	N	45,21759	-12,680692
58	Z4	Lagon N et NE	Grand Récif NE int	Faible	PI	N	N	45,216403	-12,682177

59	Z4	Lagon N et NE	Bandraboua fr	Faible	FR	N	N	45,119078	-12,687367
60	Z4	Lagon N et NE	Bandraboua	Faible	FR	N	N	45,119152	-12,687936
61	Z4	Lagon N et NE	Mtsongoma	Faible	RL	N	N	45,128579	-12,690113
62	Z4	Lagon N et NE	Mtsongoma	Faible	RL	N	N	45,128554	-12,690781
63	Z4	Lagon N et NE	Prevoyante GCRMN	Faible	RL	O	N	45,168315	-12,692631
64	Z4	Lagon N et NE	Prevoyante GCRMN	Faible	RL	O	N	45,168093	-12,693954
65	Z3	Iris et Lagon NO	Acoua	Faible	FR	N	N	45,042623	-12,719179
66	Z3	Iris et Lagon NO	Acoua	Faible	FR	N	N	45,043044	-12,719526
67	Z3	Iris et Lagon NO	Passe Acoua ext	Faible	RB	N	N	44,98616	-12,719631
68	Z3	Iris et Lagon NO	Passe Acoua ext	Faible	RB	N	N	44,984948	-12,719705
69	Z4	Lagon N et NE	Longoni GCRMN	Faible	FR	O	N	45,150092	-12,724177
70	Z4	Lagon N et NE	Longoni GCRMN	Faible	FR	O	N	45,149461	-12,724375
71	Z4	Lagon N et NE	Koungou fr	Faible	FR	N	N	45,208349	-12,729132
72	Z4	Lagon N et NE	Koungou	Faible	FR	N	N	45,207656	-12,729281
73	Z4	Lagon N et NE	Koungou GCRMN	Faible	FR	O	N	45,225935	-12,737532
74	Z4	Lagon N et NE	Koungou GCRMN	Faible	FR	O	N	45,225922	-12,738064
75	Z3	Iris et Lagon NO	Passe Acoua ext	Faible	RB	N	N	44,986903	-12,740334
76	Z3	Iris et Lagon NO	Passe Acoua ext	Faible	RB	N	N	44,985369	-12,740978
77	Z4	Lagon N et NE	Gombe droume int	Fort	RL	N	N	45,269265	-12,750405
78	Z4	Lagon N et NE	Gombe droume int	Fort	RL	N	N	45,269364	-12,750702
79	Z4	Lagon N et NE	Poudjou ext	Fort	RB	N	N	45,298325	-12,753312
80	Z4	Lagon N et NE	Poudjou ext	Fort	RB	N	N	45,297237	-12,753559
81	Z4	Lagon N et NE	Quatre freres int	Faible	FR	N	N	45,250819	-12,756281
82	Z4	Lagon N et NE	Quatre freres int	Faible	FR	N	N	45,250473	-12,756751
83	Z4	Lagon N et NE	Badamiers int	Faible	FR	N	N	45,280263	-12,758557
84	Z4	Lagon N et NE	Badamiers int	Faible	FR	N	N	45,28077	-12,758718
85	Z2	Lagon O et SO	Tanaraki GCRMN	Faible	FR	O	N	45,065213	-12,759955
86	Z2	Lagon O et SO	Tanaraki CGRMN	Faible	FR	O	N	45,065015	-12,760994
87	Z4	Lagon N et NE	Papani ext	Fort	RB	N	N	45,301987	-12,768553
88	Z4	Lagon N et NE	Papani ext	Fort	RB	N	N	45,300849	-12,768751
89	Z4	Lagon N et NE	Moya ext	Faible	RB	N	N	45,301245	-12,780875
90	Z4	Lagon N et NE	Moya ext	Faible	RB	N	N	45,302482	-12,780875
91	Z4	Lagon N et NE	Moya ext	Faible	RB	N	N	45,29976	-12,787951
92	Z4	Lagon N et NE	Moya ext	Faible	RB	N	N	45,301294	-12,788595
93	Z2	Lagon O et SO	Grande Passe O Passe	Fort	PA	N	N	44,974816	-12,801201
94	Z2	Lagon O et SO	Grande Passe O Passe	Fort	PA	N	N	44,973925	-12,801498
95	Z2	Lagon O et SO	Grande Passe O ext	Fort	RB	N	N	44,961208	-12,806966

96	Z2	Lagon O et SO	Grande Passe O int	Fort	PI	N	N	44,981101	-12,807313
97	Z2	Lagon O et SO	Grande Passe O ext	Fort	RB	N	N	44,962098	-12,807758
98	Z2	Lagon O et SO	Grande Passe O int	Fort	PI	N	N	44,981212	-12,808154
99	Z1	Lagon E et SE	Aviateurs ext	Faible	RB	N	O	45,295204	-12,809364
100	Z1	Lagon E et SE	Aviateurs ext	Faible	RB	N	O	45,296465	-12,809871
101	Z1	Lagon E et SE	Mbouzi 1	Faible	RL	N	O	45,233795	-12,817458
102	Z1	Lagon E et SE	Mbouzi 2	Faible	RL	N	O	45,233898	-12,817823
103	Z2	Lagon O et SO	Chira goro	Faible	RL	N	N	45,066104	-12,822461
104	Z2	Lagon O et SO	Chira goro	Faible	RL	N	N	45,066203	-12,822857
105	Z2	Lagon O et SO	Sohoai fr	Faible	FR	N	N	45,099939	-12,823321
106	Z2	Lagon O et SO	Sohoai fr	Faible	FR	N	N	45,098628	-12,82337
107	Z1	Lagon E et SE	Kolo_Issa_2	Faible	RL	N	N	45,234509	-12,836672
108	Z1	Lagon E et SE	Kolo_Issa_1	Faible	RL	N	N	45,234332	-12,836839
109	Z1	Lagon E et SE	Pengwa_2	Faible	RL	N	O	45,245089	-12,837739
110	Z1	Lagon E et SE	Pengwa_1	Faible	RL	N	O	45,245008	-12,838027
111	Z2	Lagon O et SO	Sada fr	Faible	FR	N	N	45,087123	-12,85081
112	Z2	Lagon O et SO	Sada fr	Faible	FR	N	N	45,089374	-12,850934
113	Z1	Lagon E et SE	Passe_S_2	Faible	PA	N	N	45,263614	-12,854549
114	Z1	Lagon E et SE	Passe_S_1	Faible	PA	N	N	45,263437	-12,854702
115	Z1	Lagon E et SE	Passe S GCRMN	Faible	PA	O	N	45,271143	-12,865607
116	Z1	Lagon E et SE	Passe S GCRMN	Faible	PA	O	N	45,271425	-12,86563
117	Z2	Lagon O et SO	Double barrière	Faible	RL	N	N	45,037068	-12,866051
118	Z2	Lagon O et SO	Double barriere	Faible	RL	N	N	45,040087	-12,866497
119	Z1	Lagon E et SE	Passe_s_platier_1	Faible	PI	N	N	45,281301	-12,867576
120	Z1	Lagon E et SE	Passe_S_3	Faible	PA	N	O	45,270033	-12,869605
121	Z1	Lagon E et SE	Passe_S_4	Faible	PA	N	O	45,269798	-12,869753
122	Z1	Lagon E et SE	Passe_s	Faible	RB	N	O	45,286838	-12,870607
123	Z1	Lagon E et SE	Passe_S_	Faible	RB	N	O	45,287487	-12,871042
124	Z1	Lagon E et SE	Hamouro	Faible	FR	N	O	45,222912	-12,87492
125	Z1	Lagon E et SE	Hamouro	Faible	FR	N	O	45,223304	-12,874989
126	Z1	Lagon E et SE	PAss_s_platier_2	Faible	PI	N	N	45,27433	-12,876582
127	Z1	Lagon E et SE	Hamouro	Faible	FR	N	O	45,219939	-12,877737
128	Z1	Lagon E et SE	Hamouro	Faible	FR	N	O	45,220186	-12,878083
129	Z2	Lagon O et SO	Bandrakouni	Faible	RL	N	N	45,070669	-12,879907
130	Z1	Lagon E et SE	Passe_sGCRMN2	Faible	RB	O	O	45,27564	-12,880185
131	Z1	Lagon E et SE	Passe_s_GCRMN1	Faible	RB	N	N	45,276175	-12,880701
132	Z2	Lagon O et SO	Bandrakouni	Faible	RL	N	N	45,069531	-12,882283
133	Z2	Lagon O et SO	Passe Sada ext	Fort	RB	N	N	44,95783	-12,897425

134	Z2	Lagon O et SO	Passé Sada ext	Fort	RB	N	N	44,957434	-12,898217
135	Z1	Lagon E et SE	Récif Bandrele int	Moyen	PI	N	O	45,240322	-12,899101
136	Z1	Lagon E et SE	Récif Bandrele int	Moyen	PI	N	O	45,241114	-12,899225
137	Z2	Lagon O et SO	Double barriere	Fort	RL	N	N	45,045976	-12,899503
138	Z1	Lagon E et SE	Ilot Bandrele	Moyen	RL	N	O	45,232509	-12,90172
139	Z2	Lagon O et SO	Double barriere	Fort	RL	N	N	45,045283	-12,901978
140	Z1	Lagon E et SE	Ilot Bandrele	Moyen	RL	N	O	45,233103	-12,901992
141	Z1	Lagon E et SE	Récif Bandrele ext	Fort	RB	N	O	45,254669	-12,902018
142	Z2	Lagon O et SO	Passé Sada int	Fort	PI	N	N	44,967777	-12,902547
143	Z2	Lagon O et SO	Passé Sada Passé	Fort	PA	N	N	44,96414	-12,902745
144	Z1	Lagon E et SE	Récif Bandrele ext	Fort	RB	N	O	45,256079	-12,90286
145	Z2	Lagon O et SO	Passé Sada int	Fort	PI	N	N	44,967331	-12,903091
146	Z2	Lagon O et SO	Passé Sada Passé	Fort	PA	N	N	44,964461	-12,903437
147	Z1	Lagon E et SE	Laminoir	Faible	RL	N	O	45,215252	-12,908267
148	Z1	Lagon E et SE	Laminoir	Faible	RL	N	O	45,215178	-12,908713
149	Z2	Lagon O et SO	Passé Boueni Récif	Fort	RL	N	N	44,987892	-12,91665
150	Z2	Lagon O et SO	Passé Boueni int	Fort	PI	N	N	44,969979	-12,917565
151	Z2	Lagon O et SO	Passé Boueni Récif	Fort	RL	N	N	44,988016	-12,91759
152	Z2	Lagon O et SO	Passé Boueni int	Fort	PI	N	N	44,970783	-12,917689
153	Z2	Lagon O et SO	Passé Boueni Passé	Fort	PA	N	N	44,97056	-12,923949
154	Z2	Lagon O et SO	Passé Boueni Passé	Fort	PA	N	N	44,971006	-12,925211
155	Z2	Lagon O et SO	Passé Boueni ext	Fort	RB	N	N	44,968556	-12,928898
156	Z2	Lagon O et SO	Passé Boueni ext	Fort	RB	N	N	44,965735	-12,929442
157	Z2	Lagon O et SO	Double barriere	Faible	RL	N	N	45,056368	-12,935677
158	Z2	Lagon O et SO	Double barriere	Faible	RL	N	N	45,057803	-12,936469
159	Z1	Lagon E et SE	Ilot Bambo	Faible	RL	N	N	45,203202	-12,9365
160	Z1	Lagon E et SE	Ilot Bambo	Faible	RL	N	N	45,203128	-12,937168
161	Z1	Lagon E et SE	Passé saz N ext	Fort	RB	N	O	45,226227	-12,948815
162	Z1	Lagon E et SE	Passé saz N ext	Fort	RB	N	O	45,227538	-12,948964
163	Z1	Lagon E et SE	Passé saz N Passé	Fort	PA	N	O	45,222232	-12,952618
164	Z1	Lagon E et SE	Passé saz N Passé	Fort	PA	N	O	45,222306	-12,952865
165	Z1	Lagon E et SE	Passé saz N int	Fort	PI	N	O	45,214442	-12,953356
166	Z1	Lagon E et SE	Passé saz n int	Fort	PI	N	O	45,213891	-12,953428
167	Z2	Lagon O et SO	Double barriere	Faible	RL	N	N	45,057283	-12,95943
168	Z2	Lagon O et SO	Double barriere	Faible	RL	N	N	45,058941	-12,959851
169	Z2	Lagon O et SO	ngouja fr	Faible	FR	N	N	45,077844	-12,963265
170	Z2	Lagon O et SO	ngouja fr	Faible	FR	N	N	45,076953	-12,963834
171	Z2	Lagon O et SO	Passé bateau GRMCMN	Fort	RB	O	N	44,979826	-12,970675

172	Z2	Lagon O et SO	Passe bateau GRCMN	Fort	RB	O	N	44,979183	-12,971319
173	Z2	Lagon O et SO	Passe bateau Passe	Fort	PA	N	N	44,984107	-12,976676
174	Z2	Lagon O et SO	Passe bateau Passe	Fort	PA	N	N	44,984428	-12,977319
175	Z2	Lagon O et SO	Passe bateau int	Fort	PI	N	N	44,987478	-12,97735
176	Z2	Lagon O et SO	Passe bateau int	Fort	PI	N	N	44,986958	-12,977968
177	Z1	Lagon E et SE	Sable blanc ext	Fort	RB	N	O	45,228429	-12,979399
178	Z1	Lagon E et SE	Sable blanc ext	Fort	RB	N	O	45,227219	-12,979754
179	Z1	Lagon E et SE	Sable blanc int	Moyen	PI	N	O	45,213695	-12,983699
180	Z1	Lagon E et SE	Sable blanc int	Moyen	PI	N	O	45,214559	-12,983706
181	Z1	Lagon E et SE	Saziley fr	Fort	FR	N	O	45,197242	-12,985059
182	Z1	Lagon E et SE	Saziley fr	Fort	FR	N	O	45,197687	-12,985356
183	Z1	Lagon E et SE	Saziley GRCMN	Faible	FR	O	O	45,180866	-12,98617
184	Z1	Lagon E et SE	Saziley GRCMN	Faible	FR	O	O	45,181175	-12,986529
185	Z1	Lagon E et SE	Sable blanc ext	Fort	RB	N	O	45,231273	-12,987385
186	Z1	Lagon E et SE	Sable blanc ext	Fort	RB	N	O	45,230202	-12,987472
187	Z2	Lagon O et SO	Double barriere	Moyen	RL	O	N	45,110851	-12,99929
188	Z2	Lagon O et SO	Double barriere	Moyen	RL	O	N	45,110405	-13,000503
189	Z1	Lagon E et SE	Passe saz S ext	Moyen	RB	N	O	45,244848	-13,00798
190	Z1	Lagon E et SE	Passe saz S ext	Moyen	RB	N	O	45,245644	-13,008223
191	Z1	Lagon E et SE	Passe saz S ext	Moyen	RB	N	O	45,243966	-13,013332
192	Z1	Lagon E et SE	Passe saz S ext	Moyen	RB	N	O	45,244736	-13,013587
193	Z2	Lagon O et SO	Grand Récif sud int	Moyen	PI	N	N	45,057252	-13,038897
194	Z2	Lagon O et SO	Grand Récif sud int	Moyen	PI	N	N	45,056881	-13,039553
195	Z1	Lagon E et SE	Grand Récif sud ext	Moyen	RB	N	O	45,208037	-13,045522
196	Z2	Lagon O et SO	Grand Récif sud ext	Moyen	RB	N	N	45,047246	-13,045773
197	Z1	Lagon E et SE	Grand Récif sud ext	Moyen	RB	N	O	45,20868	-13,046363
198	Z2	Lagon O et SO	Grand Récif sud ext	Moyen	RB	N	N	45,046603	-13,047159
199	Z2	Lagon O et SO	Grand Récif sud ext	Moyen	RB	N	N	45,054224	-13,050004
200	Z2	Lagon O et SO	Grand Récif sud ext	Moyen	RB	N	N	45,05358	-13,051068
201	Z2	Lagon E et SE	Grand Récif sud int	Fort	PI	N	O	45,135734	-13,064194
202	Z1	Lagon E et SE	Grand Récif sud int	Fort	PI	N	O	45,136055	-13,064961
203	Z1	Lagon E et SE	Grand Récif sud ext	Fort	RB	N	O	45,138097	-13,075698
204	Z1	Lagon E et SE	Grand Récif sud ext	Fort	RB	N	O	45,134553	-13,075869
205	Z1	Lagon E et SE	Grand Récif sud ext	Fort	RB	N	O	45,138242	-13,077338
206	Z1	Lagon E et SE	Grand Récif sud ext	Fort	RB	N	O	45,134677	-13,077353

10.4. Annexe 4. Bilan des moyens mobilisés pour la présente étude, terrain compris.

	Quantité	Coût / Durée
Terrain		
Matériel :	2 STAVIRO	
1 Bateau du PNMM, Aita II Essence + pilote	1 pilote expérimenté	8 jours
Temps agent PNMM	7 pers.	26 jours
Préparation mission : matériel et plan d'échantillonnage		
Temps agent PNMM	2 pers.	2 jours.pers. (Ingénieur) 2 jours.pers. (Technicien)
Rangement post-mission, gestion des images et des données		
Temps agent PNMM	1 pers.	2 jours.pers. (Technicien)
Analyse des images		
Prestation EXPLOCEAN Analyse habitat et ichtyofaune	1 pers.	190 heures + 50 heures (habitat) = 40 jours
Prestation WICKEL (double analyse et identification)	1 pers.	4 jours
Analyse des données et rédaction du rapport		
Prestation EXPLOCEAN	1 pers.	45 jours
Prestation WICKEL	1 pers.	5 jours
Temps agent IFREMER (D.Pelletier)	1 pers.	15 jours
Temps agent PNMM (P.Giannasi)	1 pers.	10 jours

Résumé

- Dans le cadre de son plan de gestion, le Parc Naturel Marin de Mayotte doit se doter d'indicateurs pour évaluer l'efficacité des mesures mises en œuvre pour le maintien de peuplements récifaux fonctionnels.
- Cette évaluation des peuplements de poissons et notamment des ressources halieutiques du PNMM, s'appuie sur la technique de vidéo rotative STAVIRO.
- Une campagne pilote a été réalisée avec les moyens du Parc, en novembre 2014 dans une zone couvrant le quart sud-est du lagon. Cette zone comprend la Réserve de la Passe Longogori, le Parc de Saziley et l'îlot M'Bouzi. 115 stations STAVIRO ont été réalisées dont 104 sont exploitables. Leur analyse a permis de caractériser l'habitat environnant chaque station, ainsi que les peuplements de poissons sur la base d'une liste de 527 espèces d'Intérêt Emblématique, Halieutique et Ecologique (IEHE)) (cf. AMBIO/A/1).
- 43 métriques ont été calculées, analysées et certaines représentées sous forme de cartes. Les analyses ont été effectuées grâce à l'outil de calcul PAMPA.
- 130 espèces de poissons appartenant à la liste IEHE (et 1 espèce de tortue) ont été observées, soit 23 familles taxonomiques. Poissons chirurgiens et poissons papillons sont observés sur plus de 85% des stations, et les poissons-perroquets sur 80% des stations. Lethrinidés, serranidés et balistes sont observés sur 60% des stations.
- Les stations se répartissent dans quatre habitats : Corail vivant, Dalle corallienne, Détritique et Fond lagonaire. La dalle correspond aux platiers, tandis que le Fond lagonaire correspond à des stations en pied de tombant récifal et arrière-récif. Les poissons sont significativement plus abondants au niveau du récif barrière et dans les habitats riches en corail vivant.
- 7 métriques varient significativement selon le statut de pêche. Les résultats montrent la nécessité de revoir la définition du statut de pêche et l'intérêt de disposer de pressions de pêche par catégorie d'engin.
- Espèces commerciales, espèces carnivores, piscivores et herbivores, perroquets, chirurgiens et serranidés sont significativement plus abondants dans la Réserve de la Passe Longogori que sur le récif barrière hors réserve. Les résultats concordent avec les études existantes.
- Un suivi en deux étapes est recommandé : a) un suivi complet tous les 6 ans sur l'ensemble du lagon ; et b) un suivi annuel sur une sélection de sites très pêchés et un site de référence protégé.

Ichtyofaune ; Pêche ; Habitat ; Vidéo sous-marine ; STAVIRO ; Evaluation ; Suivi ; Biodiversité ; Ecosystème corallien ; AMP ; Parc Naturel Marin de Mayotte ; Océan Indien ; Indicateur ; Tableau de bord ; PAMPA

Abstract

- In order to assess the sustainability of fish resources in the Natural Marine Park of Mayotte (Western Indian Ocean), indicators and monitoring protocols must be determined.
- This study relied on the underwater video technique STAVIRO for assessing fish communities and resources. A pilot survey was conducted in Nov. 2014 in the south-east quarter of the Mayotte lagoon, an area encompassing the marine reserves of Longogori, M'Bouzi and the Saziley Marine Park. Out of 115 stations collected, 104 were analysed for habitat and fish, based on a list of 527 species with fishing, ecological, or emblematic interest (cf. AMBIO/A/1).
- 43 indicators were computed, analysed, and for some mapped. The PAMPA computing tool was used in this purpose.
- 130 fish species and one turtle species were observed. Surgeonfish and butterflyfish were seen on more than 85% of stations, parrotfish on 80%. Lethrinids, serranids and triggerfish were seen on 60% of stations.
- Four habitats were present in the stations: Living coral, slab, detritic hard bottoms and sandy bottoms. Slab corresponded to reef flat, while sandy bottoms were found on the inner slope. Fish were significantly more abundant on the barrier reef and in the living coral habitat.
- Seven indicators significantly varied according to fishing pressure. Results showed that it is necessary to redefine fishing pressure estimates, and that pressures per fishing gear would be useful for the assessment.
- Commercial species, carnivores, piscivores, herbivores, parrotfish, surgeonfish and serranids were significantly more abundant in the Longogori Marine Reserve than outside of the reserve on the barrier reef. These results were consistent with previous studies.
- A two-step monitoring protocol was recommended: a) a survey covering the entire lagoon every 6 year; and b) an annual survey focusing on selected fishing grounds and a reference protected site.

Fish ; Habitat ; Underwater video ; STAVIRO ; Monitoring and assessment ; Biodiversity ; Coral reefs ; MPA ; Natural Marine Park of Mayotte ; Western Indian Ocean ; Indicator ; Dashboard ; PAMPA