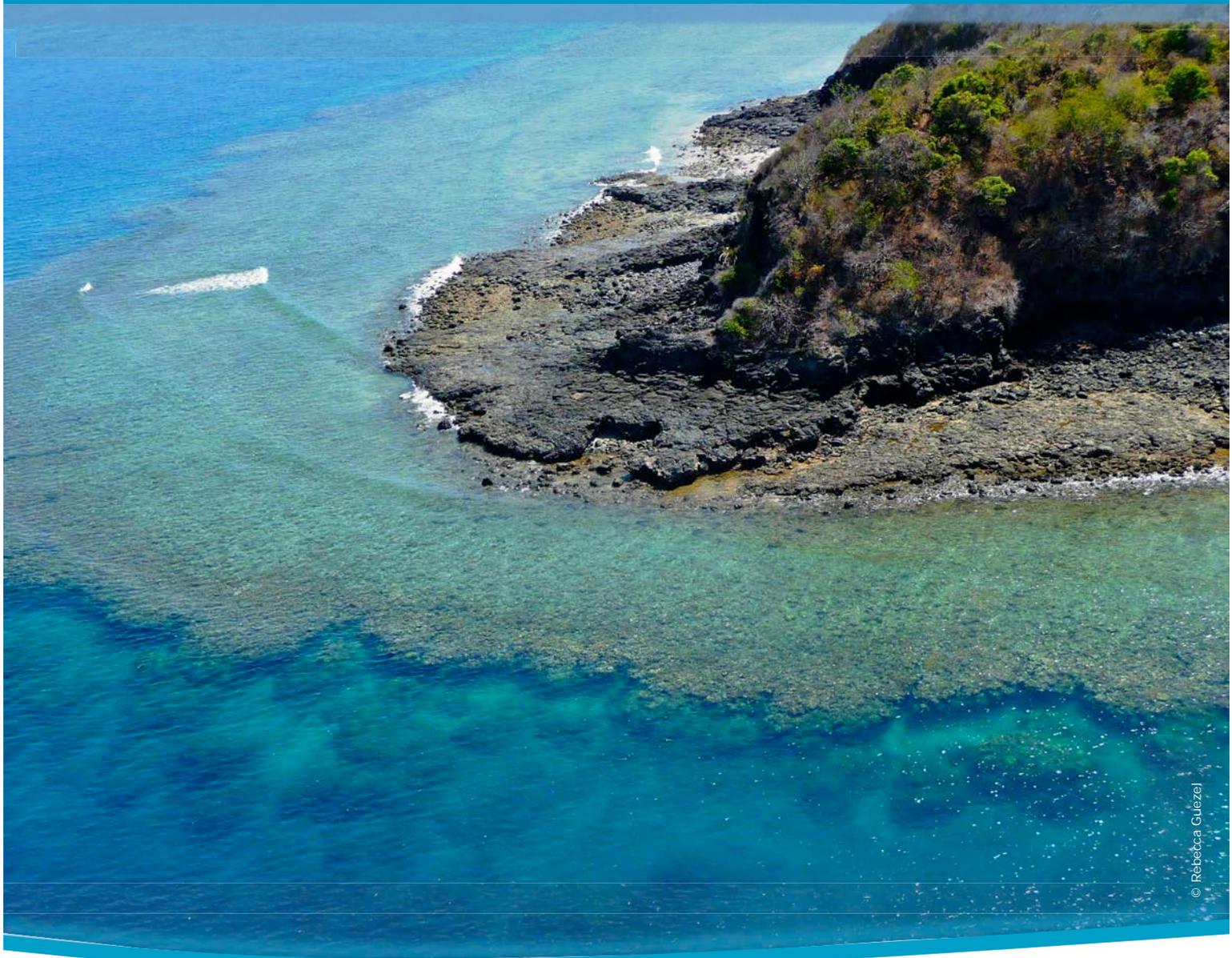


Evaluation du milieu naturel

ETAT DE SANTE DES RECIFS FRANGEANTS DE LA GRANDE TERRE ET DES ILOTS DU LAGON DE MAYOTTE

RAPPORT FINAL
Septembre 2013

Situation en 2012 et analyse de l'évolution
spatiale et temporelle depuis 1989





A citer sous la forme :

PARETO (2013) : Etat de santé des récifs frangeants de la Grande Terre et des îlots du lagon de Mayotte. Situation en 2012 et analyse de l'évolution spatiale et temporelle depuis 1989. Rapport PARETO/GIS LagMay, 60 pages + annexes.

Mission de service pour le compte du Parc Naturel Marin de Mayotte (PNMM)



Agence des aires marines protégées
Parc Naturel marin de Mayotte
14 Lot Darin Montjoly-Iloni
97660 Dombéni
Mayotte



PARETO Ecoconsult. Agence Réunion.
16, rue Albert Lougnon, 97490 SAINT-CLOTILDE (Réunion)
Tél : 02 62 28 39 08
julien.wickel@paretoec.fr



GIS LagMay
Centre d'Océanologie de Marseille
Station marine d'Endoume
Chemin de la batterie des lions
13007 Marseille
ba.thomassin@wanadoo.fr

Rédaction :

Julien Wickel, Esther Sabin, Bernard-Armand Thomassin, en coll. Michel Pichon

Traitements statistiques :

Mathieu Pinault

Expertises terrain :

Alban Jamon, Julien Wickel

Contrôle qualité :

Jean-Benoît Nicet, Jean-Pascal Quod

– Sommaire –

1	CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	8
1.1	CONTEXTE DE L'ETUDE	8
1.2	OBJECTIFS	9
2	PRESENTATION DU SITE D'ETUDE	10
2.1	LOCALISATION DU SITE D'ETUDE	10
2.2	GEOMORPHOLOGIE DES RECIFS ETUDIES	12
3	METHODOLOGIES	13
3.1	ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE	13
3.2	RECUEIL DE DONNEES COMPLEMENTAIRES SUR LE TERRAIN	13
3.2.1	METHODE D'OBSERVATION	13
3.2.2	DESCRIPTEURS RELEVES	15
3.3	ANALYSE ET TRAITEMENT DES DONNEES	18
3.3.1	SECTORISATION DU LITTORAL	18
3.3.2	CARTOGRAPHIE DES OBSERVATIONS DE TERRAIN	18
3.3.3	TRAITEMENTS STATISTIQUES DES DONNEES DE RECOUVREMENT CORALLIEN	20
3.3.4	ANALYSE PHOTOGRAPHIQUE (OBJECTIF 5)	22
4	RESULTATS	24
4.1	ANALYSE DE L'ETAT DE SANTE DES RECIFS FRANGEANTS DE LA GRANDE TERRE	24
4.1.1	ETAT DES LIEUX EN 2012	24
4.1.1.1	Description par complexe récifo-lagonaire	26
4.1.1.2	Description par secteur récifal	27
4.1.1.3	Description des communautés benthiques dominantes	29
4.1.2	EVOLUTION SPATIALE ET TEMPORELLE DE LA COUVERTURE CORALLIENNE	30
4.1.2.1	Evolution de la couverture corallienne par complexe depuis 1989	30
4.1.2.2	Evolution de la couverture corallienne par secteur entre 2004 et 2012	32
4.2	ANALYSE DE L'ETAT DE SANTE DES RECIFS FRANGEANTS D'ILOTS	34
4.2.1	ETAT DES LIEUX EN 2012	34
4.2.1.1	Description par îlot	34
4.2.1.2	Description des communautés benthiques dominantes	37
4.2.2	EVOLUTION DE LA COUVERTURE CORALLIENNE ENTRE 2006 ET 2012	38
4.3	COMPARAISON DES RECIFS FRANGEANTS DE GRANDE TERRE VERSUS ILOTS	41
5	DISCUSSION	44
5.1	SYNTHESE DES RESULTATS DE LA CAMPAGNE 2012	44
5.2	EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES COUVERTURES EN SCLERACTINIENNES: LES EFFETS DE L'HYDRODYNAMISME ET DE L'ANTHROPISEMENT DES LITTORAUX (PAR B.A THOMASSIN)	45
5.3	VERS UNE MODIFICATION DE LA COMPOSITION DES PEUPELEMENTS CORALLIENS ?	50
5.3.1	MODIFICATION DES COMMUNAUTES DE CORAUX DOMINANTES AU COURS DU TEMPS	50
5.3.2	LES COMMUNAUTES QUI SE DEVELOPPENT SUR LES RECIFS FRANGEANTS SERAIENT PLUS RESISTANTES A CERTAINS STRESS	51

5.3.3	LE DEVELOPPEMENT DES ESPECES ROBUSTES EST FAVORISE INDIRECTEMENT PAR L'AUGMENTATION DES PRESSIONS HUMAINES	53
5.4	EN RESUME	54
<u>6</u>	<u>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES</u>	<u>56</u>
<u>7</u>	<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	<u>57</u>
<u>ANNEXES</u>		<u>61</u>

Sigles et abréviations

AAMP	Agence des Aires Marines Protégées
CoReMo	Coral Reef Monitoring
CPCe	Coral Point Count with exel extension
DAF	Direction de l'Agriculture et de la Forêt
GCRMN	Global Coral Reef Monitoring
GIS	Groupeement d'Intérêt Scientifique
GPS	Global Positioning System (Positionnement par Satellite)
IDH	Intermediate Disturbance Hypothesis
ORC	Observatoire des Récifs Coralliens
PNMM	Parc Naturel Marin de Mayotte
RC	Reef Check
SEF	Service Environnement et Forêt
SPEM	Service des Pêches et de l'Environnement Marin

Illustrations

Figure 1 : vue aérienne du récif frangeant au niveau de la plage « du Préfet » sur la face Nord du cap Douamougno	9
Figure 2 : localisation de Mayotte dans le bassin sud-ouest océan Indien (source : AAMP)	10
Figure 3 : localisation des récifs frangeants étudiés lors du suivi 2012	11
Figure 4 : géomorphologie des récifs frangeants étudiés et zone d'observation (source : Jeanson, 2009)	12
Figure 5 : (a) bateau à fond de verre utilisé au cours de la présente campagne pour l'observation des fronts récifaux et (b) exemple de photographie prise à travers les parois de verre pour l'analyse des communautés benthiques.....	14
Figure 6 : photographies illustrant le système de cotations utilisé pour estimer le recouvrement corallien (©Julien Wickel)	17
Figure 7 : présentation des 36 secteurs récifaux et des 7 complexes récifo-lagonaires de Mayotte (Durand et Thomassin, 1992 ; Thomassin et al., 1997 ; Wickel et Thomassin, 2005).....	19
Figure 8 : photographie des peuplements benthiques du récif frangeant de Mayotte, secteur de Saziley, en cours de traitement dans le logiciel Coral Point Count ®	22
Figure 9 : carte présentant la répartition aléatoire des stations d'observations étudiées pour l'analyse de la structuration des catégories benthiques	23
Figure 10 : carte du recouvrement des fronts récifaux des récifs frangeants de Mayotte par les Scléactiniaires en 2012.	25
Figure 11 : carte présentant les groupes homogènes de recouvrement corallien (test de post-hoc NDWD).....	28
Figure 12 : histogrammes des fréquences cumulées des différentes catégories benthiques au sein de chaque cotation, récifs frangeants de Grande Terre.....	29
Figure 13 : évolution spatiale et temporelle du recouvrement des fronts récifaux en Scléactiniaires entre 1989 et 2012, récifs frangeants de la Grande Terre de Mayotte	31
Figure 14 : carte illustrant les variations du recouvrement des fronts récifaux en Scléactiniaires entre 2004 et 2012, récifs frangeants de la Grande Terre	33
Figure 15 : histogramme de la distribution des cotations de recouvrement pour chaque îlot.....	36
Figure 16 : histogrammes des fréquences cumulées des différentes catégories benthiques au sein de chaque cotation, récifs frangeants d'îlots	37
Figure 17 : histogramme des taux moyens de recouvrement en coraux (Scléactiniaires + Alcyonaires) entre 2006 et 2012, au sein de chaque îlot	39
Figure 18 : évolution spatiale et temporelle des recouvrements en coraux (Scléactiniaires + Alcyonaires) des fronts récifaux entre 2006 et 2012, récifs frangeants d'îlots (Wickel, 2006 et présente étude).....	40
Figure 19 : corrélation des couvertures coralliennes (HC) des îlots avec celles de Grande Terre en 2012	41
Figure 20 : corrélation inverse entre l'état de la vitalité corallienne (Σ cot. 3+4+5) et la densité de population « officielle» en 2012 par secteur.....	47
Figure 21 : corrélation inverse entre l'indice de vitalité corallienne (Iv) et la densité de population « officielle» en 2012 par secteur.	47

Figure 22 : dendrogramme entre les différentes variables « anthropiques » et une estimation de l'hydrodynamisme par secteur	48
Figure 23 : dendrogramme des différents secteurs en fonction des variables : estimation de l'hydrodynamisme, vitalité corallienne (Σ cot. 3+4+5 et I.v.) et autres variables « anthropiques » et « molysmologiques »	48
Figure 24 : évolution du recouvrement corallien des fronts récifaux frangeants entre 2004 (GT)-2006 (ilots) et 2012 (GT et ilots), complexe récifal de Mzamboro-Choizil.	52
Figure 25 : distribution relative des communautés coralliennes au sein de chaque cotation, récifs frangeants de la Grande Terre (présente étude)	53
Figure 26 : Synthèse des dynamiques récifales observées sur les récifs frangeants de Grande Terre (photos ©Julien Wickel)	55
Figure 27 : illustration de la théorie de l'intermediate disturbance hypothesis (Connell, 1978).	55

Tableaux

Tableau 1 : description du système de cotations utilisé pour l'estimation du recouvrement corallien lors de la présente étude et pour les suivis antérieurs (adapté à partir de la cotation de Dahl, 1981)	16
Tableau 2 : catégories benthiques prises en compte lors de l'analyse CPCe.....	22
Tableau 3 : synthèse des données de recouvrement par les Scléactiniaires des fronts récifaux frangeants de la Grande Terre, par secteur récifal et complexe récifo-lagonaire, en 2012.....	24
Tableau 4 : synthèse des données de recouvrement par les Scléactiniaires des fronts récifaux frangeants de la Grande Terre, par complexe récifo-lagonaire, entre 1989 et 2012.....	30
Tableau 5 : évolution des taux moyens de recouvrement en Scléactiniaires par secteur entre 2004 et 2012, récifs frangeants de la Grande Terre. Les p-values affichées sont obtenues à partir de tests non paramétriques de Kruskal-Wallis au sein de chaque secteur.	32
Tableau 6 : recouvrement des fronts récifaux par les Scléactiniaires en 2012, récifs frangeants d'ilots	36
Tableau 7 : évolution des taux moyens de recouvrement en coraux (Scléactiniaires + Alcyonaires) par ilot entre 2006 et 2012, récifs frangeants d'ilots	39
Tableau 8 : présentation des 10 sites analysés lors de la comparaison des récifs frangeants Grande Terre/ilots..	41
Tableau 9 : résultats des tests Student-Newman-Keul (SNK) au sein de chaque site avec 2 facteurs : l'année et la géomorphologie	43
Tableau 10 : vitalité corallienne, degré d'hydrodynamisme et paramètres anthropiques par secteur récifal.....	46
Tableau 11 : communautés coralliennes dominantes sur les stations de récif frangeant de l'ORC avant l'épisode de bleaching de 1998.....	50
Tableau 12 : communautés coralliennes dominantes sur les stations de récif frangeant de l'ORC en 2011 (campagne ORC 8, Nicet et al., 2012)	51

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE

La « Grande Terre » de Mayotte est ceinturée, sur la plus grande partie de son littoral, par des formations récifales frangeantes¹. Les récifs frangeants étant les plus exposés aux impacts anthropiques divers venant des terres émergées, l'état de santé de leurs fronts externes s'est avéré très vite comme étant un excellent critère pour le suivi spatio-temporel de ces impacts de tous ordres :

- apports alluvionnaires liés au déboisement et à l'extension des surfaces urbanisées,
- érosion des côtes, associée dans les années 1977 à 1995 au pillage du sable des plages pour la construction de maisons en parpaings,
- grands travaux de terrassements le long des littoraux ou dans leurs proximités immédiates ; création de la route circum-insulaire de 1983 à 1989, création du port de Longoni en 1987-90, remblais divers de fronts de mer dans les villages, construction de la route R.N. 2 à travers les mangroves côtières et sur les récifs entre Mamoudzou et Passamaïnti (de 1990 à aujourd'hui),
- rejets d'eaux usées plus ou moins chargées en contaminants, les questions d'assainissement urbain ne commençant à être prises en compte qu'à partir de 1998.

Dés 1989-90, un 1er constat de l'état de vitalité des récifs frangeants de la Grande Terre est apparu utile et a été conduit conjointement par le Service des Pêches et de l'Environnement Marin de la Direction de l'Agriculture et de la Forêt (DAF/SPEM) de Mayotte et le Centre d'Océanologie de Marseille (Durand et Thomassin, 1992). De façon à ce que les changements marquants, à l'échelle de l'île, puissent être cartographiés aisément, et en s'inspirant d'études de monitoring réalisées dans d'autres îles tropicales ceinturées de récifs frangeants, une périodicité initiale de 7 ans a été retenue pour réaliser régulièrement ce type d'étude (Thomassin, comm. pers.).

En octobre 1997, était réalisée la 2nde étude de ce type (Thomassin et *al.*, 1998). Elle différait de la première campagne de 1989 par certains aspects. Une méthode de cotation légèrement différente de celle employée en 1989-90 était utilisée afin de mieux cibler les zones dégradées (utilisation d'une nouvelle cotation pour les recouvrements coralliens allant de 1 à 5 % du substrat).

En 2004, était réalisée la 3^{ème} campagne de suivi des récifs frangeants de l'île (Wickel et Thomassin, 2005) dans le cadre de l'Observatoire des Récifs Coralliens de Mayotte (O.R.C.) créé fin 1998 et dont la coordination était assurée par le Service Environnement de la Direction de l'Agriculture et de la Forêt (DAF/SEF).

En 2012, dans le cadre des activités de monitoring des écosystèmes marins de l'île coordonnées par le Parc Naturel Marin de Mayotte (PNMM), le bureau d'études PARETO Ecoconsult a été sollicité pour réaliser en collaboration avec le GIS LagMay la présente étude qui constitue la 4^{ème} campagne du suivi de l'état de santé des récifs frangeants de Mayotte. Cette campagne intègre en complément les formations récifales frangeantes qui ceinturent l'ensemble des îlots du lagon, et dont le suivi de la vitalité a été initié en 2006 (Wickel, 2006).

¹ Pour la terminologie récifale utilisée, on se référera à l'ouvrage de référence de langue française (mais avec traduction des termes en anglais, allemand et russe) : BATTISTINI *et al.*, 1975. *Eléments de terminologie récifale indopacifique. Téthys*, Suppl. 7 (1) : 1-111.

1.2 OBJECTIFS

L'objectif général de la présente étude est de poursuivre le suivi de l'état de santé des récifs frangeants initié en 1989 pour la Grande Terre et, en 2006, pour les îlots du lagon de Mayotte.

Le travail développé dans le cadre de cette étude va permettre en outre une standardisation de la méthodologie d'étude de l'état de santé des récifs frangeants de Mayotte. En effet, jusque là, deux techniques d'observations étaient employées : (i) l'une pour les récifs de Grande Terre d'une part, et (ii) l'autre pour les récifs d'îlots d'autre part. Cette année, la même méthode est étendue à l'ensemble des récifs frangeants de l'île (cf. partie méthode de recueil de données sur le terrain).

Les objectifs spécifiques de l'étude sont les suivants :

- Objectif 1 : Dresser le bilan 2012 des taux de recouvrement corallien des fronts récifaux sur la Grande Terre et sur les grands îlots émergés du lagon,
- Objectif 2 : Analyser la dynamique spatio-temporelle de la couverture corallienne depuis le début respectif des suivis complets réalisés tout autour de l'île,
- Objectif 3 : Confirmer (ou infirmer) s'il existe un lien entre l'état de santé des récifs frangeants de Grande Terre et celui des îlots,
- Objectif 4 : Interpréter les dynamiques récifales constatées depuis le début du suivi,
- Objectif 5 : Décrire la structuration des catégories benthiques dominantes sur ces récifs en 2012.



Figure 1 : vue aérienne du récif frangeant au niveau de la plage « du Préfet » sur la face Nord du cap Douamoungo

Depuis les terres émergées vers le lagon : plage de galets de basalte ou plage de sables carbonatés, platier récifal relativement homogène et ébauche de front récifal et de pente externe supérieure en contreforts et vallons.

2 PRESENTATION DU SITE D'ETUDE

2.1 LOCALISATION DU SITE D'ETUDE

Mayotte constitue la plus vieille île de l'archipel des Comores, dans le canal du Mozambique. Mayotte est formée de deux îles principales, Grande Terre et Petite Terre, ainsi que d'une trentaine d'îlots localisés dans le lagon (Figure 2).

Le complexe récifo-lagonaire de Mayotte, le plus vaste de la partie occidentale de l'océan Indien, est composé de différents types géomorphologiques de récifs : récif barrière, récifs internes (dont une double barrière) et récifs frangeants. La présente étude ne traite toutefois que des récifs frangeants qui se développent autour de la Grande Terre et des îlots du lagon. Sur la trentaine d'îlots présents, seuls 10 îlots ou groupements d'îlots sont concernés (Figure 3). Ces « véritables » îlots ont été isolés géographiquement de la Grande Terre lors de la remise en eau du lagon, lors de la transgression Holocène, donc il y a seulement quelques millénaires ; ainsi, une discontinuité existe aujourd'hui entre le platier récifal de l'îlot *sensu stricto* et la côte de la Grande Terre (même si certains îlots – Mtsongoma, Andrema ou les Choizil -, ne sont que les prolongements de caps de celle-ci, ayant eux-mêmes leurs origines dans d'anciennes coulées volcaniques de fonds de vallées, ceci du fait du « relief inversé » de l'île visible aujourd'hui - Thomassin, 1991).

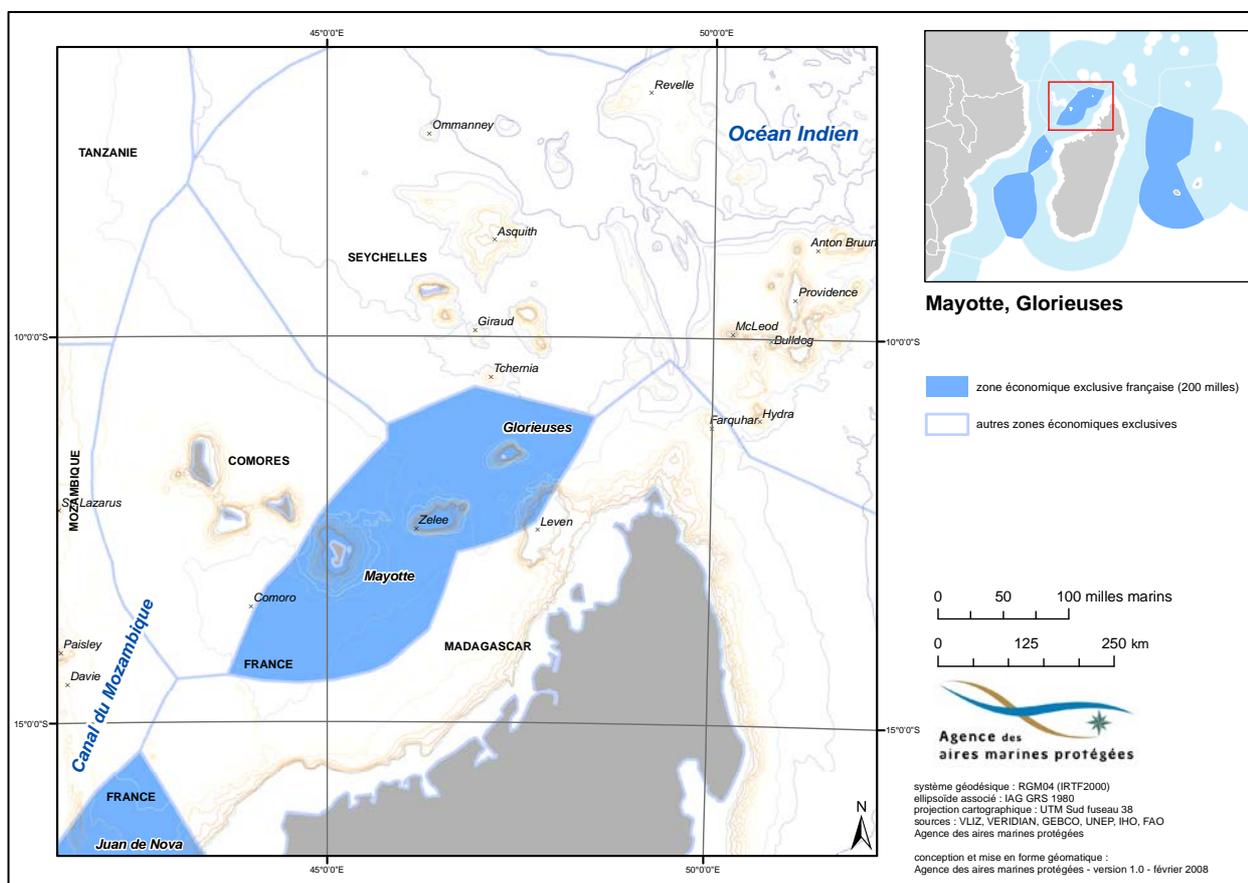


Figure 2 : localisation de Mayotte dans le bassin sud-ouest océan Indien (source : AAMP)

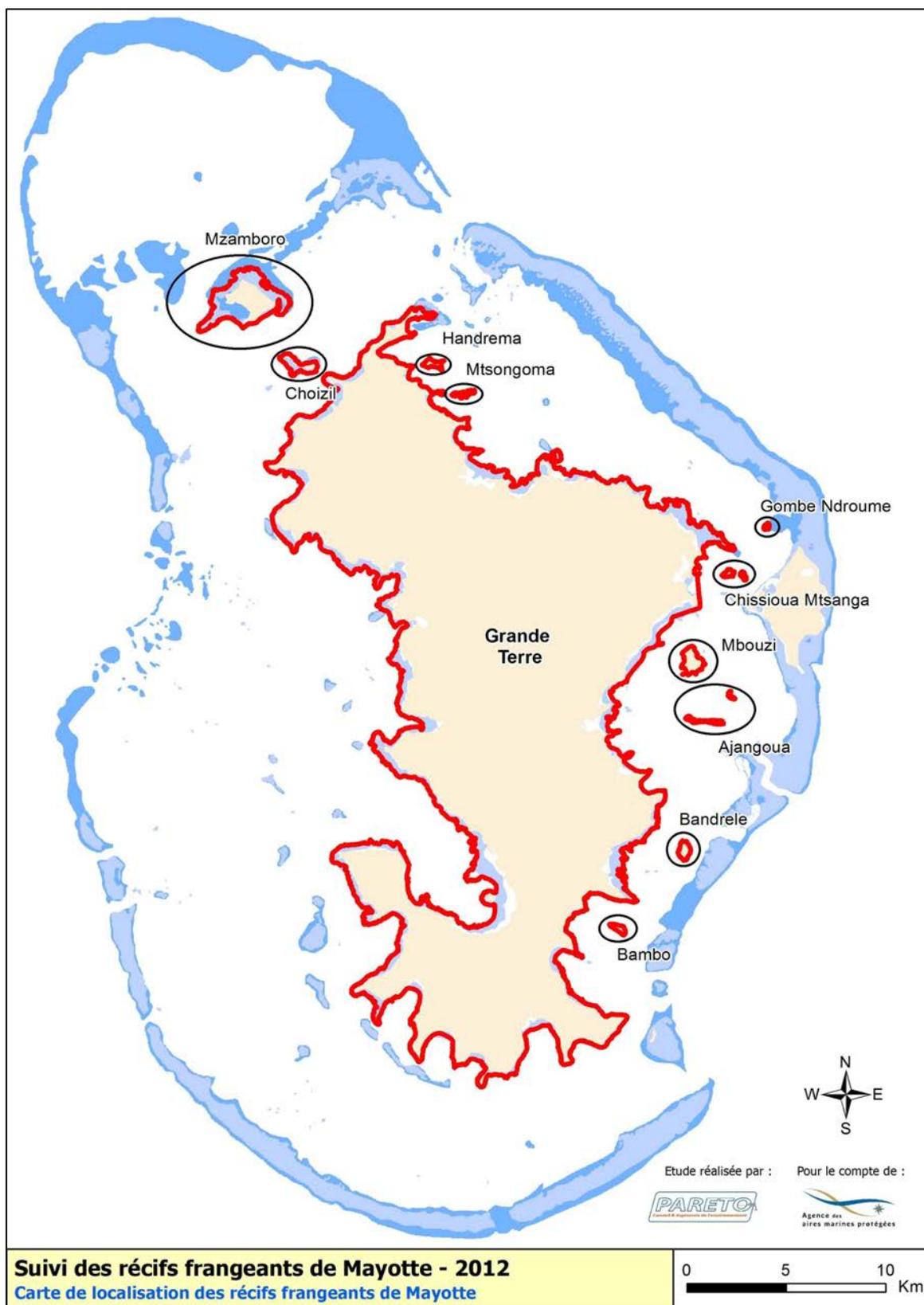


Figure 3 : localisation des récifs frangeants étudiés lors du suivi 2012

2.2 GEOMORPHOLOGIE DES RECIFS ETUDIES

Les récifs frangeants, larges de 50 à 800 m selon les sites, ceignent l'ensemble de l'île et les différents îlots de Mayotte. Ils sont parfois interrompus à l'embouchure des rivières les plus importantes, en fond de baies, laissant alors place à un milieu essentiellement vaseux. D'un point de vue géomorphologique, les récifs frangeants peuvent être décomposés, du trait de côte vers le large, en trois entités principales : le platier récifal (plus ou moins structuré), le front récifal et la pente externe.

La zone géomorphologique du récif frangeant qui sera considérée dans cette étude est le front récifal *sensu lato* (Figure 4).

Le front récifal se trouve dans la continuité du platier à accumulation détritique, à une profondeur similaire ou légèrement moindre. Il correspond à la rupture de pente entre le platier récifal, large parfois de plusieurs centaines de mètres, et la pente externe, qui se présente le plus souvent autour de la Grande Terre et des îlots sous la forme d'un tombant vertical ou sub-vertical, d'une hauteur variant de 2 à 10 m.

Ce front montre un aspect ondulé, formant des rentrants et des avancées de quelques centaines de mètres (au droit des vallons ou des crêtes) caractéristiques des récifs de mode calme (Thomassin et *al.*, 1998). Il s'agit de la zone du récif frangeant où la bioconstruction est la plus active en raison de l'hydrodynamisme et de l'oxygénation plus importants liés au déferlement des vagues lagonaires lors des basses mers. Il s'agit de la zone de progradation vers le large du récif, d'où l'intérêt de l'avoir choisie pour estimer l'état de santé de ces récifs coralliens.

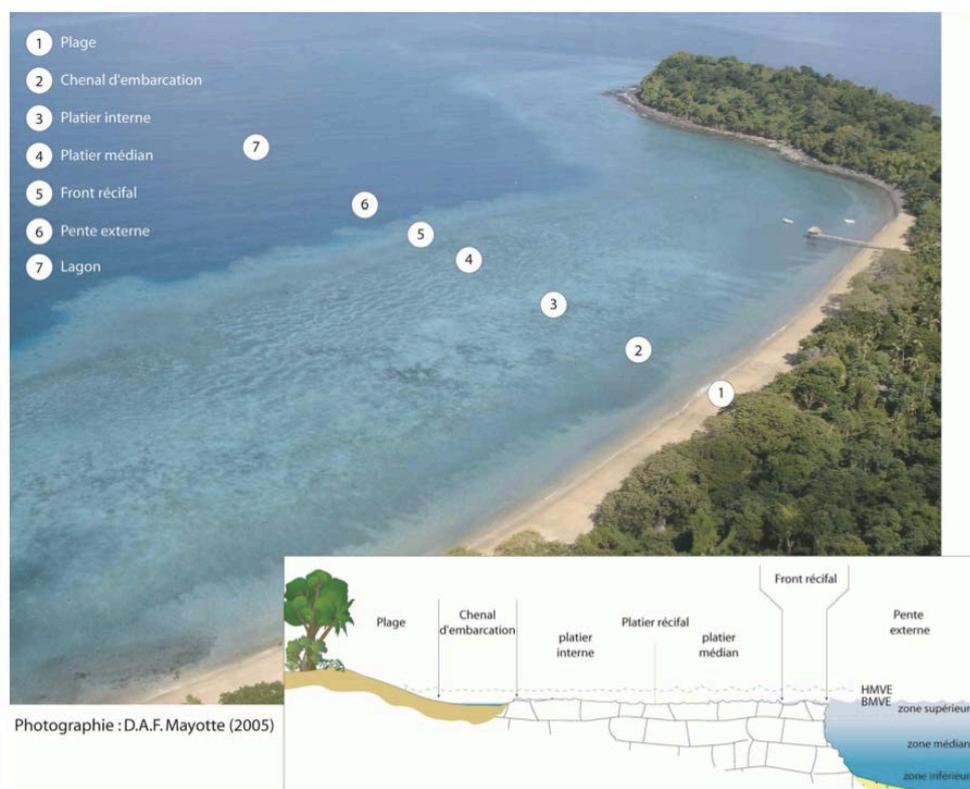


Figure 4 : géomorphologie des récifs frangeants étudiés et zone d'observation (source : Jeanson, 2009)

3 METHODOLOGIES

3.1 ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

Dans un premier temps, les recherches bibliographiques ont permis de centraliser les anciennes données de recouvrement corallien sur les fronts récifaux étudiés et de faire le point sur les différentes techniques de terrain mises en œuvre lors des campagnes précédentes.

Puis, dans un second temps, un recueil de données transversales a permis de mieux appréhender l'évolution constatée de la couverture corallienne des fronts récifaux en 2012 et d'appuyer les hypothèses formulées quant aux facteurs pouvant influencer l'évolution de l'état de santé des fronts récifaux frangeants :

- les facteurs « naturels et climatiques », tels (i) la baisse du niveau « zéro » de la courbe des marées à Dzaoudzi, (ii) le fait que les étales de basses-mers sont plus longues au Sud de Mayotte qu'au Nord, et qu'enfin (iii) on observe depuis une 15aine d'années une hausse du niveau moyen de la mer de l'ordre de 4 mm/an (Thomassin, 2004 ; Jeanson, 2009),
- les facteurs « naturels et climatiques », tels les incidences des épisodes de blanchissement (bleaching) et de mortalité massive des peuplements coralliens dues à des périodes de température des eaux trop élevées (le plus souvent en fin de saison chaude – de mars à juin -) et leurs facultés de récupération ou résilience,
- les facteurs « artificiels », tels les modifications de la qualité des masses d'eau baignant ces littoraux, souvent en relation avec l'anthropisation générale de la Grande Terre et de la face Ouest et Nord de Petite Terre et le développement de grandes conurbations telles celles de :
 - sur la « Grande Terre » : (1) Tsoundzou-Passamaïnti-Doujani-Mtsapéré-Mamoudzou-Majikavo Koropa-Majikavo Lamir-Koungou-Trevani-Kangani-port de Longoni, sur toute la côte Est et Nord-Est ; (2) Iloni-Dembéni-Tsararano, sur la côte Est centrale ; (3) Mtsamboro-Hamjago- Mtsahara, sur la côte Nord ; (4) Mtsangamouji-Chembenyoumba sur la côte Nord-Ouest ; (5) Sada-Chiconi-Sohoa, sur la côte Sud-ouest centrale; (6) Poroani-Mirereni-Chirongui- Tsimkoura au fond de la baie de Bouéni ; (7) Ngouja-Kani Kely-Kani Bé, sur la côte Sud- ouest ;
 - sur la « Petite Terre » : (8) Pamandzi-Labattoir-Dzaoudzi-côte des Badamiers.

3.2 RECUEIL DE DONNEES COMPLEMENTAIRES SUR LE TERRAIN

3.2.1 Méthode d'observation

Lors de la présente étude, l'observation visuelle des fronts récifaux s'est faite directement depuis un bateau à fond de verre (Figure 5). Cette méthodologie représente une alternative intéressante puisqu'elle permet de combiner les avantages liés à chacune des deux techniques précédemment utilisées (bathyscope pour le suivi des récifs frangeants de la Grande Terre de 1989, 1997 et 2004 ; manta-tow pour le suivi des récifs frangeants d'îlots en 2006), tout en garantissant une méthode reproductible sur le long terme. En effet, l'utilisation d'un bateau à fond de verre permet d'effectuer en continu l'observation des peuplements coralliens et ainsi de faciliter la détection d'un changement dans leur composition ou d'un profil atypique entre les points relevés. De plus, l'observation simultanée par plusieurs personnes présentes sur le bateau permet aux différents observateurs de confronter leurs estimations tout en assurant leur sécurité. Enfin, en termes de rendement, une telle embarcation assure la réalisation journalière d'une couverture de terrain

plus importante, car un nombre de stations plus important peut être relevé en une même unité de temps. L'ensemble des récifs frangeants a été parcouru en 19 jours, entre novembre 2012 et janvier 2013². Les relevés sont effectués le plus souvent à marée haute, afin d'avoir un minimum de 1,50m d'eau sur les récifs pour le passage du bateau.

L'observation et l'estimation des taux de recouvrement corallien avec cette embarcation sont par ailleurs comparables avec les campagnes de recensement précédentes. Toutefois, afin de valider l'adéquation entre l'ancienne méthodologie (bathyscope en 1989, 1997 et 2004) et la nouvelle (bateau à fond de verre), les premières observations lors de la phase terrain ont été effectuées avec les deux techniques pour attribuer les cotations et les comparer.

Par ailleurs, plusieurs observateurs sont intervenus lors des campagnes de suivis :

- 1989 : BA. THOMASSIN et D. DURAND (alors formé à ce type d'observation),
- 1997 : BA. THOMASSIN, M. PICHON, C. MARSCHAL et JC. FERTILLE,
- 2004 : J. WICKEL, formé à ce type d'observation par B.A. THOMASSIN,
- 2012 : A. JAMON, formé à ce type d'observation par J. WICKEL.

Pour pallier au fait que les observateurs n'aient pas toujours été les mêmes, des « intercalibrations » entre certains de ces observateurs ont été préalablement réalisées, ceci afin d'estomper la « variabilité » des observations due aux observateurs eux-mêmes. Dans le cadre de la présente campagne, une intercalibration a été réalisée entre J. WICKEL et A. JAMON par une comparaison dans l'attribution des cotations d'après un échantillon photographique représentatif (n=40) obtenu lors d'une phase test.

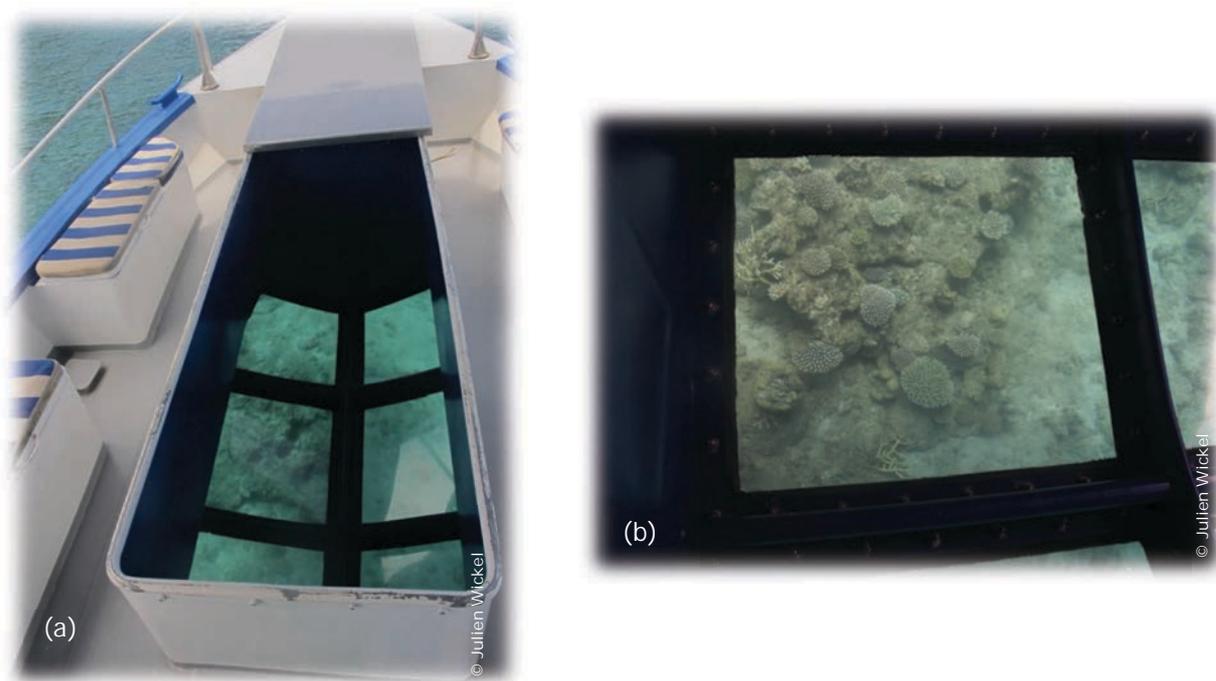


Figure 5 : (a) bateau à fond de verre utilisé au cours de la présente campagne pour l'observation des fronts récifaux et (b) exemple de photographie prise à travers les parois de verre pour l'analyse des communautés benthiques

² Pour une meilleure lisibilité, et bien que les derniers relevés de terrain de cette campagne ont été réalisés au début de l'année (janvier) 2013, la désignation « campagne 2012 » prévaut dans le présent rapport.

3.2.2 Descripteurs relevés

L'objectif de ce suivi étant d'obtenir rapidement une indication de l'état de santé des récifs frangeants de l'ensemble de l'île, les descripteurs choisis présentent l'avantage d'être rapides à appréhender de façon à parcourir une grande surface en un temps réduit, tout en restant fiables au vu du nombre très important d'échantillons.

A bord de l'embarcation, le front récifal est suivi sur toute sa longueur autour de l'île et des îlots. Un arrêt est réalisé tous les 20 à 30 m environ, voire 50 m lorsque les peuplements sont homogènes. A chaque station d'observation, les descripteurs suivants sont notés et consignés sur une fiche de terrain :

- Le taux de recouvrement du substrat par les coraux durs (Scléactiniaires), qui est estimé en utilisant un système de cotations à 6 classes adapté de la cotation de Dahl (Dahl, 1981). Afin d'homogénéiser les écritures du système de cotation utilisé à chaque campagne, et notamment pour les rendre compatibles avec les exigences des bases de données informatiques actuelles (format 1-2 non supporté par les systèmes de gestion de base de données de type CoReMo), un système de cotations à 6 classes est utilisé (Tableau 1 et Figure 6),
- Les espèces de coraux *sensu lato* prédominantes. Ce critère est noté lorsque la structure des peuplements est particulière ou atypique (colonies mono spécifiques à *Galaxea astreata* ou à *Porites rus*, colonies de *Millepora* (des Hydrocoralliaires), faciès à microatolls de *Porites* ou *Goniastrea*, faciès à grands *Acropora* tabulaires, faciès à *Heliopora coerulea* (un octocoralliaire calcifié), à *Goniopora*, à *Acropora palifera*, à *Seriatopora hystrix*, foules de coraux libres du genre *Fungia*, *Halomitra* ou *Herpolitha...*),
- Le taux de recouvrement du substrat en coraux mous (Alcyonaires), qui est estimé (en %),
- Eventuellement d'autres informations, d'ordre biologique ou géomorphologique, pouvant traduire des conditions environnementales ou des aléas particuliers : agrégation d'oursins réguliers (*Diadema*, *Echinotrix*, *Stomopneustes*), prolifération de coraux mous ou d'hydrides, envasement, présence d'étoiles de mer prédatrices de coraux *Acanthaster planci*, débris coralliens, zone sablo-détritique, recrutement corallien important, diversité corallienne importante, présence de déchets, etc.).

Pour chacun de ces relevés, et parallèlement aux observations relatives aux peuplements coralliens, sont réalisés :

- Le géoréférencement de la station par la prise d'un point GPS,
- L'acquisition systématique de clichés photographiques des fonds. Une photographie est prise à travers les panneaux de verre du bateau lors de chaque relevé (Figure 5b), pour dans un premier temps, effectuer un « contrôle » des observations et des attributions de cotations. Chaque image est ensuite géoréférencée par GPS et bancarisée dans le but d'effectuer *a posteriori* une analyse des communautés benthiques dominantes. Note : afin de pouvoir traiter ces photographies via le logiciel CPCe (cf. partie 3.3.4), les photographies sous-marines doivent être prises à la verticale du récif afin de disposer d'une image plane. Pour cette raison, les clichés sous-marins pris de manière « horizontale » (anciens clichés existants issus d'études diverses) n'ont pu faire l'objet de la même analyse.

Tableau 1 : description du système de cotations utilisé pour l'estimation du recouvrement corallien lors de la présente étude et pour les suivis antérieurs (adapté à partir de la cotation de Dahl, 1981)

Observations	Système de cotation utilisé lors de la présente campagne	Système de cotation utilisé lors des campagnes 1997 et 2004	Système de cotation utilisé lors de la campagne 1989
Lorsque la visibilité est insuffisante: fond de baie, exutoires	ND "Non déterminée"	ND "Non déterminée"	ND "Non déterminée"
0% de recouvrement du substrat par les coraux Scléractiniaires	Cotation 0	Cotation 1	Cotation 1
Entre 1 et 5% de recouvrement du substrat par les coraux Scléractiniaires	Cotation 1	Cotation 1-2	Cotation 2
Entre 5 et 20% de recouvrement du substrat par les coraux Scléractiniaires	Cotation 2	Cotation 2	
Entre 20 et 50% de recouvrement du substrat par les coraux Scléractiniaires	Cotation 3	Cotation 3	Cotation 3
Entre 50 et 80% de recouvrement du substrat par les coraux Scléractiniaires	Cotation 4	Cotation 4	Cotation 4
> 80% de recouvrement du substrat par les coraux Scléractiniaires	Cotation 5	Cotation 5	Cotation 5



Cotation 0: 0 % de coraux vivants.

Il s'agit soit de zones « cimetières », complètement dégradées, où ne subsistent que des débris coralliens morts éparpillés, soit de zones sablo-vaseuses naturelles, comme devant des estuaires.



Cotation 1 : entre 0 et 5 % de coraux vivants.

Quelques colonies coralliennes (adultes ou recrues) vivantes au milieu des débris ou de substrats sablo-vaseux. Il s'agit soit de peuplements en phase de dégradation (envasement, ...), soit en phase de restructuration.



Cotation 2 : entre 5 et 20 % de coraux vivants

Colonies vivantes plus denses, mais toujours isolées par des zones de substrat nu. Les algues calcaires en lames les recouvrent fréquemment.



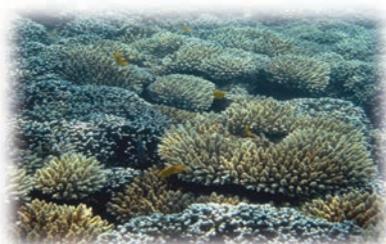
Cotation 3 : entre 20 et 50 % de coraux vivants.

Les colonies coralliennes deviennent prépondérantes. On retrouve des débris coralliens en proportion variées, des encroûtements d'algues calcaires et des zones de substrat nu.



Cotation 4 : entre 50 et 80 % de coraux vivants.

Les colonies coralliennes deviennent majoritaires et les coraux morts sont quasi-absents. Il subsiste quelques zones de substrat non colonisé.



Cotation 5 : plus de 80 % de coraux vivants.

Le peuplement est constitué uniquement de coraux durs et il est généralement diversifié (colonies multi-spécifiques).

Figure 6 : photographies illustrant le système de cotations utilisé pour estimer le recouvrement corallien (@Julien Wickel)

3.3 ANALYSE ET TRAITEMENT DES DONNEES

3.3.1 Sectorisation du littoral

Le lagon de Mayotte n'est pas homogène sur le plan hydrologique et fonctionnel. Il est constitué d'une succession de « secteurs morpho-fonctionnels » (en relation avec la topographie de la côte et les fonds du lagon, les grands courants d'eau les baignant et donc les grandes passes qui prolongent les canyons et dépressions sous-marines du lagon) qui ont des caractéristiques hydrologiques propres (temps de renouvellement des eaux, notamment). Le lagon a ainsi été divisé en 7 complexes récifaux distincts (définis par Thomassin). Ce découpage a été repris dans de nombreuses études depuis, dont le plan de gestion du lagon de Mayotte (Porcher *et al.*, 2002). Dans la présente étude, le recours à cette sectorisation vise à permettre un premier niveau de zoom pour l'analyse du taux de recouvrement corallien sur les fronts des récifs frangeants de l'île (Wickel et Thomassin, 2005).

De plus, dès le premier suivi de 1989, le pourtour de Grande Terre a été divisé en 36 secteurs pour soustraire toutes variations environnementales autres que celles dues à la situation géographique (relation avec les courants côtiers et lagonaires, les vents, les passes, les aménagements, les apports terrigènes, ...) (Durand et Thomassin, 1992) (Figure 7). Le nombre de secteurs, relativement important, permet une étude précise des variations spatiales dans le peuplement global au sein des complexes récifo-lagonaires.

3.3.2 Cartographie des observations de terrain

Les observations de terrain sont toutes affectées de coordonnées géographiques (prise d'un point GPS *in situ* en WGS 84). Ceci permet d'intégrer toutes ces observations à un système d'information géographique dans lequel on retrouve l'intégralité des observations réalisées *in situ* (taux de couverture corallienne, identifiant photo correspondant, observations diverses). Pour cela, les logiciels *Mapinfo Professional 11.0* et *ArcGis 10.0* ont été utilisés.

A partir de ces points géolocalisés, sont tracés des linéaires correspondant au front des récifs frangeants et auxquels sont attribuées les cotations de recouvrement par les coraux durs relevées sur le terrain. Le résultat obtenu est une représentation cartographique précise de la couverture corallienne sur les récifs frangeants de la Grande Terre et des îlots de Mayotte pour l'année 2012.

Afin de rendre comparable les données entre les quatre campagnes de suivi de la couverture en « coraux durs » Scléactiniaires sur les récifs frangeants de la Grande Terre, un linéaire commun aux 4 séries temporelles (1989-1997-2004-2012) a été défini. Ce linéaire correspond aux portions de fronts récifaux communes qui ont pu être observées à chaque campagne. Chaque portion pour laquelle une cotation n'a pas pu être déterminée lors d'une campagne (turbidité excessive de l'eau) est retranchée de ce linéaire commun. Pour la comparaison 2004-2012, et afin de maximiser le nombre d'observations disponibles, un linéaire commun à ces deux campagnes a été de même défini, en conservant les 6 cotations utilisées pour l'étude 2012.

Concernant le taux de recouvrement du substrat en coraux mous (Alcyonaires), ce descripteur n'était pas relevé lors des précédents suivis des récifs frangeants de la Grande Terre. Il ne sera donc pas fait ici d'analyse spécifique sur cette information, cette donnée sera valorisée dans le cadre du prochain suivi en servant de point de comparaison. Ce taux de recouvrement en coraux mous a en revanche été intégré à la couverture corallienne globale (Scléactiniaires + Alcyonaires) pour l'analyse de l'évolution des récifs frangeants des îlots, puisque les coraux mous avaient été relevés lors du point 0 (Wickel, 2006). Pour ce faire, le % de recouvrement en coraux mous a été ajouté à la valeur médiane de la cotation en corail dur (ex : valeur médiane de 12,5% pour la cotation 2 : 5-20%, à laquelle est ajoutée le % de recouvrement en corail mou). Malgré cet ajout, uniquement 3 portions de linéaire ont changé de désignation sur l'ensemble des îlots.

Ces linéaires présentant les taux géolocalisés de couverture corallienne constituent les bases de données à partir desquelles sont effectuées les analyses statistiques.



Figure 7 : présentation des 36 secteurs récifaux et des 7 complexes récifo-lagonaires de Mayotte (Durand et Thomassin, 1992 ; Thomassin et al., 1997 ; Wickel et Thomassin, 2005)

3.3.3 Traitements statistiques des données de recouvrement corallien

L'ensemble des traitements statistiques permettant de comparer les taux de recouvrement des peuplements coralliens a été mené à différentes échelles spatiales et temporelles, à l'aide du logiciel *R 2.15.1*. Les tests réalisés sont décrits ci-dessous et classés par objectifs spécifiques :

- Objectif 1 : dresser le bilan 2012 des taux de recouvrement corallien sur les récifs frangeants

Tout d'abord, le linéaire 2012 de Grande Terre a été étudié à une large échelle, celle des complexes par des représentations graphiques (*Excel 2007*). Puis à une échelle plus fine, celle des secteurs en y incorporant les îlots. Pour cela, les secteurs et îlots ont été comparés entre eux. Puisque la distribution des données ne suit pas une loi normale, le test non-paramétrique de comparaison de moyenne à 1 facteur de Kruskal-Wallis, puis le test post-hoc de Nemenyi-Damico-Wolfe-Dunn (NDWD) ont été réalisés.

- Objectif 2 : analyser l'évolution des taux de recouvrement corallien

Concernant l'évolution de la couverture corallienne entre 1989 à 2012, l'analyse s'est faite à l'échelle des complexes. Tout comme précédemment, la distribution des données ne suit pas une loi normale, c'est pourquoi il a été utilisé le test de Kruskal-Wallis suivi du post-hoc NDWD. L'objectif de cette analyse est de déterminer si les quatre suivis sont significativement différents les uns des autres, au sein de chaque complexe.

Afin d'étudier l'évolution entre 2004 et 2012, la différence entre le taux moyen de recouvrement de 2012 et celui de 2004 est calculée au sein de chaque secteur puis testée à l'aide d'un test non paramétrique de Wilcoxon (2 échantillons appariés). La même analyse est effectuée pour étudier l'évolution de chaque îlot entre 2006 et 2012.

- Objectif 3 : comparer la structure des récifs frangeants Grande Terre/îlots

Enfin, un dernier traitement statistique est effectué afin de savoir si l'évolution des récifs frangeants des îlots est en lien avec ceux des secteurs de Grande Terre adjacents, qui ont été définis sur la base de considérations courantologiques (Tableau 8). Initialement, les données brutes ne suivent pas une loi normale. L'exploration graphique permet de visualiser la distribution asymétrique des données (Annexe n°2 a et b). Cependant, cette analyse n'est pas possible avec un test non paramétrique de Friedman du fait de la présence de motifs répliqués. C'est pourquoi les données ont été transformées, dans un premier temps par une transformation logarithmique (Log base 10), puis, n'étant pas suffisante, à l'aide d'une formule de Box-Cox. Malgré les tests d'adéquation, les données demeurent non normales, mais cette dernière transformation permet un meilleur ajustement des données et une distribution symétrique (Annexe n°2 c et d). Cette condition ajoutée au nombre suffisant de réplicats rend possible l'utilisation d'une analyse de variance paramétrique suivie d'un test post-hoc de Student-Newman-Keul (SNK) sur ce jeu de données.

3.3.4 Analyse photographique (objectif 5)

L'analyse par photographie est complémentaire à celle des données de recouvrement relevées sur le terrain. En effet, elle permet d'augmenter l'efficacité de l'effort d'échantillonnage (Kohler & Gill 2006). En plus d'une validation possible des estimations réalisées *in situ*, elle a pour intérêt un suivi précis de l'évolution des peuplements avec la description de paramètres supplémentaires : le pourcentage des coraux Acropores et non Acropores, des différentes formes de coraux (branchus, tabulaires, etc.) et la nature du substrat (dur, débris, sable). Cette analyse quantitative permet de préciser statistiquement la représentativité des différentes communautés benthiques.

L'objectif de ce travail complémentaire était de disposer d'une « image » précise en 2012 de la composition quantitative des communautés benthiques correspondant à chaque degré de cotation. Pour cela, ont été choisies aléatoirement 30 photos par cotation, soit un total de 180 photographies (Figure 9), qui ont ensuite été analysées à l'aide du logiciel *CPCe 4.1* (Coral Point Count with Excel extensions). Celui-ci permet de générer, pour chaque image, une matrice aléatoire de neuf points (échantillon jugé suffisant d'après Dumas et *al.*, 2009) qui sont projetés sur la photographie (Figure 8). Les organismes désignés sont ensuite identifiés à partir des catégories benthiques préalablement définis (Tableau 2). Cette analyse photographique est effectuée d'une part sur les images des récifs de Grande Terre et d'autre part sur celles des récifs d'îlots afin de comparer la composition des communautés benthiques des 2 récifs frangeants.

Tableau 2 : catégories benthiques prises en compte lors de l'analyse CPCe

Catégorie	Code	Désignation
Peuplement benthique	ACD	Coraux Acropores digités
	ACT	Coraux Acropores tabulaires
	ACB	Coraux Acropores branchus
	MEF	Coraux non Acropores, aux formes massives, encroûtantes et foliacées
	SC	Coraux mous
Substrat	DC	Coraux morts
	RCK	Substrat dur (dalle corallienne, roche)
	S	Sable
	SI	Vase
	R	Débris coralliens

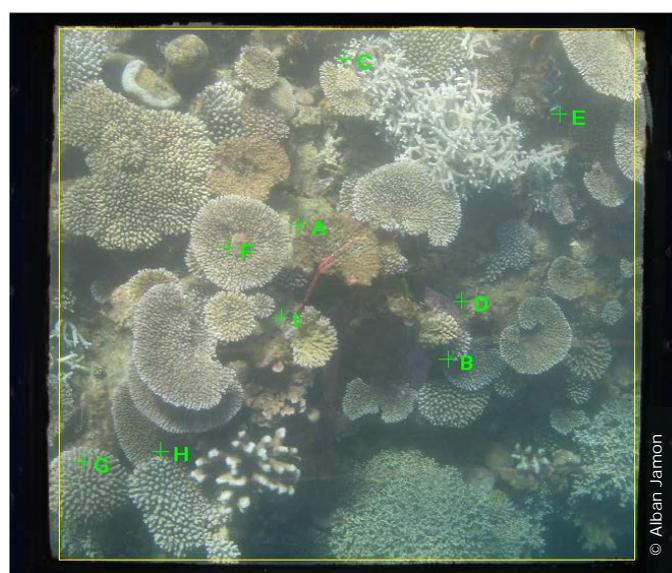


Figure 8 : photographie des peuplements benthiques du récif frangeant de Mayotte, secteur de Saziley, en cours de traitement dans le logiciel Coral Point Count ®

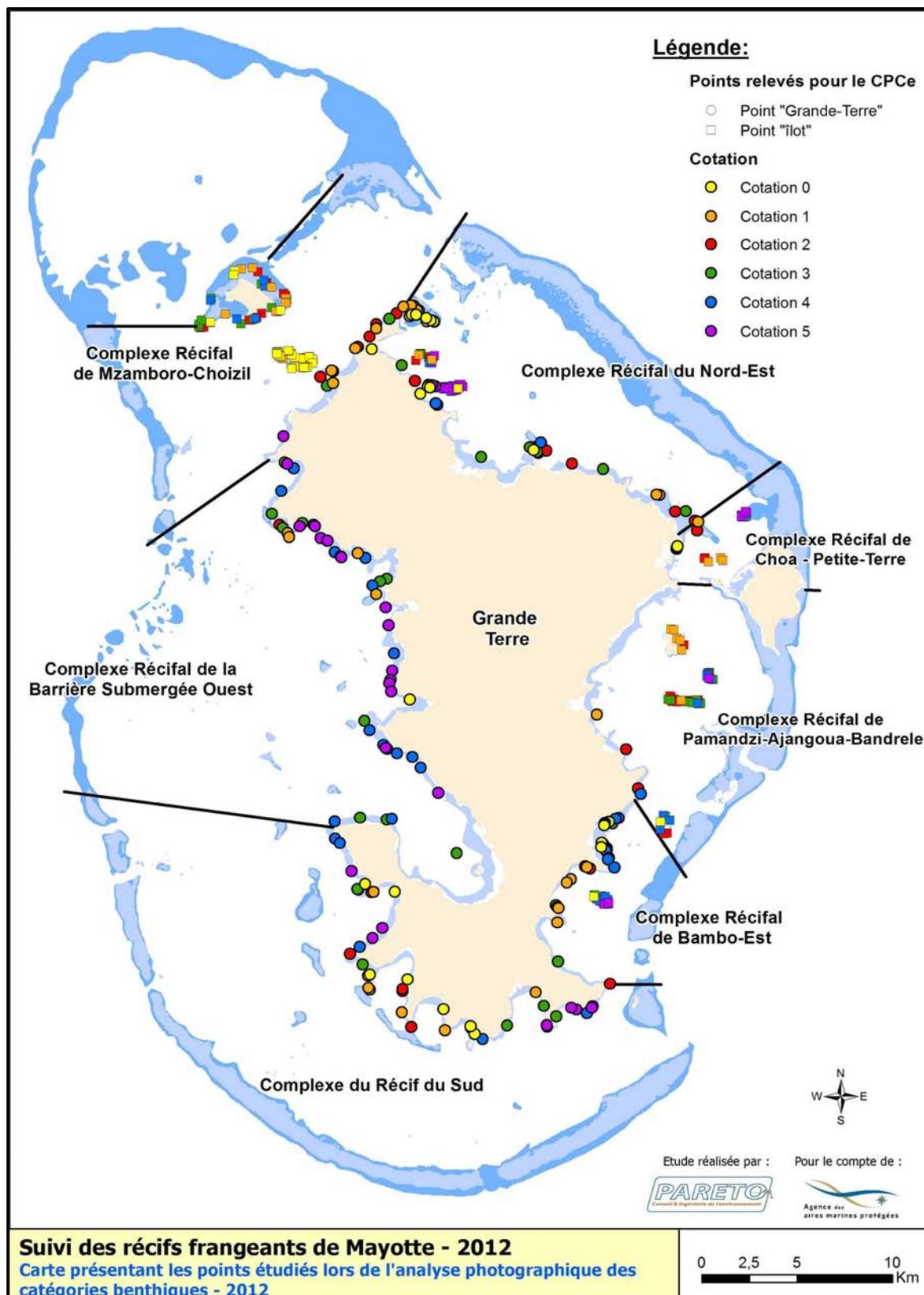


Figure 9 : carte présentant la répartition aléatoire des stations d'observations étudiées pour l'analyse de la structuration des catégories benthiques

4 RESULTATS

4.1 ANALYSE DE L'ETAT DE SANTE DES RECIFS FRANGEANTS DE LA GRANDE TERRE

4.1.1 Etat des lieux en 2012

L'ensemble des données obtenues sur Grande Terre est récapitulé dans le Tableau 3. Sur l'ensemble de Mayotte, le taux moyen de recouvrement du substrat par les Scléactiniaires est de 30 % (\pm 29%). La cotation 2 est dominante en représentant 24 % du linéaire, puis viennent les cotations 3 et 4 avec une proportion de 20 % environ. Géographiquement, le taux de recouvrement n'est pas homogène sur le pourtour de l'île (Figure 10) avec des valeurs extrêmes pour ces secteurs : 2 % (\pm 4) pour le secteur récifal de Tsoundzou et 81 % (\pm 13) pour le secteur de Sohoa. Afin de préciser les variations spatiales des taux de couvertures coralliennes, les analyses ont été faites dans un premier temps à l'échelle des complexes puis dans un second temps à l'échelle plus fine des secteurs.

Tableau 3 : synthèse des données de recouvrement par les Scléactiniaires des fronts récifaux frangeants de la Grande Terre, par secteur récifal et complexe récifo-lagonaire, en 2012

Complexe récifo-lagonaire	Secteur récifal	Linéaire de front récifal total (m)	Linéaire de front récifal observé (m)	Linéaire de front observé (%)	Recouvrement moyen en Scléactiniaires (%)	Taux de couverture en Scléactiniaires (%)					
						cot 0 0%	cot 1 1-5%	cot 2 5-20%	cot 3 20-50%	cot 4 50-80%	cot 5 >80%
Complexe récifal de Mzamboro - Choizil	Douamougno	4044	4044	100	17.8 ± 13.0	0	16,7	53,5	28,3	1,5	0
	Mzamboro	5549	5549	100	17.9 ± 13.5	0	18,1	52,5	27,5	1,9	0
	Mugini	3710	3710	100	44.3 ± 20.8	0	0,0	13,4	49,9	31,6	5,1
	Mohila	2596	2596	100	40.8 ± 33.4	0	34,1	5,3	10,4	36,2	13,9
	Total	15899	15899	100	27.8 ± 23.1	0	16,1	35,9	30,1	14,3	3,5
Complexe récifal de la Barrière Submergée Ouest	Mohila	1701	1701	100	44.5 ± 32.6	0	11,7	26,5	15,7	25,0	21,1
	Mliha	7572	7572	100	47.5 ± 28.0	0	10,3	17,1	15,0	46,8	10,7
	Chembenyoumba	7825	7825	100	60.5 ± 29.6	1,2	5,7	11,3	8,7	38,6	34,5
	Tsingoni	7891	7509	95	47.2 ± 32.7	8,1	9,3	12,9	20,1	26,4	23,2
	Sohoa	3837	3837	100	81.4 ± 12.9	0	0	0	1,2	31,8	67,0
	Chiconi	9431	9132	97	54.2 ± 29.5	4,9	6,4	8,2	16,2	41,2	23,2
	Nord Baie Boueni	7297	7297	100	43.4 ± 24.8	0,7	5,2	21,1	25,8	43,0	4,2
	Fond Baie Boueni	10400	10205	98	12.2 ± 17.7	34,6	22,1	23,1	14,1	6,1	0
	Sud Baie Boueni	3935	3935	100	11.8 ± 9.6	0	33,2	55,8	11,1	0	0
	Pte Boueni	7845	7845	100	37.8 ± 33.7	24,5	12,1	6,7	11,5	32,4	12,9
Total	67734	66859	99	42.7 ± 32.6	10,0	11,4	16,4	14,6	30,3	17,4	
Complexe du Récif Sud	Pte Boueni	8045	7933	99	41.3 ± 29.4	11,4	5,4	14,8	25,1	31,7	11,6
	N'Gouja	12090	12090	100	28.2 ± 28.1	8,0	26,7	18,4	22,9	17,3	6,7
	Bandakouini	7179	7179	100	8.1 ± 11.3	31,7	26,1	34,8	6,3	1,2	0
	Passi Kely	3395	3395	100	13.5 ± 14.3	29,3	16,3	27,1	27,2	0	0
	Charifou	7432	7432	100	26.9 ± 25.1	12,4	18,4	23,1	22,4	22,9	0,9
	Dapani	4943	4943	100	51.7 ± 28.1	11,7	2,0	1,7	22,1	46,9	15,5
	Saziley	3053	3053	100	57.6 ± 21.4	0	0	3,3	34,4	45,1	17,2
Total	46136	46024	99	30.5 ± 28.7	14,4	16,4	18,9	21,6	21,9	6,7	
Complexe Récifal de Bambo-Est	Saziley	6582	6582	100	34.6 ± 21.4	5,1	5,7	20,4	43,0	25,8	0
	Abambo	6178	6178	100	16.1 ± 15.8	17,0	24,3	24,7	32,5	1,5	0
	Mounyendre	5564	5564	100	35.2 ± 25.3	7,7	13,0	16,4	27,4	35,5	0
	Nyambadao	5961	5961	100	51.6 ± 27.4	7,7	4,3	7,6	16,5	51,5	12,4
Total	24285	24285	100	34.2 ± 25.9	9,4	11,7	17,4	30,3	28,2	3,0	
Complexe Récifal de Pamandzi-Ajangoua-Bandrele	Nyambadao	701	701	100	51.4 ± 21.3	0	0	5,4	38,6	46,4	9,7
	Hamouro	3731	3731	100	29.9 ± 23.9	13,9	10,0	19,6	31,8	24,7	0
	Ajangoua	4725	4725	100	5.0 ± 10.6	44,9	31,8	19,2	1,5	2,6	0
	Dembeni	2333	2333	100	6.8 ± 10.2	51,3	13,5	27,2	8,0	0	0
	Ironi	5132	4592	89	6.4 ± 9.0	29,9	38,7	24,5	6,8	0	0
	Tsoundzou	4766	2736	57	2.0 ± 4.2	70,9	16,6	12,4	0	0	0
	Choa	851	494	58	12.5 ± 0	0	0	100,0	0	0	0
	Total	22240	19312	87	11.7 ± 18.3	37,0	22,9	22,1	10,5	7,1	0,4
Complexe Récifal de Choa Petite Terre	Choa	2856	1706	60	9.6 ± 10.6	14,0	37,5	37,8	10,7	0	0
	Majikavo	4935	4935	100	11.6 ± 14.0	7,0	37,2	45,2	7,0	3,7	0
	Total	7792	6642	85	11.1 ± 13.2	8,8	37,2	43,3	7,9	2,8	0
Complexe Récifal du Nord-Est	Majikavo	5794	5794	100	18.6 ± 14.4	0	15,4	54,7	26,0	3,9	0
	Kangani	8880	7220	81	16.4 ± 15.9	6,5	26,6	40,1	22,5	4,2	0
	Pte Longoni	5318	4470	84	26.2 ± 17.8	1,5	8,5	37,6	42,2	10,3	0
	Baie Longoni	5993	3966	66	13.7 ± 12.7	4,8	27,5	48,4	18,2	1,2	0
	Dzoumogne	3403	2624	77	27.3 ± 23.9	15,7	7,4	29,7	24,7	22,6	0
	Bandraboua	2840	2840	100	38.2 ± 28.6	25,2	1,5	10,0	14,3	49,0	0
	Mtsangamboua	4465	4465	100	37.1 ± 28.7	4,6	2,0	36,1	27,1	17,3	13,0
	Handrema	2413	2413	100	23.5 ± 21.4	9,1	32,5	27,7	14,7	0	16,0
	Douamougno	7899	7899	100	11.4 ± 13.6	5,3	29,7	24,7	22,6	0	7,4
	Total	47006	41692	89	21.4 ± 21.0	6,5	19,1	40,5	22,1	10,4	1,5
TOTAL	231091	220713	96	30.5 ± 28.8	11,8	16,0	24,3	19,8	20,5	7,6	

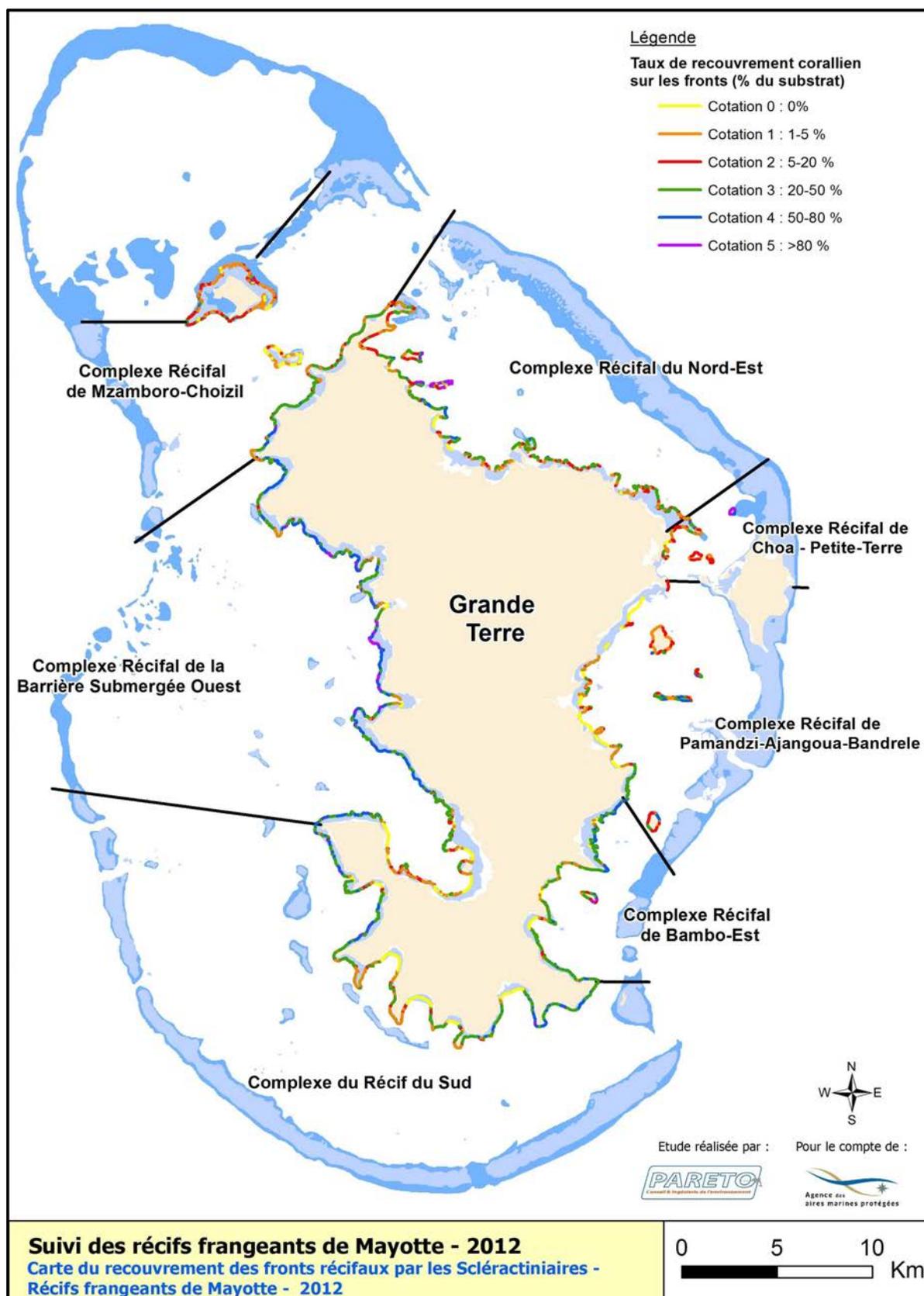


Figure 10 : carte du recouvrement des fronts récifaux des récifs frangeants de Mayotte par les Scléactiniaires en 2012.

4.1.1.1 Description par complexe récifo-lagonaire

Parmi les 7 complexes récifo-lagonaires, le complexe dont le recouvrement corallien est le plus remarquable est celui de la Barrière Submergée Ouest avec un taux moyen de 43 %. Les complexes de Bambo Est et du Récif Sud présentent une position intermédiaire avec une couverture corallienne moindre (respectivement 34 % et 30 %). Les 2 complexes les plus dégradés se situent à l'est de l'île avec 12 % de coraux vivants pour le complexe de Pamandzi-Ajangoua-Bandrele et 11 % pour le complexe de Choa-Petite Terre :

- Complexe récifal de Nord-Est (Annexe n°4) : l'ensemble de ce complexe est nettement dominé par la cotation 2 et 1. Les deux secteurs les plus vivants sont Bandraboua avec près de 50 % de cotation 4, et Mtsangamboua avec 27 % de linéaire récifal en cotation 4 et 17 % en cotation 5, ces 2 secteurs étant adjacents.
- Complexe récifal de Choa – Petite Terre (Annexe n°5) : pour le secteur de Choa, 40 % du linéaire n'ont pas pu être observés du fait d'une turbidité des eaux trop importante. Sur les fronts récifaux étudiés, le taux moyen de recouvrement corallien est de 10 % (± 11). Concernant le secteur de Majikavo, les cotations dominantes sont la cotation 1 (à 35 % environ) et la cotation 2 (45 %), ces fronts de récifs étant parmi les plus dégradés.
- Complexe récifal de Pamandzi-Ajangoua-Bandrele (Annexe n°6) : ce complexe, avec celui de Choa-Petite Terre, est l'un des plus dégradés. En effet, 75 % du linéaire présentent un recouvrement corallien inférieur à 20 %. Il faut toutefois noter qu'une partie du linéaire, notamment pour les secteurs au nord (Ironi, Tsoundzou et Choa), n'a pas pu être observée en raison de la turbidité excessive de l'eau.
- Complexe récifal de Bambo Est (Annexe n°7) : le secteur le plus remarquable de ce complexe est celui de Nyambadao, qui affiche environ 50 % du linéaire en cotation 4 et 10 % en cotation 5. Les secteurs de Saziley et Mounyendre ont des taux de recouvrement intermédiaires avec des moyennes respectives de 35% (± 21) et 35 % (± 25) de couverture corallienne. Le secteur Abambo est le moins riche avec plus de 60 % du linéaire comptant moins de 20 % en coraux vivants.
- Complexe du Récif Sud (Annexe n°8) : ce complexe, qui a un taux moyen de recouvrement de 30 % (± 29), présente une succession de baies et de pointes et une forte hétérogénéité spatiale de la couverture corallienne associée. Les secteurs les plus pauvres (secteurs N'Gouja, Bandakouni et Passi Kely), pour lesquels les cotations dominantes sont les cotations 0 et 1, se situent au centre de ce complexe. *A contrario*, aux extrémités du complexe, les cotations augmentent avec un recouvrement corallien > à 50 %, au niveau des secteurs de Pointe Boueni, Dapani et Saziley. Plus localement, on observe d'une façon générale (i) une absence de coraux vivants dans les fonds de baie et (ii) des peuplements plus développés au niveau des caps rocheux.
- Complexe récifal de la Barrière Submergée Ouest (Annexe n°9) : les fronts récifaux de ce complexe sont les plus vivants de Mayotte, du fait d'une large ouverture sur l'océan, avec près de la moitié du linéaire qui présente un recouvrement corallien supérieur à 50 % du substrat (cotation 4 et 5). Toutefois, la baie de Boueni (Fond baie Boueni et Sud Baie Boueni) contraste avec le reste du complexe, avec 80 % du linéaire qui présentent un recouvrement corallien < à 20 %.
- Complexe récifal de Mzamboro-Choizil (Annexe n°10) : la cotation 2 prédomine largement sur la partie nord-est de ce complexe (secteurs de Douamougno et de Mzamboro. A l'inverse, sur la partie sud-ouest, la cotation 3 pour le secteur de Mugini, puis la cotation 4 pour le secteur de Mohila sont majoritaires avec cependant un recouvrement corallien < à 5 % au niveau de la Pointe de Mohila, à la limite sud-ouest avec le complexe de la barrière submergée Ouest.

4.1.1.2 Description par secteur récifal

Pour une analyse à l'échelle du secteur, le test de Kruskal-Wallis est significatif ($K = 1932.66$, p -value ***), donc globalement les taux de recouvrement des secteurs sont significativement différents les uns des autres. Ensuite, le test post-hoc de Nemenyi a permis de classer l'ensemble des secteurs en 3 groupes homogènes (Figure 11 et Annexe n°3) en fonction de leurs taux moyens de recouvrement et de la distribution des cotations au sein de ces secteurs³ :

- Le 1^{er} groupe concerne les secteurs dont le taux moyen de recouvrement corallien est élevé à l'échelle de Mayotte. Il s'agit des secteurs : Sohoa, Chembenyoumba, Chiconi, Dapani, Nyambadao, Mliha, Tsingoni, Mugini, Nord Baie Boueni, Mohila, Saziley, Pointe Boueni, Mtsangamboua et Mounyendre. D'après la Figure 7, ces secteurs sont localisés majoritairement dans l'ouest de Mayotte ainsi qu'au niveau des caps au sud-est. L'ensemble de ces secteurs est significativement différent du 3^{ème} groupe où le taux moyen de recouvrement est faible,
- Le 2nd groupe concerne les secteurs de Bandraboua, N'gouja, Dzoumogne, Charifou, Pointe Longoni, Handrema et Mzamboro, qui présentent une couverture corallienne intermédiaire. Ils sont localisés dans le nord de l'île et dans le complexe récifal du Récif Sud,
- Le 3^{ème} groupe identifié regroupe les secteurs les plus dégradés de Kangani, Abambo, Majikavo, Baie Longoni, Douamougno, Passi Kely, Fond Baie Boueni, Sud Baie Boueni, Choa, Bandakouni, Dembeni, Ironi, Ajangoua et Tsoundzou. La couverture corallienne de ces secteurs ne dépasse pas les 17 %. Ils se situent globalement dans l'est de l'île et dans les fonds de baie, à l'exception de Douamougno au nord.



³ Ceci explique que le secteur Bandraboua, malgré son taux de 38 % appartienne au second groupe

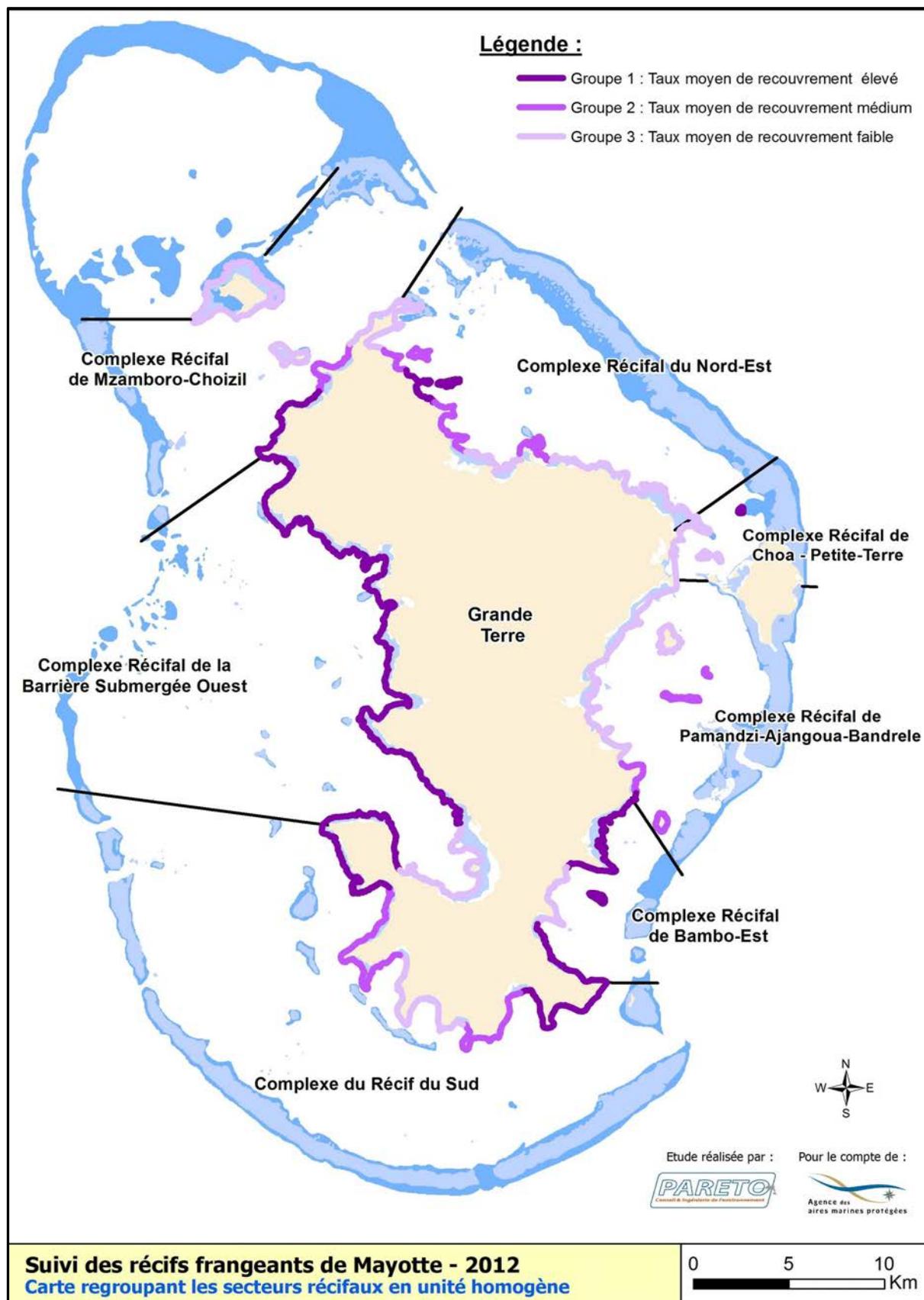


Figure 11 : carte présentant les groupes homogènes de recouvrement corallien (test de post-hoc NDWD)

4.1.1.3 Description des communautés benthiques dominantes

La Figure 12 présente la distribution relative des différentes catégories benthiques au sein de chaque cotation pour le récif frangeant de Grande Terre. Tout d'abord, la cotation 1 est composée de 85 % de substrat meuble (vase et sable) et de seulement 15 % de substrat dur. Cette cotation est majoritairement représentée au niveau des fonds de baies comme il est possible de le voir sur la Figure 10. Dans la cotation 1, le substrat meuble diminue fortement au profit du substrat dur et des débris qui sont fortement représentés. Cette proportion de débris est nettement réduite dans la cotation 2, tandis que les pourcentages en coraux durs (groupe des coraux massifs-encroûtants-foliacés ou MEF, et Acropores digités) augmentent. La cotation 3 possède globalement la même distribution relative des catégories benthiques que celle de la cotation 2, avec une plus forte présence des coraux durs et une diminution du substrat dur. La cotation 4 est représentée par une augmentation de la proportion de coraux durs avec une nette apparition des Acropores branchus et une plus forte représentativité des Acropores tabulaires. Au contraire, les débris, substrats meubles et coraux morts diminuent jusqu'à disparaître dans la cotation 5. Si la proportion de MEF ne change pas entre ces deux plus fortes cotations, la part d'Acropores tabulaires et digités est plus importante pour la cotation 5.

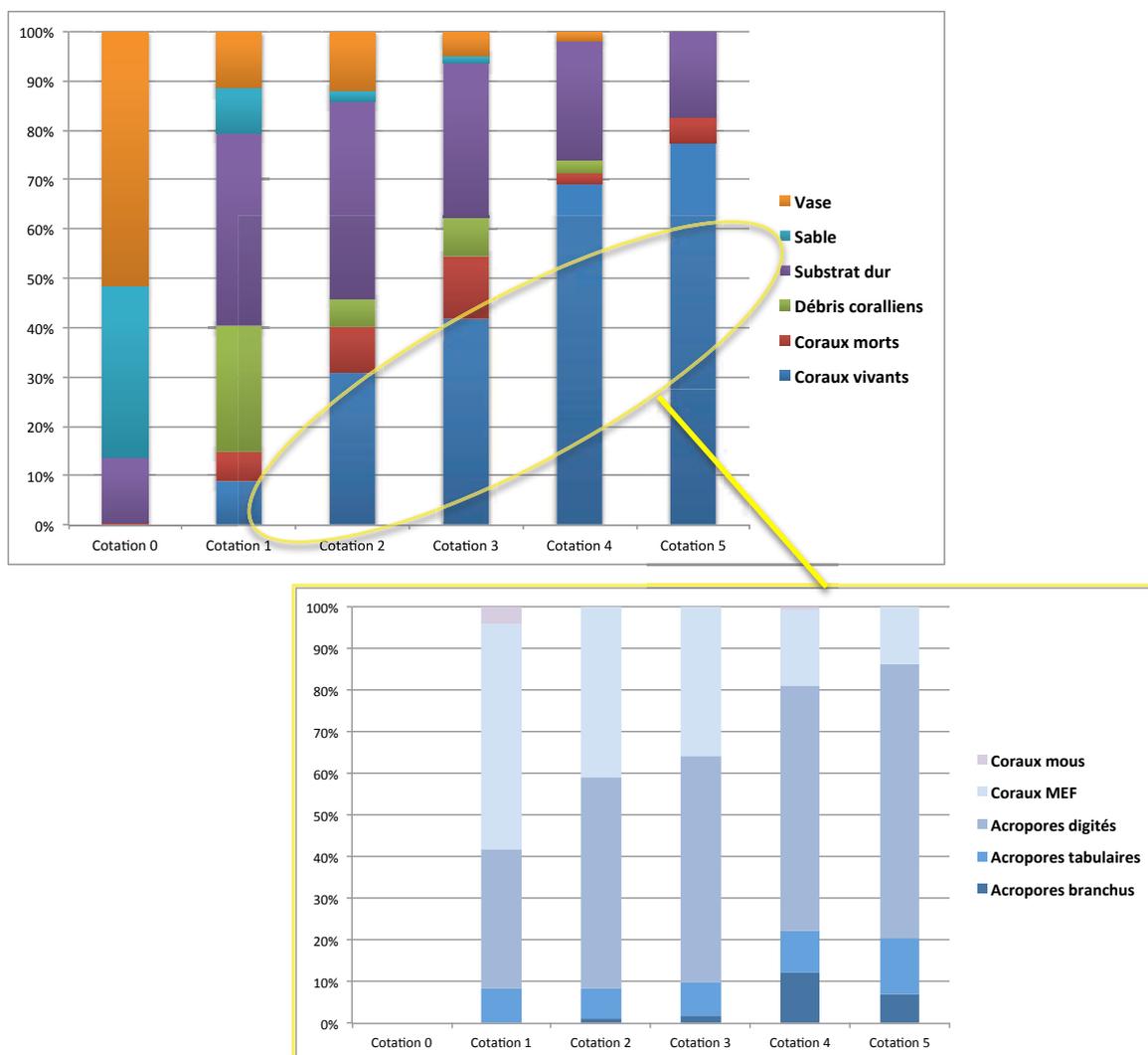


Figure 12 : histogrammes des fréquences cumulées des différentes catégories benthiques au sein de chaque cotation, récifs frangeants de Grande Terre

4.1.2 Evolution spatiale et temporelle de la couverture corallienne

4.1.2.1 Evolution de la couverture corallienne par complexe depuis 1989

A l'échelle de Mayotte, il est possible de constater une diminution de la couverture corallienne entre 1989 (41 %) et 2004 (15 %), puis une augmentation en 2012 (31 %) (Tableau 4). Le résultat du test post-hoc de Nemenyi indique que les taux de recouvrement de chacune des campagnes sont significativement différents les uns des autres. La Figure 13, présentant le linéaire des 4 suivis, permet de visualiser que cette évolution n'est pas homogène sur l'ensemble de l'île :

- Le complexe Mzamboro-Choizil, dont le recouvrement était de 77 % en 1989, a subi la plus forte régression de couverture corallienne comme le présente la Figure 13. En 2004, le recouvrement moyen n'est plus que de 6 %, alors qu'en 2012, le taux de coraux vivants ré-augmente à 26 %,
- Les complexes de la Barrière Submergée Ouest, du Nord-Est et du Sud ont évolué de façon similaire au complexe précédent mais dans une moindre mesure: diminution de 1989 à 1997-2004 puis une augmentation entre 2004 et 2012. Pour les deux premiers complexes, les 4 campagnes sont significativement différentes les unes des autres, tandis que pour le troisième (Récif Sud), le taux de recouvrement entre 1989 et 2012 est semblable,
- Le complexe de Bambo-Est, quant à lui, possède une couverture corallienne stable autour de 20 %, entre 1989 et 2004, avant d'augmenter à 34 % en 2012,
- Enfin, les complexes de Pamandzi-Ajangoua-Bandrele et de Choa-Petite Terre ont une évolution considérée comme stable entre 1989 et 2012, avec pour le premier complexe, aucune différence significative observée entre les 4 suivis. Les taux moyens de recouvrement corallien au sein de ces complexes ne dépassent que rarement les 10 % de corail vivant (cotations 1 et 2 dominantes).

Tableau 4 : synthèse des données de recouvrement par les Scléactiniaires des fronts récifaux frangeants de la Grande Terre, par complexe récifo-lagonaire, entre 1989 et 2012

Complexe	Année	Moyenne	Sd	Significativité				Taux de couverture en Scléactiniaires (%)							
				p-value	a	b	c	d	0%	1-5%	5-20%	20-50%	50-80%	>80%	
Complexe Récifal de Bambo Est	1989	20,2	24,3	p<2,2 e-16	X					25,9	47,9	5,3	20,9	0	
	1997	17,2	16,3			X					20,7	47,1	28,2	4,0	0
	2004	18,3	20,7			X					34,8	26,8	29,0	9,5	0
	2012	33,6	26,7				X				20,7	17,6	30,2	28,4	3,1
Complexe Récifal de la Barrière Submergée Ouest	1989	61,4	24,2	p<2,2 e-16			X		0	7,4	21,9	42,8	27,9		
	1997	22,1	16,9			X				13,1	39,4	42,5	5,0	0	
	2004	27,1	21,2			X				11,4	34,8	38,6	14,6	0,7	
	2012	54,2	29,3				X			6,7	13,1	16,7	40,4	23,2	
Complexe Récifal de Choa - Petite Terre	1989	8,5	4,6	p=0,001078		X			17,4	81,2	1,4	0	0		
	1997	6,7	4,7			X	X			33,0	67,0	0	0	0	
	2004	6,3	4,8			X				36,3	63,7	0	0	0	
	2012	8,7	13,9			X				49,4	40,2	7,5	3,0	0,0	
Complexe Récifal de Mzamboro - Choizil	1989	77,2	12,5	p<2,2 e-16			X		0	0	0	51,3	48,7		
	1997	30,2	12,2			X				3,6	16,7	77,5	2,2	0	
	2004	6,0	9,0				X			57,0	36,6	6,4	0	0	
	2012	26,5	24,2					X		16,1	35,9	30,1	14,3	3,5	
Complexe Récifal Nord-Est	1989	49,5	28,5	p<2,2 e-16			X		10,4	13,8	13,3	50,9	11,6		
	1997	23,2	14,2			X				26,1	53,4	17,9	2,6	0,0	
	2004	10,1	13,8				X			45,4	38,2	14,7	1,8	0	
	2012	18,8	21,5					X		26,9	41,7	20,7	9,0	1,7	
Complexe Récifal de Pamandzi - Ajangoua - Bandrele	1989	6,6	9,3	p=0,4687	X				52,3	40,6	7,1	0	0		
	1997	4,5	5,0			X				55,2	44,8	0	0	0	
	2004	7,7	12,6			X				56,7	31,4	10,7	1,2	0	
	2012	10,7	18,8			X				59,9	22,2	10,5	7,1	0,4	
Complexe du Récif sud	1989	27,9	23,0	p<2,2 e-16		X			9,2	42,2	26,4	22,2	0		
	1997	11,8	12,8			X				33,2	47,0	19,5	0,3	0	
	2004	13,0	15,5			X				35,3	42,3	19,5	3,0	0	
	2012	31,1	29,5				X			28,0	19,4	22,5	23,0	7,0	
Total	1989	40,6	31,2	p<2,2 e-16			X		12,8	26,6	15,5	32,0	13,0		
	1997	15,7	15,4			X				25,5	44,5	27,6	2,4	0	
	2004	15,1	18,1				X			35,5	36,9	21,6	5,8	0,2	
	2012	31,5	29,8					X		24,6	24,2	20,7	22,3	8,2	

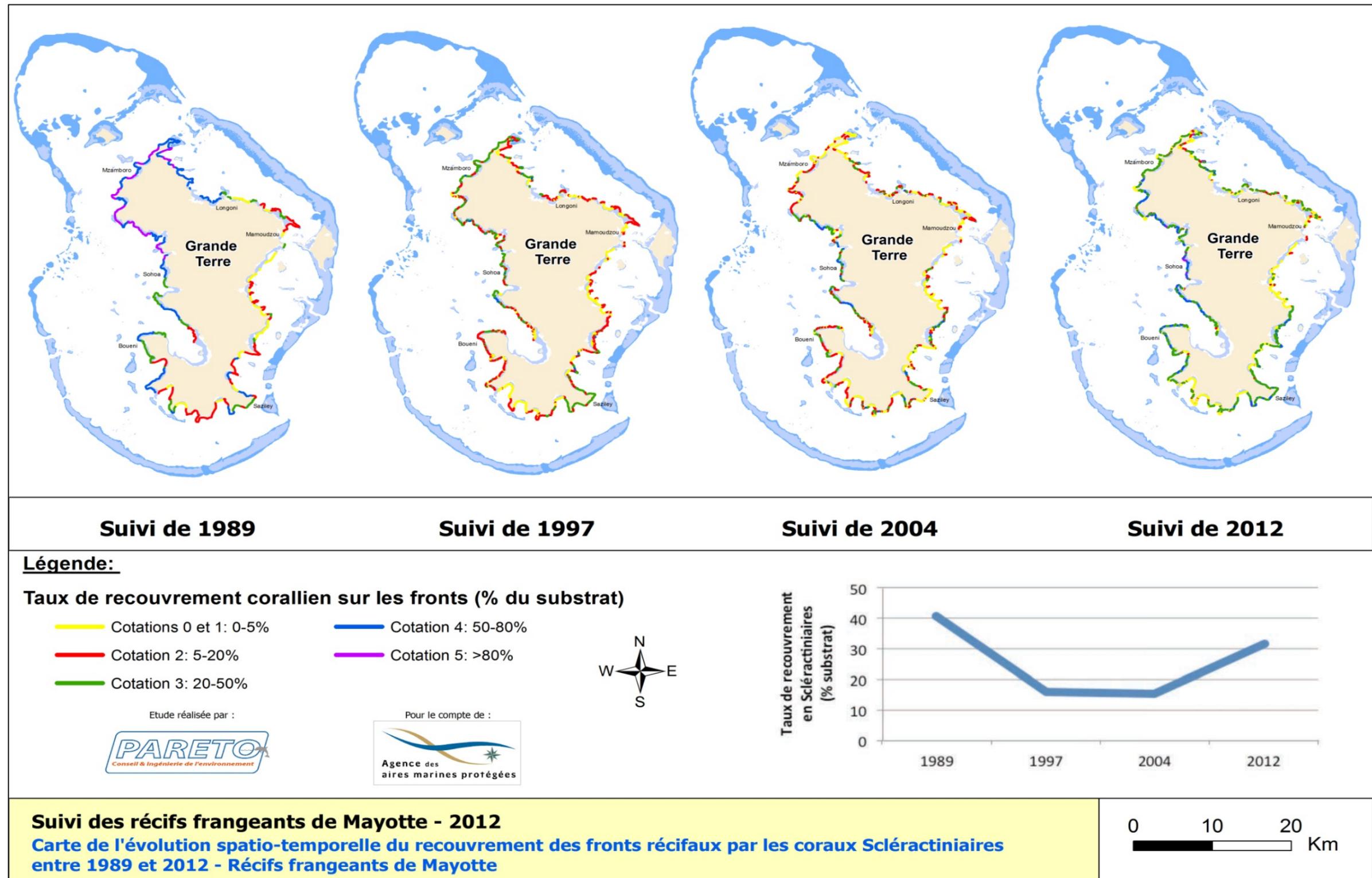


Figure 13 : évolution spatiale et temporelle du recouvrement des fronts récifaux en Scléactiniaires entre 1989 et 2012, récifs frangeants de la Grande Terre de Mayotte

4.1.2.2 Evolution de la couverture corallienne par secteur entre 2004 et 2012

A l'échelle de Mayotte, il s'agit d'une évolution positive entre 2004 et 2012 puisque le taux moyen de recouvrement global augmente de 17 % (± 18) à 32 % (± 29).

Sur les 36 secteurs récifaux, 25 augmentent significativement entre les 2 campagnes. Les secteurs dont les taux de recouvrement se sont le plus améliorés se situent au niveau des caps et pointes à l'ouest (Sohoa, Mugini, Mohila, Pointe Boueni, Chiconi) et au sud-est (Dapani, Saziley) (Figure 14). A l'inverse, seulement 5 secteurs voient leurs taux diminuer dont certains significativement. Ils se situent :

- Au centre-est : Ironi, très impacté, et Tsoundzou, dans une zone de développement de l'urbanisation de la conurbation du Sud du Grand Mamoudzou, avec de nombreux travaux de voiries et, dans le fond de la baie d'Ironi, le développement d'activités agricoles pouvant être relativement polluantes (un élevage avicole, producteur de substances azotées transportées au lagon – cf. rapport « ESPACES » 2011 -, et l'installation d'une coopérative agricole),
- Au nord-est : baie de Longoni et surtout la Pointe de Longoni, à proximité du port et de ses zones industrielles,
- Au grand sud : Passi Kely, au centre du Complexe récifal du Récif du Sud, dans un secteur relativement « confiné » aux influences océaniques (Thomassin, 1991).

Tableau 5 : évolution des taux moyens de recouvrement en Scléactiniaires par secteur entre 2004 et 2012, récifs frangeants de la Grande Terre. Les p-values affichées sont obtenues à partir de tests non paramétriques de Kruskal-Wallis au sein de chaque secteur.

Secteur	Taux de recouvrement (%) en 2004 (moyenne \pm sd)	Taux de recouvrement (%) en 2012 (moyenne \pm sd)	Evolution du recouvrement corallien (en % absolu)	Significativité	
SOH	43.2 \pm 18.9	81.4 \pm 12.9	+ 38,2	p<2,2e-16	***
MUG	14.0 \pm 12.6	44.3 \pm 20.8	+ 30,3	p=3,2 e-16	***
MOH	12.3 \pm 7.5	42.3 \pm 33.0	+ 29,9	p=2,1 e-6	***
PBOU	17.9 \pm 13.0	47.8 \pm 28.9	+ 29,9	p<2,2e-16	***
MLI	19.8 \pm 13.4	47.5 \pm 28.0	+ 27,8	p=1,1 e-15	***
DAP	24.7 \pm 20.1	51.9 \pm 27.9	+ 27,3	p=7,33 e-11	***
BAND	11.2 \pm 8.1	38.2 \pm 28.6	+ 27,0	p=7,5 e-5	***
CHIC	29.5 \pm 21.3	56.1 \pm 28.2	+ 26,6	p<2,2 e-16	***
SAZ	18.4 \pm 19.8	41.9 \pm 23.9	+ 23,5	p<2,2e-16	***
HAND	2.5 \pm 4.0	23.5 \pm 21.4	+ 21,1	p=1,6 e-10	***
MOUN	14.4 \pm 14.4	35.2 \pm 25.3	+ 20,8	p=7,1 e-10	***
NBOU	22.8 \pm 19.1	43.4 \pm 24.8	+ 20,5	p=4,775e-12	***
TSIN	28.0 \pm 20.3	47.8 \pm 32.5	+ 19,8	p=5,73e-7	***
CHEM	40.8 \pm 20.0	60.5 \pm 29.6	+ 19,7	p=7,19 e-11	***
NYAM	34.3 \pm 22.4	51.6 \pm 26.8	+17,2	p=5,97e-7	***
NGOU	11.1 \pm 9.5	28.2 \pm 28.1	+ 17,1	p=3,04e-07	***
HAM	14.2 \pm 11.3	29.9 \pm 23.9	+ 15,7	p=0,00027	***
MZAM	4.6 \pm 4.1	17.9 \pm 13.5	+ 13,3	p<2,2 e-16	***
DZOU	23.3 \pm 11.5	36.2 \pm 26.0	+12,9	p=0,16	
CHAR	14.4 \pm 15.5	26.9 \pm 25.1	+ 12,4	p=0,0003516	***
FBOU	9.0 \pm 11.7	17.8 \pm 19.9	+ 8,8	p=0,00057	***
DOUA	5.0 \pm 4.5	13.6 \pm 13.8	+ 8,6	p<2,2 e-16	***
KANG	8.4 \pm 9.0	16.5 \pm 16.0	+ 8,1	p=4,7 e-6	***
MAJI	7.8 \pm 5.1	15.4 \pm 14.6	+ 7,6	p=8,1e-8	***
ABAM	8.6 \pm 11.6	16.0 \pm 15.8	+ 7,5	p=0,000263	***
MBOU	29.7 \pm 15.5	37.1 \pm 28.7	+ 7,4	p=0,44	
AJAN	2.4 \pm 4.0	5.0 \pm 10.6	+ 2,6	p=0,08261	*
CHOA	8.1 \pm 5.5	10.2 \pm 9.4	+ 2,1	p=0,54	
DEMB	5.3 \pm 5.8	6.8 \pm 10.2	+ 1,5	p=0,697	
KOUN	7.8 \pm 8.9	8.1 \pm 11.3	+ 0,4	p=0,44	
TSOU	2.4 \pm 4.6	2.0 \pm 4.2	-0,4	p=0,79	
LONB	17.7 \pm 11.7	14.1 \pm 12.9	-3,6	p=0,017	**
PASI	16.8 \pm 19.9	13.2 \pm 14.2	-3,6	p=0,72	
IRON	14.4 \pm 13.8	6.4 \pm 9.0	-8,0	p=0,002	***
LONP	37.3 \pm 19.4	26.1 \pm 17.7	-11,2	p=0,00022	***
SBOU	NA	NA	NA	NA	
Mayotte	16.7 \pm 17.5	31.9 \pm 29.0	+15.2	p<2,2 e-16	***

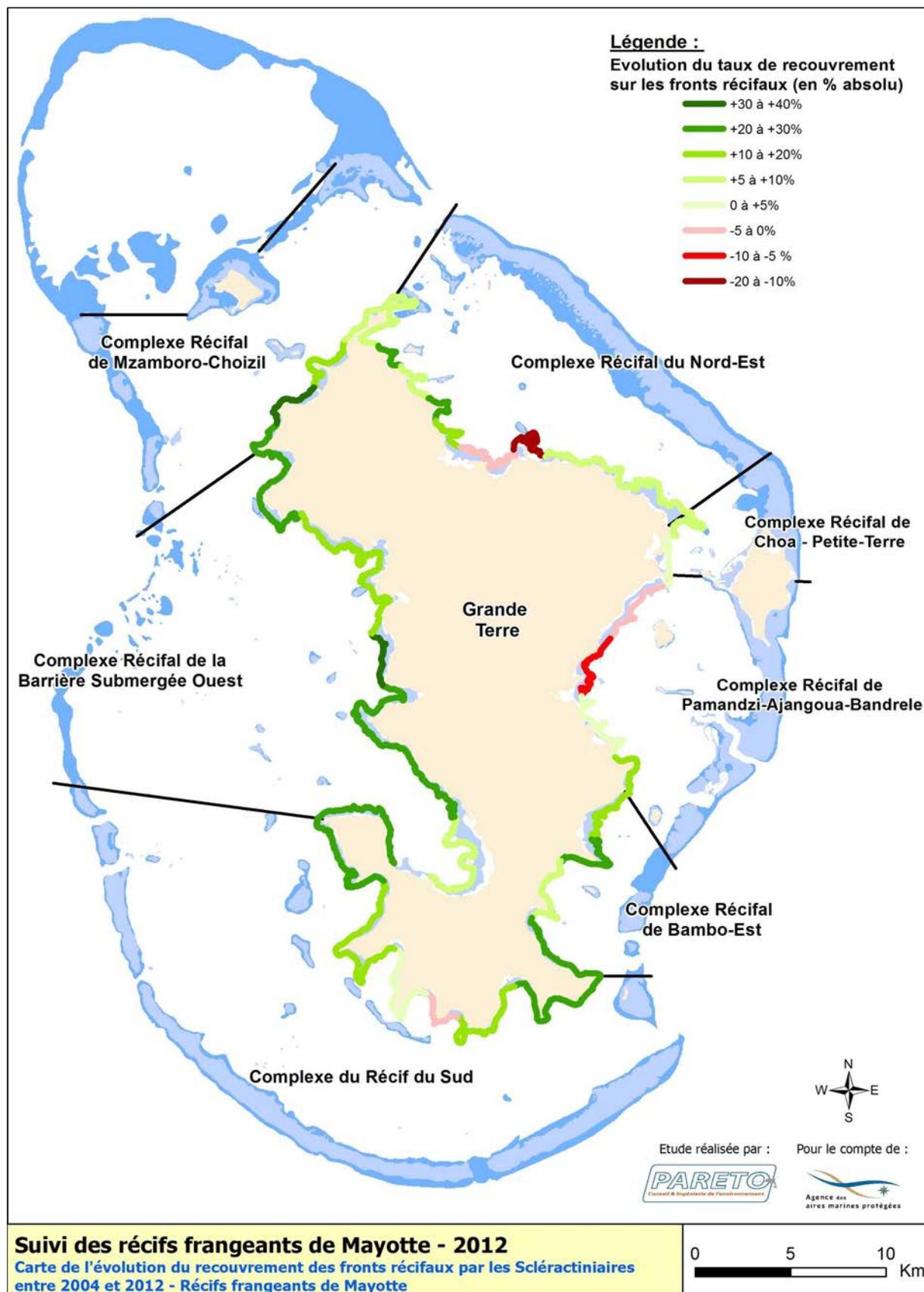


Figure 14 : carte illustrant les variations du recouvrement des fronts récifaux en Scléactiniaires entre 2004 et 2012, récifs frangeants de la Grande Terre

4.2 ANALYSE DE L'ETAT DE SANTE DES RECIFS FRANGEANTS D'ILOTS

4.2.1 Etat des lieux en 2012

A l'instar des fronts récifaux de Grande Terre, les fronts récifaux des îlots présentent un recouvrement du substrat par les coraux qui n'est pas homogène.

Afin d'ordonner les îlots selon l'état de développement de la couverture corallienne de leurs fronts récifaux, chaque îlot a été intégré au test post-hoc de Nemenyi, au même titre qu'un secteur de Grande Terre. Les résultats (Figure 11 et Annexe n°3) indiquent que 3 groupes d'îlots se distinguent :

- 1^{er} groupe : les îlots Mtsongoma, Gombe Ndroume et Bambo avec des couvertures coralliennes considérées comme les plus élevées de l'île,
- 2nd groupe : îlots Bandrele, Ajangoua et Handrema, dont le taux moyen de recouvrement corallien est intermédiaire,
- 3^{ème} groupe : les îlots Choizil et Mzamboro situés au nord, ainsi que les îlots Chissioua Mtsanga et Mbouzi situés à l'est, se caractérisant par un taux de recouvrement corallien plus faible.

4.2.1.1 Description par îlot

Îlot Mzamboro : l'îlot de Mzamboro, qui est le plus grand des îlots étudiés avec près de 18 km de linéaire de front récifal, possède un recouvrement corallien moyen relativement faible par rapport aux autres îlots avec 17 % de coraux durs (Tableau 6). Les parties de l'îlot les plus dégradées sont le nord et l'est, où se situe la majorité des cotations 0 et 1.

Îlots Choizil : ces îlots sont les plus dégradés de tous les îlots étudiés avec un recouvrement corallien de seulement 2 % environ. La cotation 1 est dominante et la cotation 0 fortement représentée (Figure 15) ; ces cotations sont réparties équitablement autour des îlots et ne sont pas concentrées en un seul endroit.

Îlot Handrema : cet îlot a une couverture corallienne moyenne de 25.4 %. Les cotations 3 et 4 sont bien représentées, notamment à l'est de l'îlot; toutefois la cotation 1 reste majoritaire puisqu'elle s'observe sur 40 % du linéaire de front récifal. Cette distribution paraît induite par la qualité des eaux baignant cet îlot. En effet, les récifs de la pointe est et de la côte nord-est sont sous l'influence directe de l'hydrodynamisme assez fort qui y règne sous l'influence des vents de nord-est et surtout est et sud-est durant la période des alizés, en saison fraîche. Or, il n'est pas rare d'avoir dans ce secteur du lagon des vagues avec des creux de 1,5 m de hauteur et même parfois plus. Par ailleurs ces fronts sont sous l'influence directe des apports d'eaux océaniques par le canyon s'ouvrant sur la passe de Mzamboro et des eaux lagunaires externes, à caractère océanique, du lagon nord-est (secteur nord du Grand Récif du Nord-Est). Au contraire, les récifs des faces sud et ouest de l'îlot se situent dans des zones de relatif calme hydrodynamique, les fonds y étant très envasés. De plus, la baie d'Handrema est un endroit où se concentrent, du fait d'un courant de type « cardioïde », pas mal des eaux plus ou moins polluées venant du littoral nord de Mayotte et de la conurbation de Mzamboro-Hamjago-Mtsahara et contournant l'extrémité du cap Douamougno. Ainsi, à la point Mavoulé, sur la face est du cap Douamougno, il a été trouvé des teneurs en cadmium assez élevées dans les chairs des huîtres médiolittorales (Thomassin et *al.*, 2008, 2011).

Îlot Mtsongoma : Mtsongoma est l'un des îlots où le recouvrement corallien est le plus élevé, avec un taux moyen de 67 %. Les cotations 4 et 5 sont relativement équivalentes (et représentent environ 40% du linéaire total chacune), et seule une portion au sud de l'île affiche une nette baisse de vitalité avec une cotation 2. Les eaux lagunaires du pourtour de Mtsongoma et du littoral de Msangamboua sont parmi les meilleures (Thomassin et *al.*, 2008, 2011 ; Thomassin *in* : rapport IDEE Aquaculture, 2013, dans le cadre d'un projet de pisciculture en cages flottantes). Ceci peut expliquer la bonne

vitalité de la plupart des fronts récifaux, bien exposés à l'hydrodynamisme des vagues et des courants sur les faces nord, comme sur les faces sud.

Îlot Gombe Ndroume : plus petit des îlots avec 1 km de linéaire de front récifal, Gombe Ndroume est celui dont la couverture corallienne est la plus forte. Son taux moyen de recouvrement est de 71 % et les cotations les plus faibles, 0, 1 et 2 n'ont pas été observées. Cet îlot se situe juste à l'arrière du début du Grand Récif du Nord-est et par le travers d'une ancienne passe, aujourd'hui oblitérée et formant ainsi un large déversoir de platier, par laquelle les courants de flot et de jusant entrent et sortent du lagon. Les fonds lagonaires environnants le ceinturant sont encore sableux, signe de la qualité des eaux le baignant.

Îlots Chissioua Mtsanga : ce regroupement de 3 petits îlots, qui cumule un linéaire de 3 km environ, apparaît comme très dégradé (taux moyen de recouvrement de 8 %). Les cotations 1 et 2, réparties de façon homogènes autour des îlots, représentent 99 % du linéaire. Ces îlots sont baignés par des eaux particulièrement turbides lors des épisodes pluvieux et qui, en temps normal, reçoivent toutes les eaux pluviales et rejets divers, très pollués de la ville de Mamoudzou et de sa zone urbano-industrielle de Kawéni, mais aussi des littoraux de Passamaïnti-Doujani et Mtsapéré ainsi que du trop plein de la lagune de Fongoujou ou vasière des Badamiers et enfin du rocher de Dzaoudzi.

Îlot Mbouzi : cet îlot possède l'un des recouvrements les plus dégradés avec un taux moyen de 8 %. Sur ces 4.8 km de linéaire de front récifal, la cotation 1 représente 65 % et la cotation 2, 30 %. Seul au sud de l'îlot persiste une portion en cotation 3 et 4.

Îlots Ajangoua : tout comme les îlots Chissioua Mtsanga, les îles Ajangoua sont un regroupement de 3 petits îlots dont le linéaire total est de 5.5 km. Les cotations 2 et 3 sont en proportions équivalentes et le taux moyen de recouvrement est de 28 %.

Îlot Bandrele : ce troisième îlot du complexe récifal de Pamandzi-Ajangoua-Bandrele présente une cotation 4 majoritaire (40 % du linéaire total). Toutefois, la forte proportion de cotation 2 (30 % environ du linéaire) amène à un taux moyen de recouvrement de 34 %. La répartition des cotations semble sectorisée autour de l'îlot avec au nord-est et sud-ouest des recouvrements plus élevés et au nord-ouest et sud-est des recouvrements inférieurs à 20 %.

Îlot Bambo : cet îlot, situé le plus au sud, a une couverture corallienne moyenne de 46 %. Toutes les cotations sont représentées avec une forte dominance pour la cotation 3 (46 %) ; la partie ouest semble toutefois être plus dégradée que la partie est.

Tableau 6 : recouvrement des fronts récifaux par les Scléactiniaires en 2012, récifs frangeants d'îlots

Îlots	Linéaire de front récifal observé (m)	Recouvrement moyen en Scléactiniaires (%)	Taux de couverture en Scléactiniaires (%)					
			cot 0 0%	cot 1 1-5%	cot 2 5-20%	cot 3 20-50%	cot 4 50-80%	cot 5 >80%
Mzamboro	17970	17,2 ± 19,3	4,1	36,2	33,4	17,6	8,5	0,1
Choizil	5658	1,9 ± 1,9	31,7	66,5	1,8	0	0	0
Handrema	3012	25,4 ± 25,6	0	40,8	13,2	23,5	20,5	2,0
Mtsongoma	2886	67,2 ± 24,2	1,2	0,7	6,7	9,1	44,4	37,9
Gombe Ndroume	1010	70,8 ± 17,0	0	0	0	10,5	55,2	34,2
Chissioua Mtsanga	2968	7,7 ± 6,2	0	52,4	46,5	1,2	0	0
Mbouzi	4813	8,2 ± 12,0	0	64,6	29,9	2,5	3,0	0
Ajangoua	5506	27,6 ± 22,3	0	19,7	30,6	31,5	17,8	0,5
Bandrele	2650	34,3 ± 26,8	1,1	17,4	28,6	12,8	40,1	0
Bambo	2144	46,0 ± 23,5	0,7	2,9	8,3	46,2	32,7	9,1
Total	48617	21.9 ± 25.4	5,2	37,0	25,2	15,5	13,6	3,5

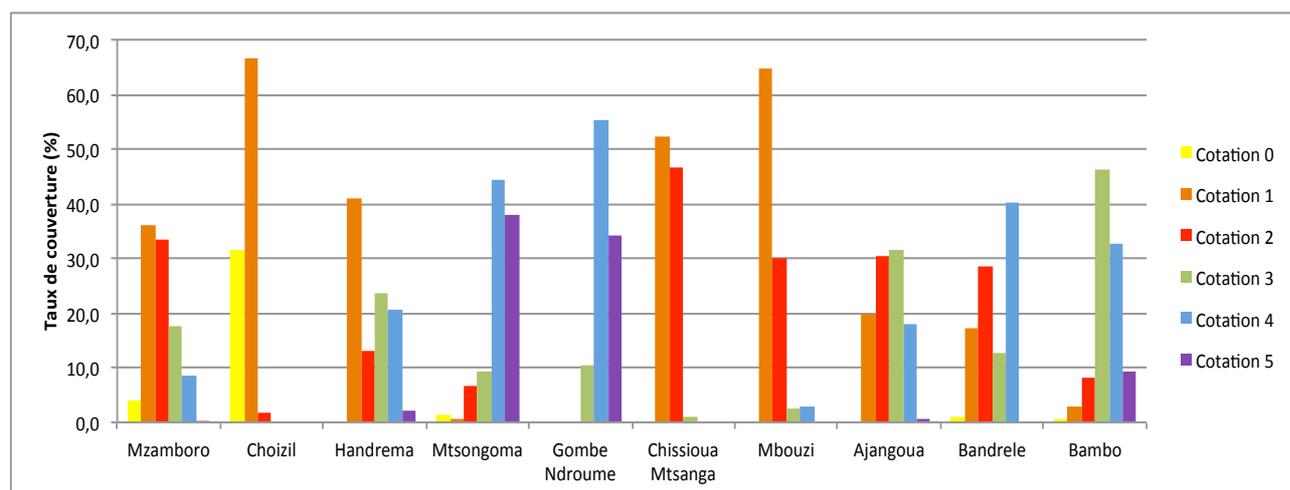


Figure 15 : histogramme de la distribution des cotations de recouvrement pour chaque îlot

4.2.1.2 Description des communautés benthiques dominantes

L'analyse photographique pour les îlots révèle, parmi les substrats non colonisés par les peuplements coralliens, une très forte dominance des substrats durs. Contrairement à Grande Terre, les substrats meubles, notamment la vase, sont en faible proportion sur l'ensemble des cotations (Figure 16)

Concernant les peuplements benthiques, les Acropores digités (ACD) sont en proportion identique (30% environ) pour les cotations 3, 4 et 5. En comparaison, les ACD sont plus abondants dans les cotations 4 et 5 de Grande Terre. A l'inverse, les Acropores branchus (ACB) sont bien plus prépondérants dans la cotation 5 des îlots (25 %) que de Grande Terre (5 %). Les proportions de coraux massifs-encroûtants-foliacés (MEF) et d'Acropores tabulaires (ACT) au sein du peuplement benthique global sont semblables aux deux récifs frangeants.

Enfin, il est à noter la présence plus importante de coraux mous sur les îlots que sur Grande Terre notamment au sein des cotations les plus faibles (cotation 0, 1 et 2).

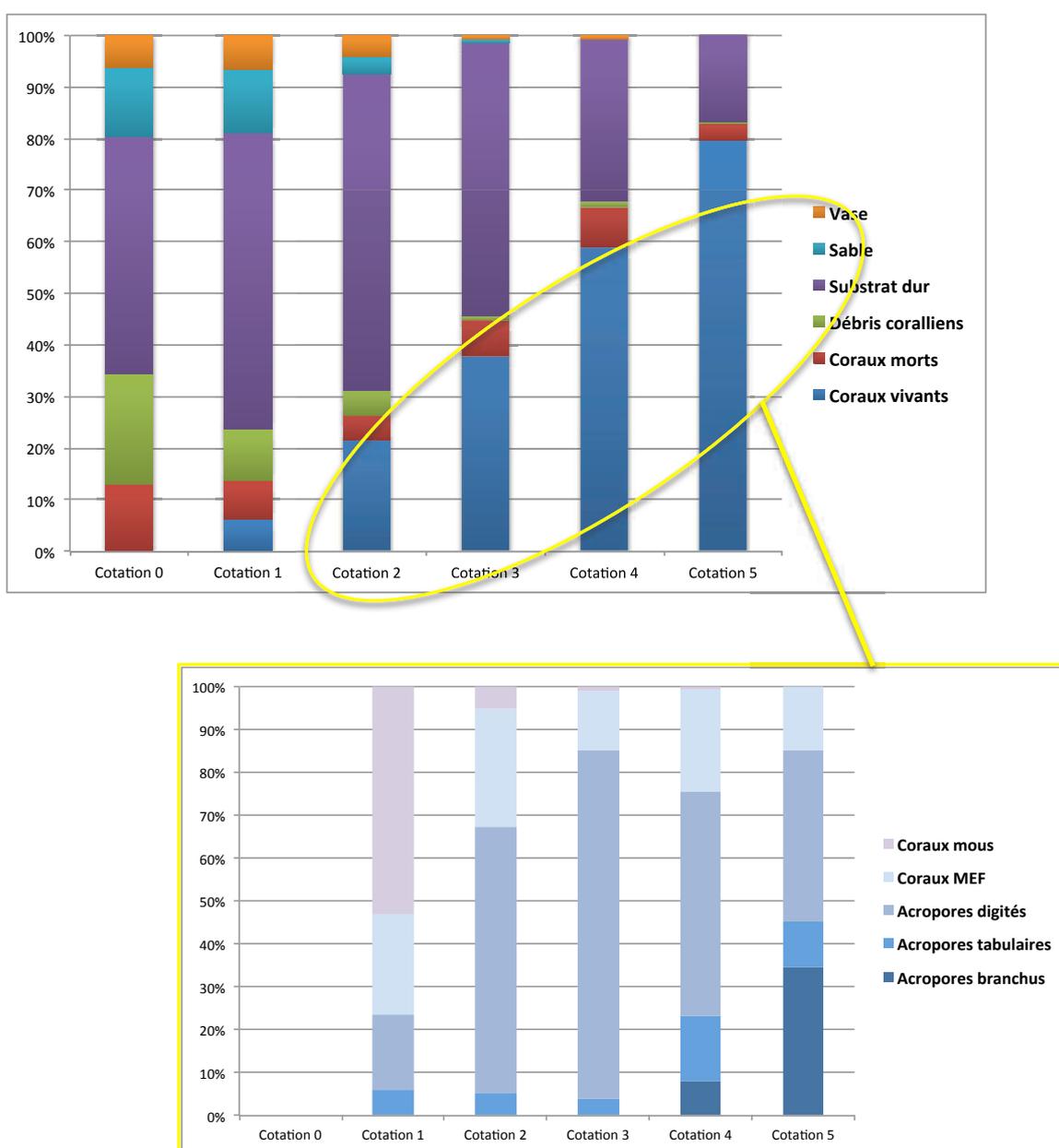


Figure 16 : histogrammes des fréquences cumulées des différentes catégories benthiques au sein de chaque cotation, récifs frangeants d'îlots

4.2.2 Evolution de la couverture corallienne entre 2006 et 2012

Rq : Dans cette partie uniquement, le descripteur utilisé est la couverture en coraux totale (Scléactiniaires + Alcyonaires). En effet, lors de l'étude sur les îlots (Wickel, 2006), les coraux mous étaient pris en compte et intégrés à la couverture corallienne globale pour l'attribution des cotations. Afin de pouvoir comparer les données relevées au cours des 2 campagnes (2006 et 2012), il a donc fallu intégrer le recouvrement en coraux mous à la couverture corallienne globale. Pour cela, le % de recouvrement en coraux mous a été ajouté à la valeur médiane de la cotation en corail dur (ex : 12,5% pour la cotation 2 : 5-20%). Malgré cet ajout, uniquement 3 portions de linéaire ont changé de désignation sur la totalité des linéaires des îlots, ce qui n'affecte quasiment pas les moyennes de recouvrement à l'échelle des îlots. Pour cela, les cotations de recouvrement observées en 2012 restent les mêmes que ce soit avec ou sans les coraux mous.

Parmi l'ensemble des îlots étudiés, la majorité présente une diminution significative des taux moyens de recouvrement par les coraux vivants (Figure 17 et Tableau 7) entre 2006 et 2012 :

- Les deux îlots du complexe récifal de Mzamboro-Choizil ont été des plus touchés par cette évolution régressive. En effet, les îlots Choizil affichent une perte de 23 % de couverture corallienne entre 2006 et 2012, avec une disparition des cotations 2, 3 et 4 pourtant bien représentées en 2006 (Figure 18). L'îlot de Mzamboro a été dégradé notamment dans sa partie sud, et ce avec une baisse du recouvrement moyen de 9 %. Ces 2 îlots sont ceux les plus exposés aux influences des vents de nord à nord-est (Kashkasi) et courants de surface induits, avec apports d'eaux du large, de la mousson d'été austral. Des eaux océaniques particulièrement chaudes, à la fin de saison de mousson du nord, ont donc pu impacter les peuplements coralliens de ces secteurs lors d'épisodes de réchauffement anormal et provoquer chez les Scléactiniaires des états de « stress » et même de mortalité plus ou moins totale,
- Les autres îlots ayant subi une diminution de leur couverture corallienne se situent dans la partie est du lagon : les îlots Chissioua Mtsanga, les îlots Ajangoua et Mbouzi (Figure 18). Ce dernier îlot présente une évolution régressive du recouvrement de quasi 15 %. En effet, alors que la cotation 3 était nettement présente en 2006, seulement 5 % du linéaire 2012 possèdent un recouvrement supérieur à 20 % en coraux vivants.

À l'inverse, on observe pour quelques uns des îlots étudiés une augmentation significative de leur taux de recouvrement : Gombe Ndroume et Bambo et dans une moindre mesure, l'îlot Mtsongoma. Concernant l'îlot de Gombe Ndroume, les cotations majoritaires en 2006 étaient les cotations 3 et 4, alors qu'en 2012 c'est principalement la cotation 5 qui est représentée puis la cotation 4. L'îlot Bambo a vu sa couverture corallienne augmenter de 27 % entre les deux campagnes. Alors que les proportions des cotations 1 et 2 étaient majoritaires en 2006, plus d'un tiers du linéaire possède désormais un recouvrement corallien supérieur à 50 %.

Tableau 7 : évolution des taux moyens de recouvrement en coraux (Scléactiniaires + Alcyonaires) par îlot entre 2006 et 2012, récifs frangeants d'îlots

Îlots	Taux de recouvrement (%) en 2006 (moyenne ± sd)	Taux de recouvrement (%) en 2012 (moyenne ± sd)	Evolution du recouvrement corallien (en % absolu)	Significativité	
Bambo	18,6 ± 16,8	46,0 ± 23,5	+ 27,3	p=7,85e-8	***
Gombe Ndroume	50,0 ± 15,4	70,8 ± 17,0	+ 20,8	p=0,00061	***
Bandrele	26,9 ± 27,4	34,3 ± 26,8	+ 7,4	p=0,146	
Handrema	21,5 ± 21,0	25,4 ± 25,6	+ 3,9	p=0,925	
Mtsongoma	63,4 ± 16,6	67,2 ± 24,2	+ 3,8	p=0,058	*
Chissioua Mtsanga	11,5 ± 3,0	7,7 ± 6,2	-3,8	p=1,596e-6	***
Ajangoua	35,0 ± 23,5	27,6 ± 22,3	-7,4	p=0,013	**
Mzamboro	26,0 ± 19,8	17,2 ± 19,3	-8,9	p=7,52e-14	***
Mbouzi	22,9 ± 17,8	8,2 ± 12,0	-14,8	p=1,768e-14	***
Choizil	25,1 ± 22,8	1,9 ± 1,9	-23,2	p<2,2e-16	***
Total	28.3 ± 23.1	21.9 ± 25.5	-6,4	p<2,2e-16	***

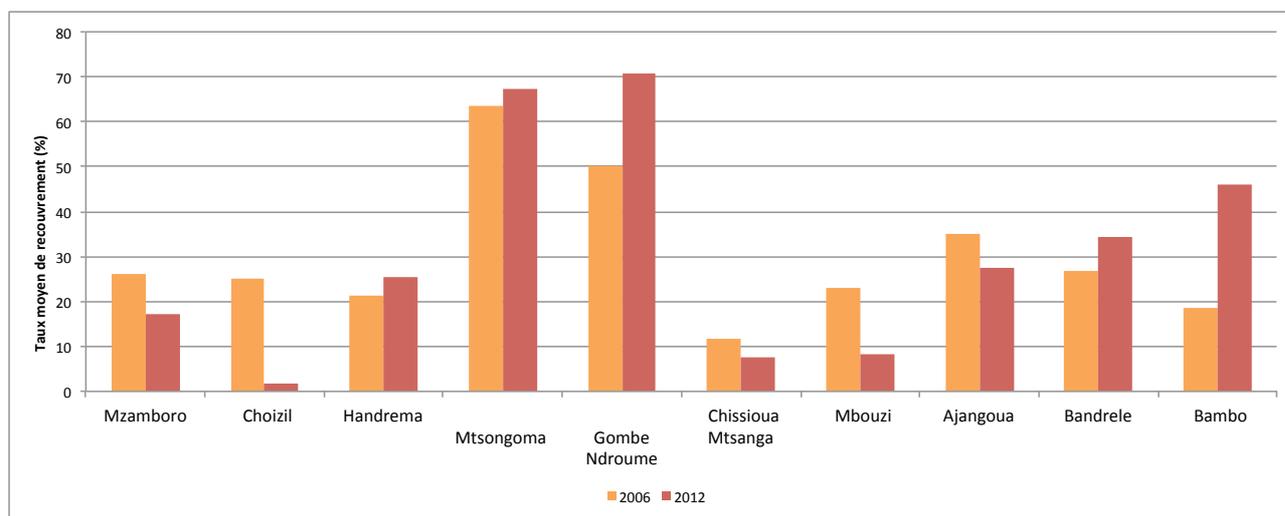
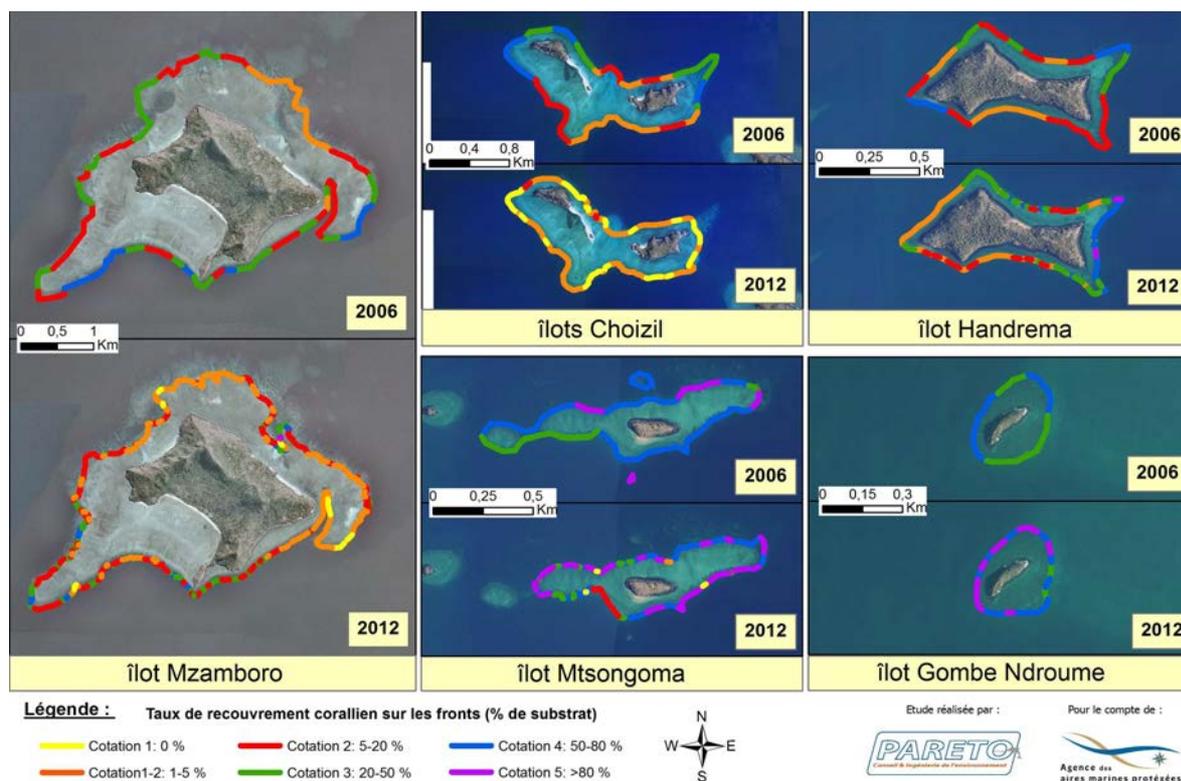
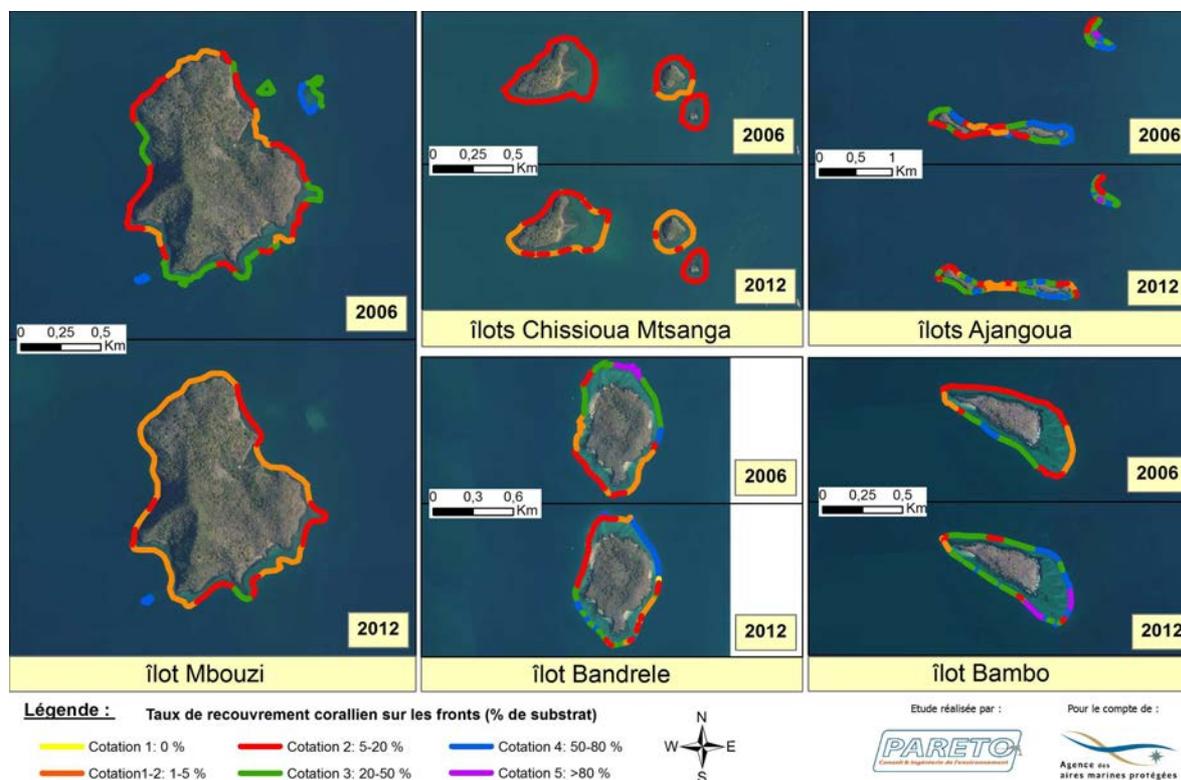


Figure 17 : histogramme des taux moyens de recouvrement en coraux (Scléactiniaires + Alcyonaires) entre 2006 et 2012, au sein de chaque îlot



Suivi des récifs frangeants de Mayotte - 2012

Carte de l'évolution du recouvrement des fronts récifaux des îlots par les coraux vivants entre 2006 et 2012



Suivi des récifs frangeants de Mayotte - 2012

Carte de l'évolution du recouvrement des fronts récifaux des îlots par les coraux vivants entre 2006 et 2012

Figure 18 : évolution spatiale et temporelle des recouvrements en coraux (Scléactiniaires + Alcyonaires) des fronts récifaux entre 2006 et 2012, récifs frangeants d'îlots (Wickel, 2006 et présente étude)

4.3 COMPARAISON DES RECIFS FRANGEANTS DE GRANDE TERRE VERSUS ILOTS

Afin de déterminer s'il existe un lien entre l'état de santé des récifs frangeants de Grande Terre et des îlots, deux analyses ont été mises en œuvre :

- La comparaison des taux de couverture corallienne observés en 2012,
- L'évolution des taux de couverture corallienne depuis la dernière campagne (soit l'évolution entre 2004 et 2012 pour les récifs de Grande Terre et l'évolution entre 2006 et 2012 pour les récifs d'îlots).

Ces analyses ont été faites pour chacun des récifs d'îlots auxquels ont été mis en parallèle les portions adjacentes de récif frangeant de Grande Terre (Tableau 8), soit sur un total de 10 sites⁴.

Tableau 8 : présentation des 10 sites analysés lors de la comparaison des récifs frangeants Grande Terre/îlots

Site	îlot concerné	Secteurs adjacents de la Grande Terre concernés
Site A	îlot Mzamboro	Mugini / Mzamboro
Site B	îlots Choizil	Mugini / Mzamboro
Site C	îlot Handrema	Handrema
Site D	îlot Mtsongoma	Mtsangamboua
Site E	îlot Gombe Ndroume	Majikavo
Site F	îlots Chissioua Mtsanga	Majikavo / Choa
Site G	îlot Mbouzi	Choa / Tsoundzou
Site H	îlots Ajangoua	Tsoundzou / Ironi / Dembeni / Ajangoua
Site I	îlot Bandrele	Hamouro / Nyambadao
Site J	îlot Bambo	Mounyendre / Abambo

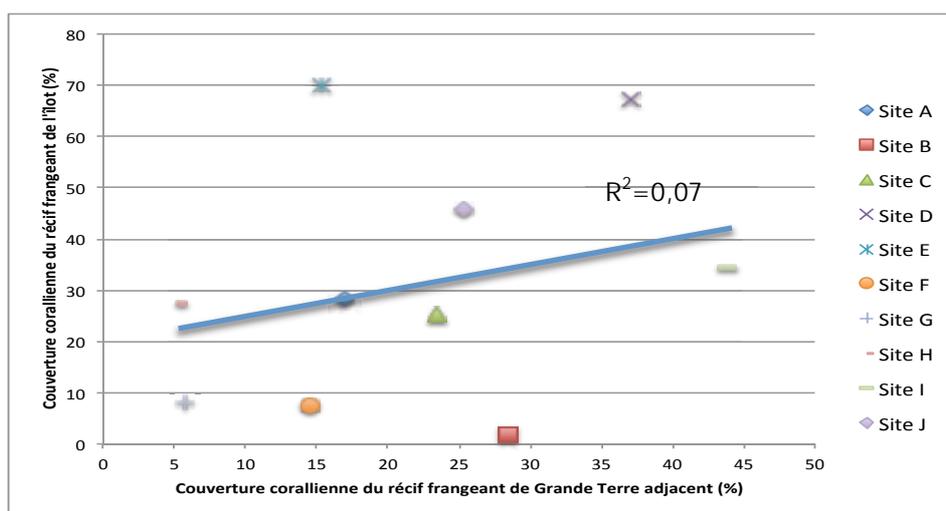


Figure 19 : corrélation des couvertures coralliennes (HC) des îlots avec celles de Grande Terre en 2012

⁴ Pour rappel, 1 site correspond à l'ensemble récif frangeant de l'îlot + portion adjacente de récif frangeant de la Grande Terre. Ces portions de récifs frangeants de la Grande Terre ont été définies sur la base de considérations courantologiques.

La première analyse a permis de mettre en parallèle les taux de couverture corallienne observés en 2012 entre les récifs frangeants d'îlots et les taux de couverture corallienne observés en 2012 sur les portions adjacentes de récif frangeant de la Grande Terre. La Figure 19 montre à première vue une très faible corrélation (coefficient de corrélation R2 de 0,07) entre les 2 récifs frangeants.

La deuxième analyse a été plus fine puisqu'elle s'est intéressée à la manière dont ont évolué les récifs de chacun des sites. Un premier test de SNK a été effectué avec 3 facteurs : un facteur site (1 site par îlot – Tableau 8), un facteur année (2004/2005 et 2012) et un facteur type (îlot et Grande Terre). Cette analyse annonce que chaque effet simple ainsi que chaque interaction (facteurs 2 à 2 et les 3 ensembles) sont significatifs. Ces résultats indiquent que globalement les sites sont significativement différents les uns des autres, et que la variable temporelle et la variable géomorphologique (type) ont un effet significatif sur l'évolution des taux de recouvrement. Afin de pouvoir préciser l'analyse, le test SNK a été effectué de nouveau au sein de chaque site, pour ne garder que les variations dues aux facteurs année et géomorphologie (Tableau 9). Les résultats sont les suivants :

- Site A : Les deux effets principaux (géomorphologie et année) sont non significatifs, alors que l'interaction des deux l'est. Après avoir testé chaque effet sur les deux modalités, il apparaît que l'ensemble est significatif. Ceci est dû à une évolution contraire observée sur l'îlot de Mzamboro et sur les secteurs en vis-à-vis : le secteur a une forte évolution positive (+20 % environ), tandis que les îlots ont un taux de recouvrement en régression.
- Site B : Le facteur année n'est pas significatif tandis que l'effet type et l'interaction le sont. Suite au test du facteur année sur les deux types de récifs révélé significatif pour les deux modalités, on peut dire que l'évolution de l'îlot et des secteurs diffère selon année : il s'agit d'une évolution positive pour les secteurs tandis que l'évolution est nettement négative pour les îlots Choizil.
- Site C : Les effets principaux et l'interaction sont significativement différents : l'évolution des secteurs (+21 %) est nettement supérieure à celle de l'îlot (+4 %), mais sont toutes deux positives.
- Site D : L'évolution est différente entre les secteurs et les îlots, mais l'effet année ainsi que l'interaction ne sont pas significatifs. L'effet année est le même sur les secteurs que sur l'îlot, c'est-à-dire une évolution positive semblable. Toutefois les deux types diffèrent puisque le taux de recouvrement initial n'est pas le même: 30 % pour les secteurs et 63 % pour les îlots.
- Site E : Les deux effets principaux sont significatifs mais pas l'interaction. Cela signifie que l'îlot et le secteur évoluent de façon similaire, ici positivement, mais à un rythme différent. L'effet année entraîne une augmentation de 8 % pour Majikavo, et une nettement supérieur pour l'îlot avec +21 %. De plus, l'effet géomorphologie est significatif puisque le recouvrement moyen sur les deux années pour le secteur est de 11 % environ alors que celui Gombe Ndroume est de 60 %.
- Site F : Pour ce site, l'effet géomorphologie n'est pas significatif. Toutefois il existe des interactions c'est pourquoi l'effet géomorphologie a été testé au sein de chaque année. Il se révèle qu'avec ce complément l'effet géomorphologie est significatif tant pour 2004/2006 que pour 2012. On constate alors que l'évolution sur ces secteurs est positive avec une augmentation de 7 % tandis que le recouvrement corallien sur les îlots Chissioua Mtsanga diminue de 4 %.
- Site G : Les effets principaux de ce site sont tous deux significatifs. Ainsi les deux récifs frangeants évoluent de façon contraire à des taux différents : le taux de recouvrement des secteurs augmente de seulement 1 %, tandis que celui de Mbouzi diminue nettement de près de 15 %.
- Site H : Pour ce site, comme le site D, l'effet année n'est pas significatif tout comme les interactions. L'effet année entraîne pour les deux récifs une diminution du taux de recouvrement corallien ; toutefois la couverture corallienne des secteurs reste significativement inférieure à celle des îlots Ajangoua.

- Site I : À l'inverse du site précédent, l'effet non significatif en plus de l'interaction est celui lié à la géomorphologie. Le taux de recouvrement au sein des récifs frangeants est semblable, et évolue positivement. Toutefois, l'effet « année » entraîne une augmentation de 8 % pour l'îlot, significativement différente des +13 % des secteurs.
- Site J : Les deux effets principaux sont significatifs, mais pas l'interaction. Les couvertures coralliennes de l'îlot Bambo et les secteurs évoluent positivement, mais à des taux différents : +14 % pour les secteurs et +25 % pour l'îlot, ce qui explique l'effet « année » significatif. Par ailleurs, l'effet « géomorphologie » significatif s'explique par un taux moyen de recouvrement de l'îlot sur les deux années (environ 31 %), nettement supérieur à celui des secteurs de récifs frangeants adjacents (18 % environ).

Tableau 9 : résultats des tests Student-Newman-Keul (SNK) au sein de chaque site avec 2 facteurs : l'année et la géomorphologie

Site	Type	Taux de recouvrement moyen sur le site		Résultats ANOVA		
		2004-2005	2012	facteur type	facteur année	interaction type/année
Site A	total	20,04	20,92	NS	NS	***
	secteur	8,4	28,45			
	îlot	26,04	17,04			
Site B	total	15,46	18,38	***	NS	***
	secteur	8,4	28,46			
	îlot	25,06	1,88			
Site C	total	13,1	24,56	***	***	***
	secteur	2,45	23,54			
	îlot	21,48	25,38			
Site D	total	45,03	48,95	***	NS	NS
	secteur	29,66	37,08			
	îlot	63,36	67,16			
Site E	total	11,84	20,07	***	***	NS
	secteur	7,8	15,36			
	îlot	50	70,75			
Site F	total	8,63	13,2	NS	***	***
	secteur	7,84	14,47			
	îlot	11,53	7,71			
Site G	total	14,55	6,9	***	***	***
	secteur	4,63	5,7			
	îlot	22,91	8,16			
Site H	total	14,69	11,47	***	NS	NS
	secteur	6,44	5,16			
	îlot	35	27,6			
Site I	total	26,82	41,86	NS	***	NS
	secteur	26,79	43,8			
	îlot	26,94	34,34			
Site J	total	12,57	28,63	***	***	NS
	secteur	11,39	25,32			
	îlot	18,64	45,97			

Pour résumer, on distingue trois profils d'évolution du recouvrement corallien parmi l'ensemble des sites :

- En premier lieu, une évolution positive aussi bien pour les îlots que pour les secteurs adjacents de la Grande Terre. Cela concerne les sites de Mtsongoma, Gombe Ndroume, Bandrele, Bambo et Handrema où l'évolution est positive mais pas de même ampleur,
- Ensuite, se trouvent les sites pour lesquels l'évolution des deux types de récifs frangeants est contraire : le taux de recouvrement corallien des secteurs de la Grande Terre augmente tandis que celui des îlots diminue. Ce patron concerne les sites de Mzamboro, Choizil, Chissioua Mtsanga et Mbouzi,
- Enfin il reste le site des îlots Ajangoua où l'évolution de deux types de récifs frangeants est négative.

5 DISCUSSION

5.1 SYNTHÈSE DES RESULTATS DE LA CAMPAGNE 2012

Le travail qui a été développé lors de la campagne de suivi 2012 met en lumière plusieurs points :

- En 2012, le taux moyen de recouvrement du substrat par les Scléactiniaires est de 30 % sur les récifs frangeants de Grande Terre et de 22 % sur les récifs frangeants d'îlots. Ce niveau de couverture corallienne n'est pas identique sur l'ensemble de l'île et présente une forte hétérogénéité spatiale. Ainsi, l'ouest de l'île présente une couverture corallienne importante, et l'on observe *a contrario* une majorité de cotations faibles (0, 1 et 2) à l'est. Plus localement, les fonds de baie possèdent des recouvrements coralliens généralement inférieurs à 5 % tandis que les pointes et caps ont des couvertures coralliennes plus développées (supérieures à 20 %). A l'instar des récifs frangeants de Grande Terre, les taux de recouvrement des îlots sont hétérogènes. Ainsi, les couvertures coralliennes varient de 71 % pour Gombe Ndroume à 2 % pour les îlots Choizil,
- En terme de dynamique récifale, on observe une évolution des récifs frangeants de Mayotte qui diffère selon les zones géographiques. De manière générale, la couverture corallienne a fortement augmenté (d'un facteur 2) depuis la dernière campagne. Certains secteurs ont fortement progressé comme Sohoa, ou Mugini dans l'ouest, tandis que d'autres ont connu une évolution régressive tels que les secteurs d'Ironi, Baie de Longoni ou encore la Pointe de Longoni. Pour ce dernier, la perte majeure du recouvrement corallien semble pouvoir être attribuée à l'envasement accidentel qui est survenu en août 2006 sur ce secteur, en lien avec les travaux d'extension du 2^{ème} quai du port de Longoni. Une chute de 40 % du recouvrement corallien observée entre 2005 et 2006 sur la station Reef Check de Longoni, balise située à proximité du récif frangeant de ce secteur, avait en effet été attribuée à cet événement (Wickel 2007),

L'élément majeur qui ressort de la situation en 2012 reste toutefois l'augmentation notable du recouvrement moyen à l'échelle de l'île qui est observée depuis la campagne précédente (2004) sur les récifs frangeants de Grande Terre. Ce constat est surprenant car il semble aller à l'encontre de la dynamique évolutive de régression qui s'observe globalement sur les autres types de récifs du complexe récifo-lagonaire mahorais, et d'une manière plus générale, à l'échelle mondiale,

L'ensemble des conditions méthodologiques et analytiques nécessaires à la comparaison des taux de recouvrement entre les différentes campagnes de ce suivi (1989, 1997, 2004, 2012) ont été testées et validées. Les biais liés (i) à la subjectivité des appréciations lors de l'attribution des cotations de recouvrement, subjectivité inhérente à cette méthodologie d'observation semi-quantitative et donc effective depuis les débuts du suivi et (ii) aux légères modifications des moyens d'observation mis en œuvre depuis les débuts du suivi, ne peuvent en effet suffire à expliquer raisonnablement les importantes variations temporelles observées,

- L'analyse comparant la structuration du peuplement et les dynamiques récifales qui s'observent sur, d'une part, les fronts récifaux des îlots et, d'autre part, les fronts récifaux adjacents de Grande Terre, indique que les évolutions de ces deux types de récifs frangeants ne semblent pas liées. En effet, des différences évolutives sont constatées en terme de sens (évolution positive vs évolution régressive) et d'intensité (amplitude de l'augmentation ou de la diminution des couvertures coralliennes). Par ailleurs, les analyses photographiques indiquent que la composition relative des catégories benthiques n'est pas la même entre les

deux types de récifs frangeants. Ainsi, la proportion de substrat dur potentiellement colonisable est supérieure pour les îlots alors que les substrats meubles sont fortement représentés dans les cotations faibles de Grande Terre. Pour les peuplements coralliens, les Acropores branchus, abondants dans la cotation 5 des îlots laissent place aux Acropores digités sur les fronts récifaux de Grande Terre. L'ensemble de ces observations conduit à penser qu'on ne peut établir de lien direct entre la structure des récifs frangeants d'îlot et celui des récifs frangeants de la Grande Terre. Les facteurs d'influence auxquels sont soumis les deux types de récif frangeant agissent en effet selon des gradients différents régis par l'éloignement à la côte, l'importance des apports terrigènes, le temps de renouvellement des masses d'eau qui baignent ces récifs, l'exposition océanique, etc. Ils se traduisent, par la suite, par une structuration des communautés coralliennes et par des capacités de résistance/résilience aux phénomènes de dégradation propres à chaque type de récif frangeant.

5.2 EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES COUVERTURES EN SCLERACTINIAIRES: LES EFFETS DE L'HYDRODYNAMISME ET DE L'ANTHROPISATION DES LITTORAUX (PAR B.A THOMASSIN)

Dans leurs conclusions sur l'état de la vitalité corallienne des fronts des récifs frangeants en 2004, Wickel & Thomassin (2005, p. 33) arrivaient à ceci :

« D'après cette analyse des regroupements des secteurs, on en déduit que ce sont d'une part les facteurs naturels « exposition aux passes, aux vagues et aux courants côtiers », et d'autre part les facteurs artificiels « impact de l'anthropisation » qui déterminent la richesse des peuplements coralliens des fronts des récifs frangeants de la Grande Terre, en interférant parfois selon les secteurs concernés. L'hétérogénéité spatiale de la vitalité corallienne qui s'observe parfois sur de faibles distances résulte d'une combinaison subtile de ces facteurs généraux pouvant eux-mêmes varier en intensité dans le temps et selon les zones. »

Pour vérifier si ces conclusions pouvaient aussi s'appliquer à la situation observée lors de la présente campagne, nous avons procédé (**Tableau 10**) :

1. Au calcul d'un indice de vitalité corallienne (Iv), cet indice s'appuyant sur :

- la représentativité des cotations les plus fortes (Σ cot 3 + cot 4 + cot 5), c'est-à-dire des peuplements montrant plus de 20 % de coraux Scléactiniaires vivants,
- la représentativité des cotations les plus faibles (cot 0 + cot 1), c'est-à-dire des peuplements très dégradés voire nus, <5 % de coraux Scléactiniaires vivants.

$$I.v. = \Sigma (\text{cot } 3 + \text{cot } 4 + \text{cot } 5) / \Sigma (\text{cot } 0 + \text{cot } 1)^5$$

2. A la recherche d'une corrélation entre ces paramètres de vitalité corallienne (somme des cotations 3+4+5 et Iv) et les indices (i) d'hydrodynamisme littoral, et (ii) de pression anthropique.

- indice d'hydrodynamisme : une cotation de 0 à 5 a été attribuée arbitrairement à chacun des secteurs sur la base des connaissances de terrain et des conclusions des principaux travaux portant sur cette variable (proximité de passes ou de barrières récifales externes submergées ; résultats des modélisations hydrodynamiques du lagon

⁵ Lorsque la somme des cotations 0 + 1 est nulle, on a pris comme valeur 0.01, ce qui peut donner une valeur d'indice très élevée (annotée >50, le cas échéant).

(Arnoux et *al.*, 1994 ; Gourbesville & Thomassin, 1998 ; Lecacheux et *al.*, 2007 ; De la torre et *al.*, 2008 ; Chevalier et *al.*, 2008, 2012 ; mesures courantologiques inédites et observations de terrain B.A. Thomassin),

- les impacts « anthropiques » ont été traduits par les paramètres suivants :
 - densité de la population par secteurs entre 2007 et 2012 (pour cette année, les résultats du recensement des habitants « officiels » n'étant connus que par commune, une péréquation a été calculée à partir des données par communes et par villages du recensement de 2007 (sources INSEE Mayotte : http://www.insee.fr/fr/themes/detail.asp?ref_id=populegalscompagne=recensement/populegalscom/popcommayotte.htm et http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_communes_de_Mayotte),
 - consommation en eau douce par nombre d'habitants en 2012, par secteur, extrapolée à partir des données SOGEA-SIEAM Mayotte par année et par commune,
 - teneurs en zinc (Zn) et « indice de toxicité des PCB » dans les chairs des huîtres médiolittorales en 2007 (Thomassin et *al.*, 2008, 2012).

Tableau 10 : vitalité corallienne, degré d'hydrodynamisme et paramètres anthropiques par secteur récifal

Secteur	Abréviation	linéaire front récifal (m)	Hydrodynamisme	Vitalité corallienne 2012		Paramètres anthropiques		Molysmologie eaux surface lagon (THOMASSIN et al. 2008)	
			(degré 0 à 5)	S cot 3+4+5 %	I. v.	population 2012 estimée (x1000 hab.)	consommation en eau douce 2012 (m ³ x 1000)	ind toxicité PCB 2007 huîtres médiolittorales	Zn 2007 huîtres médiolittorales (ppm)
ABAMBO	ABAM	6 178	3	34	0,82	0,415	28,138		
AJANGOUA	AJAN	4 725	2	3	0,04	1,630	93,789		
BANDRABOUA	BAND	2 840	2	63	2,40	2,389	173,268		
BANDRAKOUNI	BDRKOUN	7 179	3	8	0,13	0,800	60,760		
CHARIFOU	CHAR	7 432	3	46	1,51	0,731	55,544	8,4	1247
CHEMBENYOU MBA	CHEM	7 825	4	82	11,64	5,662	399,181	11,1	1422
CHICONI-SADA	CHIC	9 431	3	78	7,00	16,604	1197,392	8,6	1413
CHOA nord	CHOAn	2 856	0	7	0,22				
CHOA sud	CHOAs	851	1	0	0,00	16,055	973,129		
DAPANI	DAP	4 943	3	84	5,79	0,000	0,000		
DEMBENI	DEMB	2 333	2	9	0,13	5,367	308,818	19,2	1085
DOUAMOUGNO ouest	DOUAo	4 044	4	30	1,71	0,000	0,000		
DOUAMOUGNO sud	DOUAs	7 899	1	10	0,22	0,000	0,000	7,8	1226
DZOU MOGNE	DZOU	3 408	1	36	2,08	3,755	272,291		
Fond Baie BOUENI	FBOU	10 400	1	20	0,35	5,783	371,517	9,1	1223
HAMOIRO	HAM	3 731	3	57	2,47	0,484	32,841		
HANDREMA	HAND	2 413	2	42	1,67	1,697	123,053		
IRONI	IRON	5 132	2	6	0,10	4,728	272,060		
KANGANI	KANG	8 880	2	22	0,83	22,036	1627,605	12,7	1601
LONGONI BAIE	LONB	5 993	0	13	0,58	2,533	183,727	10,4	1671
LONGONI Pte	LONP	5 318	3	44	5,22				
MAJIKAVO nord	MAJIn	5 794	1	30	1,89	1,634	120,719	19,1	1787
MAJIKAVO sud	MAJIs	4 935	1	11	0,25		0,000		
MLIHA	MLI	7 572	5	72	6,88	5,318	405,917		
MOHILA nord	MOHn	2 596	5	60	1,72	1,431	111,237		
MOHILA sud	MOHs	1 701	5	62	5,25	0,000	0,000		
MOUNYENDRE	MOUN	5 564	4	63	3,09	1,727	117,097	21,3	1055
MTSANGAMBOUA	MtsBOU	4 465	3	57	8,50	1,001	72,589	9,6	386
MUGINI	MUG	3 710	4	86	50,00	3,354	260,740		
MZAMBORO	MZAM	5 549	3	30	1,65	4,485	348,724	28,4	2994
Nord Baie BOUENI	NBOU	7 297	3	73	11,89	2,502	160,728		
NGOUJA	NGOU	12 090	3	47	1,35	1,991	151,245	12,7	794
NYAMBADAO nord	NYAMn	701	3	92	>50,00	0,000	0,000		
NYAMBADAO sud	NYAMs	5 961	4	81	6,86	3,458	234,514		
PASI KELY	PASI	3 395	2	28	0,61	1,072	81,420		
Pte BOUENI sud	PteBOUs	8 045	4	67	4,00	6,581	495,893	24,4	1090
Pte BOUENI nord	PteBOUn	7 845	3	57	1,56	2,065	155,613		
SAZILEY nord	SAZn	6 582	5	69	6,50	1,732	117,416		
SAZILEY sud	SAZs	3 053	4	97	>50,00	0,000	0,000		
Sud Baie BOUENI	SBOU	3 935	0	11	0,35				
SOHOA	SOH	3 837	4	100	50,00	1,185	85,444		
TSINGONI	TSIN	7 891	4	66	4,04	2,677	179,776		
TSOUNDZOU	TSOU	4 766	1	0	0,00	36,109	2188,628		

La comparaison, pour chacun des secteurs récifaux de la Grande Terre, des paramètres de vitalité corallienne (somme des cotations 3+4+5, et Iv), avec les différentes variables précédemment évoquées nous informe des points suivants :

- D'abord, on constate que la vitalité corallienne (Σ cot. 3+4+5), en 2012-13, est très bien inversement corrélée avec la densité de population « officielle » par secteurs (Figure 20). La courbe de tendance la mieux ajustée est une fonction polynomiale d'ordre 6, sans que l'on puisse expliquer ce dernier point,
- De même, il existe une assez bonne corrélation inverse entre l'indice de vitalité corallienne (Iv) et cette variable démographique (Figure 21). Cette fois, la courbe de tendance qui s'ajuste le mieux est encore une polynomiale d'ordre 6 (la courbe tracée étant celle d'une moyenne mobile d'ordre 2).

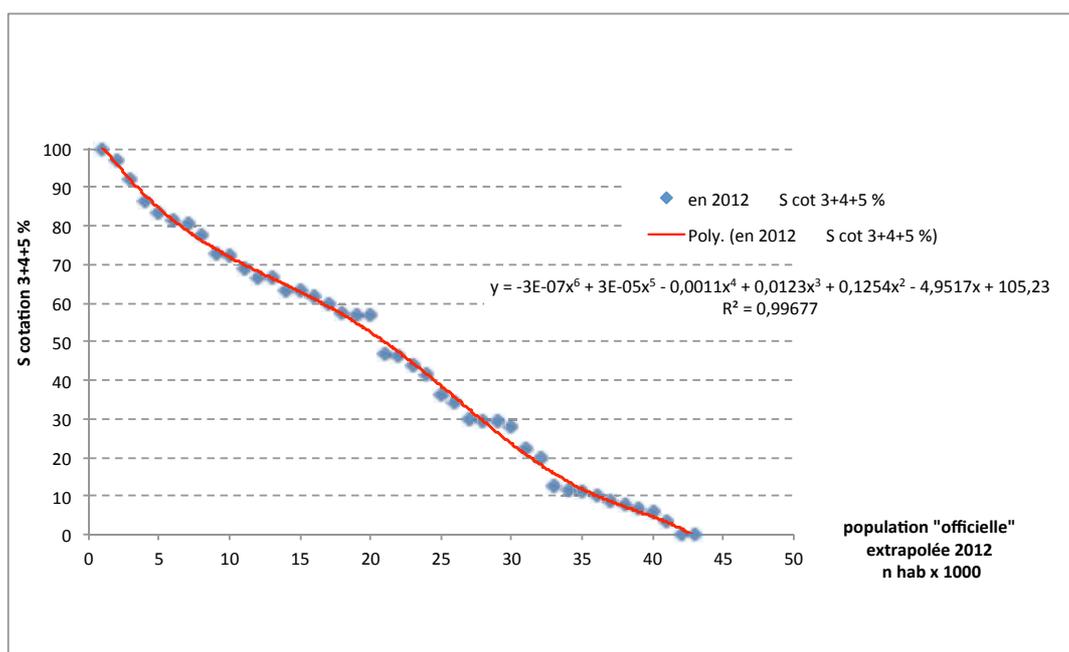


Figure 20 : corrélation inverse entre l'état de la vitalité corallienne (Σ cot. 3+4+5) et la densité de population « officielle » en 2012 par secteur.

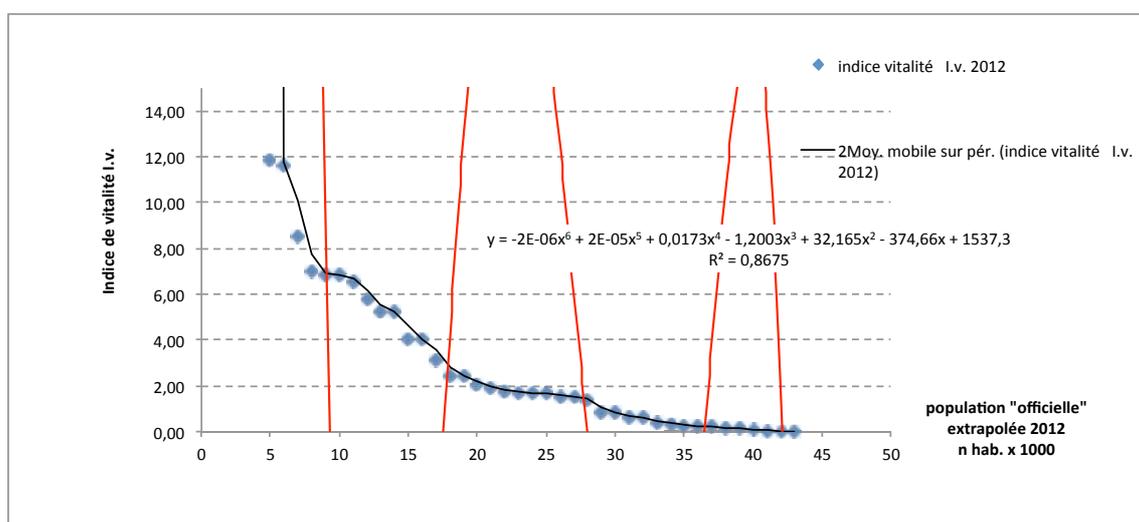


Figure 21 : corrélation inverse entre l'indice de vitalité corallienne (Iv) et la densité de population « officielle » en 2012 par secteur.

- Si l'on considère les autres variables « anthropiques » comme la consommation en eau douce par secteurs et les données molysmologiques obtenues sur la chair des huîtres médiolittorales en 2007, qui renseigne sur la qualité des eaux de surface du lagon, on constate (Figure 22) que toutes ces variables « anthropiques » sont liées entre elles (notamment la teneur en zinc de la chair des huîtres et la consommation en eau douce) et qu'elles interfèrent sur la vitalité corallienne (Σ cot. 3+4+5).

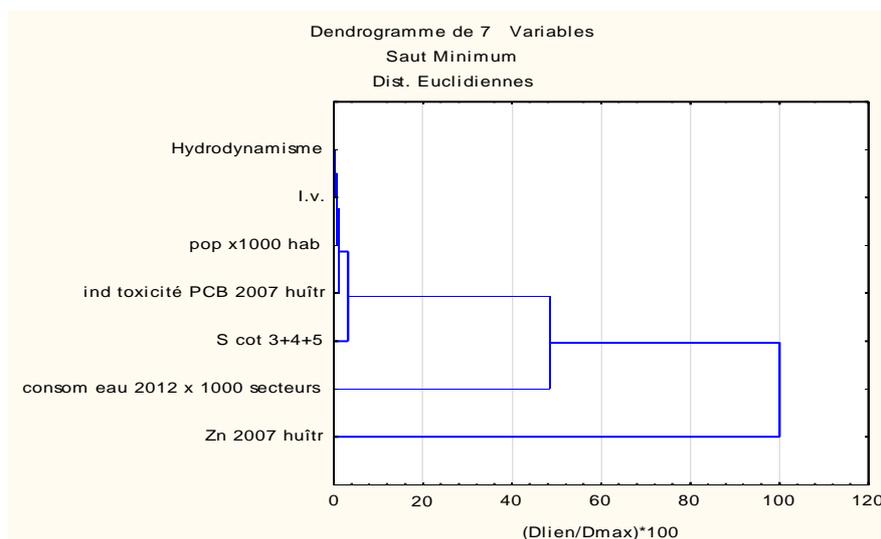


Figure 22 : dendrogramme entre les différentes variables « anthropiques » et une estimation de l'hydrodynamisme par secteur

A partir de là, il est possible de calculer un classement de « similarité » entre secteurs (les secteurs pour lesquels des données manquent n'ont pas été pris en compte dans cette analyse) en fonction des différentes variables testées (Figure 23).

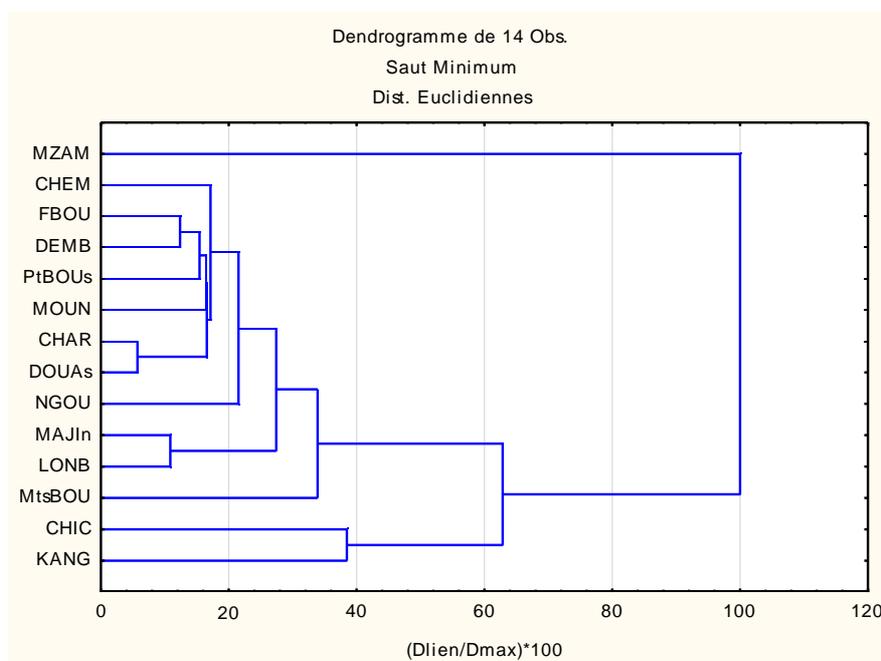


Figure 23 : dendrogramme des différents secteurs en fonction des variables : estimation de l'hydrodynamisme, vitalité corallienne (Σ cot. 3+4+5 et I.v.) et autres variables « anthropiques » et « molysmologiques »

D'après ce graphe, le secteur de Mtsamboro est complètement isolé, du fait qu'il est soumis à un hydrodynamisme modéré (cotation 3 sur 5), et qu'il montre une vitalité corallienne en 2012-13 très moyenne (Σ cot 3+4+5 = 30 % ; I.v. = 1,7) et par contre une population assez élevée (4 485 hab. en 2012), une consommation annuelle en eau douce = 349.10^3 m³ et des teneurs déjà élevées, en 2007, en zinc (2994 ppm) et en PCB (indice de toxicité = 28,4, soit le maximum pour Mayotte) dans les chairs des huîtres.

Se rapprochant de ce secteur de Mtsamboro, les secteurs de Chiconi (Chiconi-Sada) et de Kangani (Majikavo Koropa-Koungou-Trévani-Kangani) soumis à un hydrodynamisme proche ou même plus faible (3 et 2 sur une échelle de 0 à 5) :

- Avec, pour Chiconi, une vitalité corallienne encore assez élevée (Σ cot. 3+4+5 = 78 % ; I.v. = 7,0) mais une population dense (env. >16 600 hab.) et consommant beaucoup d'eau douce ($1\ 197.10^3$ m³ en 2012), et une teneur en zinc en 2007 élevée (Zn = 1413 ppm) mais un indice de toxicité des PCB assez faible (8,6),
- Et, avec, pour Kangani, une vitalité corallienne faible (Σ cot. 3+4+5 = 22 % ; I.v. = 0,8), mais une population dense (env. >22 000 hab.) et consommant beaucoup d'eau douce ($1\ 628.10^3$ m³ en 2012), et une teneur en zinc en 2007 élevée (Zn = 1601 ppm) mais un indice de toxicité des PCB déjà moyen (12,7).

S'opposant à ces secteurs bien peuplés et donc bien « anthropisés », se situant en mode hydrodynamique relativement protégé, on observe le secteur de Chembenyoumba (Chembenyoumba-Mtsangamouji), qui lui est bien exposé aux vagues (4 sur une échelle de 0 à 5), avec une vitalité corallienne élevée (Σ cot 3+4+5 = 82 %, I.v. = 11,6), une population moyennement dense (env. > 5 700 hab.) et consommant peu d'eau douce (seulement env. 400.10^3 m³ en 2012), avec une teneur moyenne en zinc en 2007 (Zn = 1422 ppm), mais un indice de toxicité des PCB déjà moyen (11,1).

En conclusion, et à l'instar des conclusions émises en 2004, l'état de vitalité corallienne en 2012 des fronts des récifs frangeants de Grande Terre est fonction :

- D'une part, et de façon positive, de l'exposition de ces fronts aux vagues et aux eaux océaniques du large pouvant pénétrer dans le lagon par des passes voisines ou par-dessus des barrières externes submergées (d'où une évolution cinétique « progressive »),
- D'autre part, et de façon négative, des impacts anthropiques à la côte, directs ou indirects, affectant la qualité des eaux côtières dans lesquelles baignent ces fronts (d'où une évolution cinétique « régressive »).

C'est cet équilibre, instable dans le temps, qui régit cette vitalité corallienne des fronts de ces récifs frangeants.

Toutefois, on observe cette année un remplacement des espèces de Scléactiniaires les plus « caractéristiques » mais ayant des exigences écologiques particulières (telles les formes hautes et digitées, dont les Acropores à écomorphes branchus et tabulaires) au profit d'espèces, plus résistantes aux différents « stresses » ou impacts divers et ayant elles des exigences écologiques moins strictes (leurs formes sont alors souvent plus rases, plus massives ou encroûtantes). Dans ce derniers cas, des « métapopulations » bien adaptées à des degrés divers de « stresses » peuvent alors se développer.

Les taux de couverture corallienne de ces fronts ne reflètent donc pas parfaitement l'état de santé des populations (ou « assemblages faunistiques ») de coraux Scléactiniaires. Ce n'est donc qu'un indice quantitatif et non pas qualitatif associé aux peuplements types « en équilibre ».

5.3 VERS UNE MODIFICATION DE LA COMPOSITION DES PEUPELEMENTS CORALLIENS ?

Afin de mieux appréhender la dynamique récifale observée au travers des différentes campagnes, nous nous sommes intéressés à la composition des peuplements de Scléactiniaires qui ornent les fronts des récifs frangeants de l'île. Il a pour cela été réalisé une analyse croisée de différents éléments provenant (i) d'anciennes données d'observation semi-quantitatives extraites de la bibliographie existante, (ii) des suivis du GCRMN développés sur quelques stations sentinelles du récif frangeant depuis 1998, (iii) des diverses observations réalisées lors du dernier épisode de blanchissement corallien massif d'avril-mai 2010, et (iv) des photographies associées à chaque point d'observation qui ont été acquises lors de la campagne de terrain 2012 de la présente étude.

Sur la base de ces différents éléments, plusieurs indices semblent pouvoir être mis en évidence :

- 1- Une modification des espèces de coraux dominantes au cours du temps,
- 2- Une résistance accrue face à certains stress (blanchissement) chez les communautés qui se développent actuellement sur les récifs frangeants,
- 3- Un développement de ces espèces robustes qui semble être favorisé indirectement par l'augmentation des pressions humaines qui agissent en continu et limitent la survie des espèces sensibles.

5.3.1 Modification des communautés de coraux dominantes au cours du temps

Les données les plus anciennes sur la composition semi-quantitative des peuplements coralliens sur les fronts récifaux des récifs frangeants de Mayotte (Durand & Thomassin 1992; Thomassin *et al.* 1998; Thomassin 1999) font état, sur les stations de récifs frangeants de l'ORC (exceptée la station de l'île verte), de peuplements coralliens florissants et principalement représentés par des Acropores branchus et tabulaires (cf.

Tableau 11). Le récif frangeant de l'île verte est, contrairement aux stations ORC précédentes, baigné par les eaux typiquement néritiques du fond de la baie de Longoni, et présentait en effet déjà à l'époque des peuplements coralliens de fonds de baie, adaptés à subir des stress divers (coraux massifs, alcyonnaires, etc.).

Tableau 11 : communautés coralliennes dominantes sur les stations de récif frangeant de l'ORC avant l'épisode de bleaching de 1998

Secteur récifal	Station ORC	Communautés dominantes	Références
Douamougno	Douamougno	Acropores tabulaires & branchus, Millepores et Porites nigrescens	Thomassin et al., 1998. Observations du 23/09/1997
Saziley	Saziley	Acropores branchus & Acropores tabulaires	Thomassin et al., 1999. Observations du 30/05/1998
Baie de Longoni	Ile verte	Peuplements coralliens de fonds de baie, adaptés à subir des stress divers (coraux massifs, alcyonnaires...)	Thomassin et al., 1999. Observations de 1986 à 1997
Chembenyoumba	Tanaraki	Acropores branchus (100%) au nord de l'îlot Acropores branchus & Acropores tabulaires au sud de l'îlot	Durand et Thomassin, 1992. Observations de avril 1990

Les données les plus récentes (campagne 2011 –Point 8 de l'ORC, (Nicet *et al.* 2012)) sur la composition des peuplements coralliens, actualisées sur ces mêmes stations de l'ORC, témoignent, à l'inverse, de peuplements composés très majoritairement de formes massives-encroûtantes-foliacées et digitées (particulièrement sur la station Tanaraki pour laquelle les Acropores digités représentent 97 % des coraux observés) (Tableau 12).

Tableau 12 : communautés coralliennes dominantes sur les stations de récif frangeant de l'ORC en 2011 (campagne ORC 8, Nicet *et al.*, 2012)

Secteur récifal	Station ORC	Type de scléactiniaires	Proportion parmi le peuplement total de scléactiniaires (%)
Douamougno	Douamougno	Acropores branchus	12
		Acropores tabulaires	0
		Acropores digités	20
		Groupes des massifs-encroûtants-foliacés	68
Saziley	Saziley	Acropores branchus	14
		Acropores tabulaires	1
		Acropores digités	31
		Groupes des massifs-encroûtants-foliacés	54
Baie de Longoni	Ile verte	Acropores branchus	24
		Acropores tabulaires	0
		Acropores digités	35
		Groupes des massifs-encroûtants-foliacés	41
Chembenyoumba	Tanaraki	Acropores branchus	2
		Acropores tabulaires	0
		Acropores digités	97
		Groupes des massifs-encroûtants-foliacés	1

5.3.2 Les communautés qui se développent sur les récifs frangeants seraient plus résistantes à certains stress

Dans la note sur le phénomène remarquable de blanchissement corallien de mai-juin 1983, Faure *et al.* (1984) précisent que le blanchissement et la mortalité corallienne s'observent selon un gradient dégressif depuis les platiers et pentes des récifs frangeants jusque sur la barrière récifale et sa pente externe. Les récifs frangeants et les récifs internes avaient donc été les plus fortement touchés. Les relevés effectués lors du point 0 de l'ORC (Novembre 1998) ont permis de caractériser en partie l'incidence de l'épisode de blanchissement d'avril 1998 sur les récifs coralliens de Mayotte. Ils font état d'un blanchissement massif et d'une mortalité corallienne associée forte à très forte sur les 3 stations de récifs frangeants de Saziley, Douamougno et Tanaraki. En revanche, les peuplements coralliens du récif frangeant de l'Ile Verte ont certes blanchi, y compris les alcyonaires, mais ils n'ont montré que très peu de mortalité par comparaison aux autres récifs, car beaucoup plus résistants que les peuplements de ces derniers aux conditions limites (Thomassin, 1999).

Les relevés effectués lors du point 8 de l'ORC (Nicet *et al.* 2012) ont permis, par comparaison avec les relevés de 2008, de caractériser l'incidence de l'épisode de blanchissement de mai-juin 2010 sur les récifs coralliens de Mayotte. Les résultats ont montré que pour l'ensemble des stations de platiers de récif frangeant de la Grande Terre, l'impact du phénomène de blanchissement corallien de 2010 semble avoir été relativement modéré (la couverture corallienne moyenne a diminué de 15 % pour l'ensemble des stations suivies en 2011). Les sites ont cependant réagi différemment : le site de Saziley, par exemple, a été assez fortement impacté (la couverture corallienne est passée de 32 à 18 % du substrat entre 2008 et 2011), et à l'inverse, le site de Tanaraki montre une augmentation significative de la couverture corallienne (notamment en Acropores digités) au cours du même intervalle de temps.

Il est intéressant de noter que si la mortalité imputable au phénomène de blanchissement corallien survenu en 2010 a été dans son ensemble relativement modérée sur les fronts des récifs frangeants, le blanchissement des colonies sur ce type de récif observé pendant l'épisode a lui été fort à très fort selon les secteurs (Obura *et al.* 2010; Erikson *et al.* 2012 ; Wickel et Jamon, observations personnelles de mai 2010). Il semblerait donc que les communautés coralliennes des récifs frangeants de la Grande Terre aient été affectées par cet épisode de blanchissement à l'égal des autres types de récifs, mais ont montré une résistance bien plus forte avec une mortalité associée largement moindre. La mortalité associée au blanchissement de 2010 a en effet été très forte sur la quasi totalité du récif barrière (Pareto, 2013).

Cette différence de réponse selon le type de récifs à l'épisode de blanchissement de 2010 peut être illustrée (Figure 24) avec l'analyse comparant l'évolution du recouvrement corallien sur les îlots Choizil (entre 2006 et 2012) et celle du recouvrement corallien des secteurs adjacents (Mzamboro et Mugini) de la Grande Terre (entre 2004 et 2012). Les résultats du test SNK attestent d'une évolution aux tendances inversées au cours de l'intervalle de temps :

- Une très forte diminution de la couverture corallienne sur les îlots Choizil entre 2006 et 2012. Cette chute remarquable des taux de couverture par les coraux des fronts récifaux des îlots Choizil est directement liée au phénomène de blanchissement de 2010, puisque l'ensemble des observations effectuées sur ce site lors de l'épisode atteste de fortes densités de coraux qui présentent un taux de blanchissement exceptionnellement fort (observations personnelles des auteurs),
- Une augmentation de la couverture corallienne des secteurs récifaux adjacents aux îlots (Mugini et Mzamboro) entre 2004 et 2012.

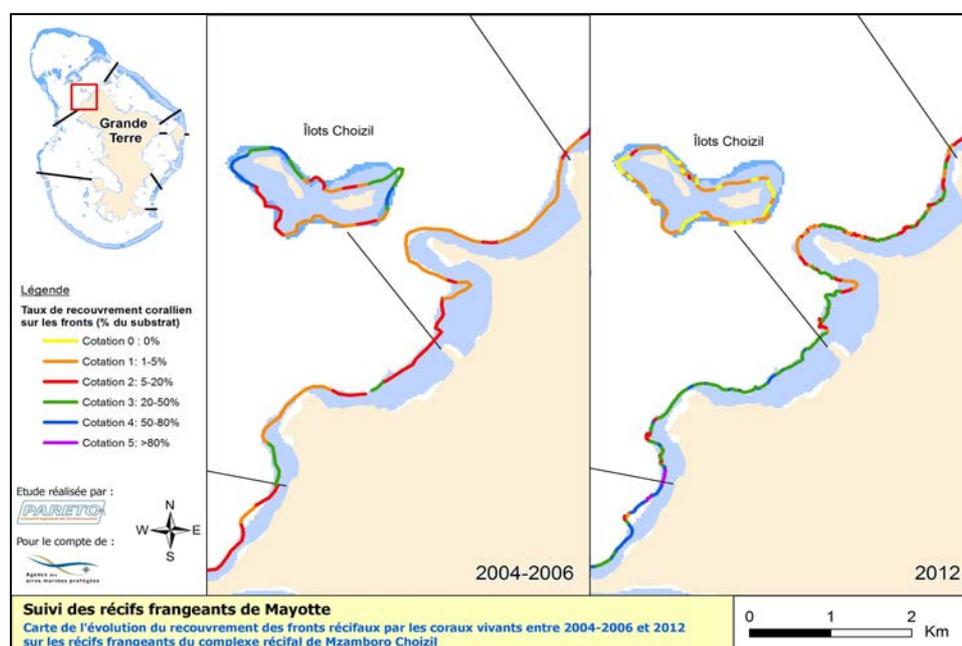


Figure 24 : évolution du recouvrement corallien des fronts récifaux frangeants entre 2004 (GT)-2006 (îlots) et 2012 (GT et îlots), complexe récifal de Mzamboro-Choizil.

Il semble donc que les peuplements coralliens des récifs frangeants de la Grande Terre, qui sont les plus directement soumis aux pressions d'origine terrestre (contamination et charge sédimentaire des eaux de ruissellement) car situés directement en aval des bassins versants, affichent une capacité de résistance aux épisodes de blanchissement corallien qui s'améliore au cours du temps. Ce constat pourrait traduire une « adaptation » des peuplements des récifs frangeants de la Grande Terre à des conditions contraignantes (mauvaise qualité des eaux) en limitant le développement des espèces sensibles et en favorisant donc indirectement le développement d'espèces robustes aux capacités de résistance/résilience plus fortes.

5.3.3 Le développement des espèces robustes est favorisé indirectement par l'augmentation des pressions humaines

L'analyse de la composition du peuplement corallien qui a pu être opérée par analyse de 180 photos-quadrats prises lors de chaque point d'observation lors de la campagne de terrain 2012 fait ressortir une différence de la proportion des différentes communautés au sein des différentes cotations de recouvrement.

On observe ainsi une représentativité des Acropores (ACD, ACT et ACB) qui semble corrélée positivement avec le taux de recouvrement corallien global (Figure 25). On note également une distinction au sein des coraux Acropores, avec les formes tabulaires et branchues qui prennent de l'importance sur les secteurs affichant les meilleures cotations (4 et 5). La composition des communautés de Scléactiniaires apparaît donc différente selon le niveau de recouvrement de la station avec :

- Pour les faciés « dégradés » (cotations 0, 1 et 2), un peuplement co-dominé par les MEF et ACD, ces 2 groupes totalisant 91 % du recouvrement corallien,
- Pour les faciés « de bon état » (cotations 4 et 5), un peuplement au sein duquel les MEF perdent de l'importance (16 %) au profit des ACT (12 %) et ACB (10 %).

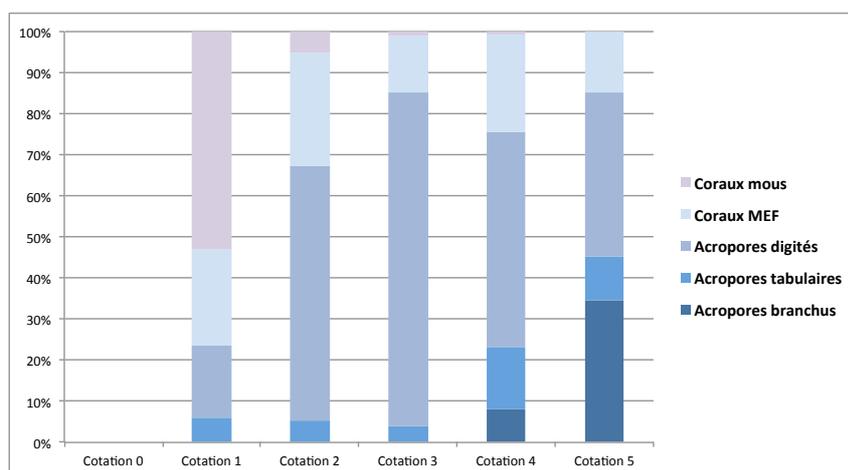


Figure 25 : distribution relative des communautés coralliennes au sein de chaque cotation, récifs frangeants de la Grande Terre (présente étude)

Il semble donc que la sélection évolutive, fortement liée à Mayotte aux pressions anthropiques et apports des bassins versants en amont, n'agisse pas de la même manière sur l'ensemble du peuplement corallien, mais favorise la survie et le développement de certains types de coraux :

- La présence des espèces les plus sensibles (ACT et surtout ACB) a drastiquement diminué des fronts récifaux frangeants de l'île de Mayotte (en référence aux observations les plus anciennes) et ces formes subsistent aujourd'hui sous formes de patchs qui peuvent s'observer sur les secteurs en bon état relatif,
- Les ACD et le groupe des MEF, qui paraissent a contrario bien plus robustes étant donné leur capacités à se développer dans les secteurs les plus dégradés, semblent profiter de l'espace laissé vide par la disparition des formes les plus sensibles. L'augmentation globale du recouvrement par les Scléactiniaires qui s'observe en 2012 sur les fronts des récifs frangeants de la Grande Terre pourrait ainsi être due au développement préférentiel de ces coraux robustes.

5.4 EN RESUME

L'ensemble des indices mis en évidence précédemment abonde dans le sens d'une évolution dans la composition spécifique du peuplement corallien qui se développe sur les récifs frangeants de la Grande Terre sous l'influence de perturbations diverses. Cela pourrait étayer l'hypothèse d'un « shift » depuis des communautés « climaciques » au profit d'espèces opportunistes plus robustes.

S'appuyant sur cette hypothèse, la dynamique des communautés récifales sur les fronts des récifs frangeants de la Grande Terre pourrait ainsi suivre le schéma suivant (Figure 26) :

- Campagne 1989 : Forts recouvrements, peuplements dominés par les formes branchues et tabulaires,
- Campagne 1997 : On assiste déjà à la dégradation des récifs avec une forte baisse de la couverture générale. Les espèces sensibles (ACB et ACT) qui occupaient une place prépondérante dans le peuplement disparaissent progressivement sous l'effet des pressions environnementales diverses (sédimentation, mauvaise qualité des eaux de ruissellement, infestations d'Acanthaster, etc.),
- Bleaching 1998 : Très forte mortalité corallienne, sur les fronts récifaux frangeants notamment. « Nettoyage » des espèces sensibles présentes sur le récif,
- Campagne 2004 : La résilience des récifs suite au blanchissement de 1998 est amorcée. Le recrutement larvaire concerne l'ensemble des espèces coralliennes mais les conditions environnementales dégradées favorisent le développement des espèces les plus robustes,
- Bleaching 2010 : Le blanchissement des tissus coralliens s'observe de façon très nette en temps réel mais la résistance des espèces en place est forte et la mortalité corallienne consécutive relativement faible sur les récifs frangeants,
- Campagne 2012 : Les espèces robustes, pouvant être qualifiées d'« opportunistes » continuent à se développer dans un environnement qui leur est favorable, et le niveau moyen de la couverture corallienne des fronts récifaux frangeants dépasse désormais celui de 2004 et 1997. Le peuplement est désormais dominé par les formes massives, digitées, encroûtantes et foliacées.

Malgré une augmentation actuelle de la couverture corallienne globale sur de nombreux secteurs récifaux de l'île, ce scénario hypothétique sur la structuration actuelle et à venir des communautés coralliennes laisse présager des incidences négatives en termes de diversité biologique sur l'ensemble de l'écosystème récifal. Cette perte de diversité est visible au travers de la diminution (i) des espèces de Scléactiniaires à proprement parler et (ii) de la complexité architecturale via la disparition progressive des formes branchues et tabulaires qui sont celles offrant le plus fort potentiel en micro-habitats.

En effet, l'augmentation de la fréquence globale des perturbations - perturbations ponctuelles (épisodes de blanchissement corallien massifs, infestations d'Acanthasters, etc.) associées aux perturbations chroniques (mauvaise qualité des eaux, charge en particules terrigènes, maladies coralliennes consécutives, etc.) - à laquelle doivent faire face aujourd'hui les récifs coralliens frangeants de l'île de Mayotte tend à éloigner le curseur de l'état de perturbation intermédiaire qui garantit le niveau de diversité maximale selon l'Intermediate Disturbance Hypothesis (Connell, 1978) (Figure 27).

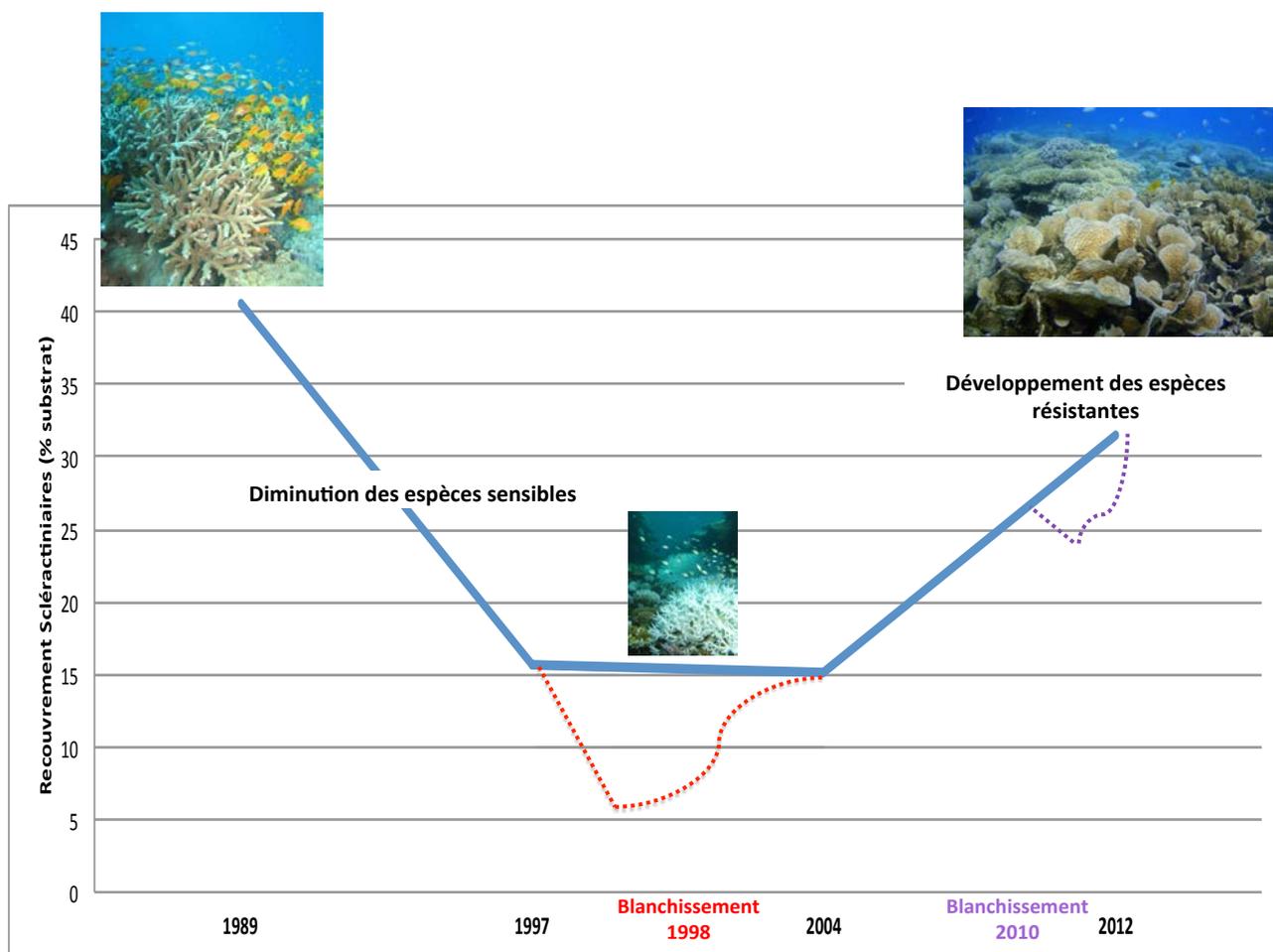


Figure 26 : Synthèse des dynamiques récifales observées sur les récifs frangeants de Grande Terre (photos ©Julien Wickel)

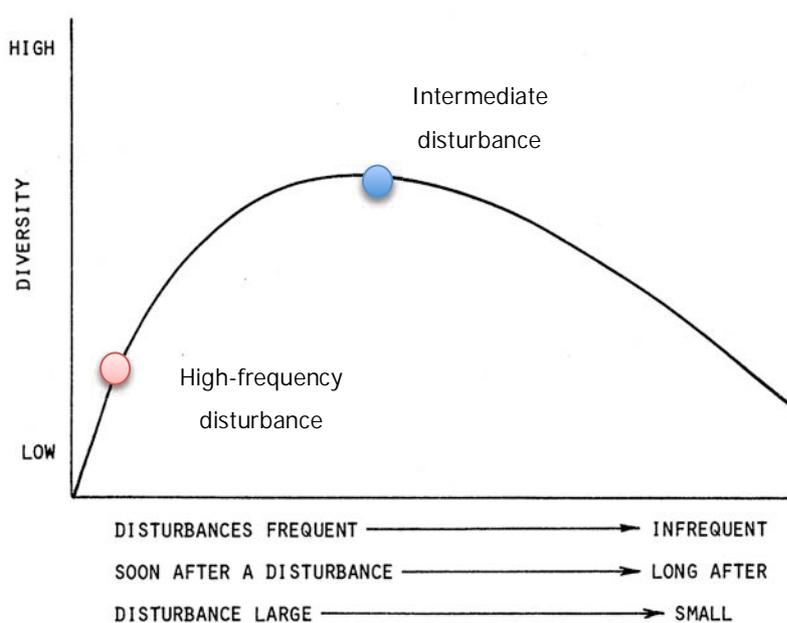


Figure 27 : illustration de la théorie de l'intermediate disturbance hypothesis (Connell, 1978).

6 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La présente étude a permis de satisfaire aux objectifs généraux et spécifiques fixés initialement par le cahier des charges. L'élément majeur qui ressort de cette campagne est une nette augmentation des taux de recouvrement corallien sur les fronts récifaux frangeants de la Grande Terre (+ 16% à l'échelle de l'île depuis la dernière campagne de 2004). Afin d'expliquer cette augmentation, l'interprétation croisée de différents paramètres a conduit à la formulation de l'hypothèse d'une modification des communautés benthiques dominantes en faveur d'espèces robustes et opportunistes. Ces espèces sembleraient être favorisées par les conditions environnementales contraignantes, liées à l'augmentation des pressions anthropiques, et développer des capacités de résistance plus fortes face aux perturbations ponctuelles comme les épisodes de blanchissement massif.

Toutefois, cette hypothèse ne peut être affirmée avec certitude car la méthodologie initialement développée dans le cadre de ce suivi n'est pas adaptée à une quantification des différentes communautés coralliennes dominantes : en effet, la méthodologie mise en œuvre depuis les débuts du suivi de l'état de santé des récifs frangeants de Mayotte présente comme principal intérêt de pouvoir évaluer rapidement le taux de recouvrement corallien de zones récifales de grandes superficies (environ 10 km d'observation continue du linéaire de front récifal par jour) et donc de disposer rapidement d'informations à très forte représentativité spatiale à l'échelle de l'île. En cela, cette méthodologie est tout à fait pertinente. Elle est par ailleurs complémentaire du suivi pratiqué sur les stations de récif frangeant de l'observatoire des récifs coralliens (ORC) de Mayotte et pour lequel la méthode du Line Intercept Transect, reconnue au niveau mondial par le GCRMN (Conand *et al.* 1998), est mise en œuvre. Cette méthode permet en effet de disposer d'informations fines sur la composition du peuplement corallien puisque les coraux sont déterminés au niveau spécifique et mesurés au centimètre près. En revanche, la mise en œuvre des interventions de terrain et le haut niveau d'expertise requis limitent très fortement le nombre de réplicats qu'il est possible de faire. La dimension temporelle de ce suivi GCRMN est donc particulièrement intéressante, au détriment de la dimension spatiale. Par ailleurs, le suivi des récifs frangeants de Mayotte ayant débuté dès 1989, il fournit, avec cette dernière campagne de 2012 une série temporelle importante des plus longues. Au vu de ces 2 éléments (dimension spatiale importante et longue série temporelle), il semble primordial de pérenniser ce suivi à forte valeur ajoutée.

Néanmoins, devant (i) l'hypothèse d'un changement dans la composition des communautés coralliennes qui s'observe actuellement sur les récifs frangeants de Mayotte et (ii) les limites de la méthodologie initiale en termes de capacité d'analyse *a posteriori*, qui ont été mises en évidence lors de la présente étude, il nous paraît primordial d'affiner le niveau d'information récoltées sur le terrain afin d'être en mesure à l'avenir d'appréhender plus justement les dynamiques récifales qui s'observent. En effet, l'indicateur ciblé par le suivi des récifs frangeants de l'île engagé dès 1989 (taux de recouvrement du substrat par les Scléactiniaires) n'apporte pas d'information quantitative sur les espèces qui composent le peuplement corallien. Cela apparaît comme une lacune importante qui empêche aujourd'hui une comparaison de l'état actuel avec les campagnes précédentes.

Dans l'optique de pallier à ce manque, et en complément de l'attribution d'une cotation de recouvrement, une prise de photographies sous-marines verticales sur chaque point d'observation a été initiée au cours de la présente campagne. L'analyse des communautés benthiques dominantes qui en a été faite par traitement CPCe s'est révélée tout à fait importante pour établir un état de référence 2012 de la composition du peuplement. Aussi, afin d'assurer un suivi de la composition spécifique du peuplement corallien qui permettrait de valider l'hypothèse formulée en discussion, il nous semble primordial lors de la prochaine campagne du suivi « récifs frangeants » de poursuivre ce travail en (i) actualisant la prise de photographies verticales sur les points d'observations et (ii) intégrant en amont le temps nécessaire en aval au traitement des images.

D'autres descripteurs pourraient également être relevés telle la rugosité, paramètre qui permettrait d'appréhender et de suivre sur le long terme la structuration tri-dimensionnelle du récif.

7 BIBLIOGRAPHIE

Ahamada S., Bigot L., Bijoux J., Koonjul M., Maharavo M., Lynch T., Meunier S., Moyne-Picard M. (2003). Rapport régional "suivi de l'état de santé des récifs" - Région Sud Ouest de l'Océan Indien - Rapport annuel 2003. 91 pp.

Ahamada, S., Bijoux J., Cauvin B., Hagan H., Harris A., Koonjul M., Meunier S., Quod JP. (2008). Status of Coral Reefs in the South-West Indian Ocean Island States: Comoros, Madagascar, Mauritius, Reunion, Seychelles: 105–118 In: Wilkinson, C. (ed.). Status of Coral Reefs of the World: 2008. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Center, Townsville, Australia.

Arnoux S., Fraunie F., Dekeyser I., Thomassin B.A. (1994). Simulation de circulation hydrodynamique à l'aide d'un modèle tridimensionnel du complexe récifo-lagonaire « Ajangoua-Bandrélé », Ile de Mayotte, lagon Est. Rapp. Centre d'Océanologie de Marseille (C.N.R.S. – U.R.A. n° 41), Univ. Aix-Marseille 11, pour Serv. Pêches & D.A.F. Mayotte, mars 1994 : 50 pp. + annexe

Arvam, Pareto, Daf (2004). Observatoire des récifs coralliens de Mayotte - surveillance de l'état de santé des récifs - Réalisation du "Point ORC 5 - 2003". 50pp.

Arvam, Daf (2003). Observatoire des récifs coralliens de Mayotte - Surveillance de l'état de santé des récifs, suivi 2002. Réalisation de la campagne ORC et analyse des communautés benthiques 1998 - 2002. 45 pp.

Battistini et al. (1975). Eléments de terminologie récifale indopacifique. Téthys, Suppl. 7 (1) : 1-111.

Bigot L., L. Charpy, J. Maharavo, F. A. Rabi, N. Paupiah, R. Aumeeruddy, C. Villedieu, and A. Lieutaud (2000). Status of Coral Reefs of the Southern Indian Ocean: the Indian Ocean Commission Node for Comoros, Madagascar, Mauritius, Reunion and Seychelles: 77–93 In: Wilkinson, C. (ed.). Status of Coral Reefs of the World: 2000. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Center, Townsville, Australia.

Chevalier C., Devenon J.-L., Rougier G. (2008). Experimental characterization of the oceanic water fluxes in a macro-tidal intermittently open lagoon bounded by semi-submerged coral reef. 13th France-Japon Oceanography Symp. « Global change: interactions manking-marine environments », Marseille, September 8th-10th, Abstract Vol. : 25.

Conand C., P. Chabanet, J. P. Quod, and L. Bigot (1998). Suivi de l'état de santé des récifs coralliens du Sud-Ouest de l'Océan Indien. Manuel méthodologique. Programme Régional Environnement COI. 27 pp.

Connell JH (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs. Science, New series 199:1302–1310.

Daf, Collectivité départementale de Mayotte (2005). Mayotte, plan d'action pour la biodiversité. 38 pp.

Dahl A. L (1981). Coral reef monitoring handbook. South Pacific Commission, Nouméa. 21 pp

De la torre Y., Delattre M., Idier D., Romieu E. (2008). Modélisation courantologique du lagon de Mayotte. Rapport B.R.G.M. / RP-56334-FR : 133 pp. multigr.

Descamps P., D. Fray, B. A. Thomassin, S. Castellani, J. Layssac (1998). Massive mortality following a huge bleaching of reef corals at Mayotte I. (SW Indian Ocean) at the end of the 1998 austral summer. International Society for Reef Studies. European meeting-Perpignan 1-4 september 1998.

- Dinhut V., J. B. Nicet, J. P. Quod (2008). Suivi et état de santé 2007 des récifs coralliens de Mayotte. *Revue Ecologie (Terre Vie)* 63:103–114.
- Dumas P., A. Bertaud, C. Peignon, M. Léopold, D. Pelletier (2009). A "quick and clean" photographic method for the description of coral reef habitats. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 368:161–168.
- Dumont G.-F (2005). Mayotte, une exception géopolitique mondiale. *Outre-Terre* 11:515–527.
- Durand D., B. A. Thomassin (1992). Les récifs frangeants de l'île de Mayotte ("Grande Terre"): état des platiers et du sommet des pentes externes en 1989-1990: bilan de santé global. 66 pp.
- Erikson H., J. Wickel, A. Jamon (2012). Coral Bleaching and Associated Mortality at Mayotte, Western Indian Ocean. *Western Indian Ocean J. Mar. Sci.* 11:113–118.
- Faure G., M. Guillaume, C. Payri, B. A. Thomassin, M. Van Praët, P. Vasseur (1984). Sur un phénomène remarquable de blanchiment et de mortalité massive des madréporaires dans le complexe récifal de l'île Mayotte (SW Océan Indien). *C. R. Acad. Sc. Paris*, 299, sér. III, 15:637– 642.
- Gargominy O. (2003). Biodiversité et conservation dans les collectivités françaises d'outre-mer. Page X et 246 pp. Collection Planète Nature. Comité Français pour l'UICN, Paris, France.
- Garnier R., J. P. Quod (2000). Evaluation de l'impact du phénomène de blanchissement sur les récifs coralliens de l'île de La Réunion: analyse écologique. 44 pp.
- Goreau T. J., T. McClanahan, R. Hayes, A. Strong (2000). Conservation of Coral Reefs after the 1998 Global Bleaching Event. *Conservation Biology* 14:5–15.
- Gourbesville P., Thomassin B.A. (1998). Station d'épuration des eaux usées de Mamoudzou-Kavani : construction dans la mangrove de Kavani et rejet de l'effluent dans le lagon "Agangoua-Bandélé" (secteur septentrional, chenal de l'îlot Bouzi). 2^e partie. Modélisation hydrodynamique du lagon et de l'effluent ; optimisation de l'émissaire. *Rapp. G.I.S. "Lag-May"*, Dir. Equipement Mayotte, déc. 1998 : 101 pp. multigr.
- Guezel R., A. Quartararo, L. Aboutoïhi, K. Saindou, P. Salaün, B. Ybrahim, J. P. Arnaud (2009). Les hommes et l'océan - Pour un parc naturel marin à Mayotte - Dossier de consultation du Parc naturel marin de Mayotte - Mission d'étude pour la création d'un parc naturel marin à Mayotte, Agence des aires marines protégées. 72 pp.
- Hodgson G. (1999). A global assessment of human effects on coral reefs. *Marine Pollution Bulletin* 38:345–355.
- Idde, Cet Mayotte, Via Aqua, Sinaps, Gis LagMay (2012). Etude de faisabilité technico-économique d'un projet d'aquaculture industrielle à Mayotte. Rapport pour le compte de CAPAM Mayotte & « Aqua-mater Mayotte ».
- Idde, Gis LagMay (2013). Projet de développement de la ferme de production de poissons marins de Mayotte Aqua-Mater. Dossier d'études d'impact et de demande d'autorisation d'exploiter au titre de la loi sur les ICPE. 124 pp. multigr.
- Insee Mayotte (2012). Recensement: 212 600 habitants à Mayotte en 2012 - La population augmente toujours fortement. *Population* 61:1–4.
- Jeanson M. (2009). Morphodynamique du littoral de Mayotte : des processus au réseau de surveillance. Thèse Doct. Géogr. Phys., Univ. du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, 19 nov. 2009 : 347 pp. multigr.
- Kohler K. E., S. M. Gill (2006). Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers & Geosciences* 32:1259–1269.
- Lecacheux S., Balouin Y., De la torre Y. (2007). Modélisation des vagues d'origine cyclonique à Mayotte. Rapport B.R.G.M., n° BRGM/RP-55981-FR, nov. 2007 : 106 pp. multigr.

- McClanahan T., M. Ateweberhan, N. Graham, S. Wilson, C. Sebastián, M. Guillaume, H. Bruggemann (2007). Western Indian Ocean coral communities: bleaching responses and susceptibility to extinction. *Marine Ecology Progress Series* 337:1–13.
- Nicet J. B., A. Jamon, G. Simian, P. Chabanet, C. Bissery, A. Gigou, L. Aboutoïhi, L. Bigot, J. P. Quod (2012). ORC 8 - Suivi 2011 de l'état de santé des récifs coralliens de Mayotte - Suivi benthique et ichtyologique, et impact du blanchissement de 2010. 72 pp. + annexes.
- Nicet J. B., J. Wickel, A. Jamon, V. Dinhut (2009). "ORC 7": Suivi 2008 de l'état de santé des récifs coralliens de Mayotte. 93pp.
- Obura D., F. Benzoni, L. Bigot (2010). Coral bleaching and mortality in Mayotte in May 2010. The roles of environmental and biological factors. Poster WIOMSA 7th symposium, 2011.
- Pareto (2013). Etat de santé 2013 du récif barrière et des récifs internes de Mayotte. Evolution depuis 2005. En cours.
- Porcher M., Schrimm M., Oberlinkels M., Morancy R., Nicot S., Gabrie C., Cheminée A., Quod J.-P., Bigot L., Esbelin C. et coll. Thomassin B.A., Blasco F., Fromard F., (2002). Plan de gestion du Lagon de Mayotte. Volet n° 2 : Etat des lieux des milieux côtiers et récifo- lagonaires. Rapport « CAREX Environnement »-W.W.F.-ARVAM pour Coll. Terr. Mayotte / D.A.F. : 84 pp.
- Quod J.P., L. Bigot (1999). Coral bleaching in the Indian Ocean Islands: ecological consequences and recovery in Madagascar, Comoros, Mayotte and Reunion.
- Rolland R., V. Bouillet (2005). Mayotte - Biodiversité et évaluation patrimoniale - Contribution à la mise en oeuvre de l'inventaire ZNIEFF. 324 pp.
- Réunion du comité national de l'IFRECOR (2000). Plan d'action national et plans d'actions locaux pour les récifs coralliens et les écosystèmes associés. 55 pp.
- Sheppard C. R. (2003). Predicted recurrences of mass coral mortality in the Indian Ocean. *Nature* 425:294–297.
- Thomassin B. A., Arnoux A., Berland B., Bechemin C., Pichon M., Fertille J.C., Marshall C., Roy D. (1998). Les récifs coralliens frangeants de l'île de Mayotte ("Grande Terre"): ré-examen de l'état de santé et bilan de la qualité des eaux côtières (14 septembre-15 octobre 1997). 61 pp. + annexes.
- Thomassin, B. A., "D.A.F./S.P.E.M. Mayotte", en coll. avec K. PRIESS (1999). Observatoire des Récifs Coralliens (O.R.C.) de Mayotte. Description des stations & "Point zéro" de l'état de vitalité des peuplements (oct.-nov. 1998). 126 pp.
- Thomassin B. A., Garcia F., Sarrazin L., Schembri Th., Wafo E., Lagadec V., Risoul V., Wickel J. (2011). Coastal seawater pollutants in the coral reef lagoon of a small tropical island in development: The Mayotte example (N Mozambique Channel, SW Indian Ocean) : 401-407, in : CECCALDI H.-J., DEKEYSER I., GIRAULT M., STORA G., eds., *Global Change Mankind-marine environment interactions*, Proc. 13th French-Japanese Oceanogr. Symp., Springer Science+Business Media, Coll. Earth Sciences: 1-449.
- Thomassin B.A., Lhama, Wickel J. (2008). Mayotte : Evaluation de la qualité des eaux côtières du lagon à partir des polluants dosés dans les huîtres médiolittorales (Octobre-Novembre 2007). Rapport pour IFRECOR, Préf. de Mayotte : 137 pp. multigr.
- Wagner M., J. B. Nicet, J. P. Quod, and R. Garnier (2004). Suivi 2003 de l'état de santé des récifs coralliens de La Réunion. 63 pp.
- Wendling B., Y. Dahalani, S. Le Calve, L. Bigot, M. Ducrocq, J. Turquet (2000). Résultats du "point 1" de l'Observatoire des Récifs Coralliens de Mayotte (ORC) - Novembre 1999. 34 pp. + annexes.
- Wickel J. (2006a). 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.

Wickel, J. (2006b). 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.

Wickel J., B. A. Thomassin (2005). Les récifs coralliens frangeants de l'île de Mayotte (Grande Terre): bilan de l'état de santé en 2004 et évolution depuis 1989. Rapport Espaces pour DAF Mayotte. 69 pp + annexes.

Wilkinson C. (2002). Status of Coral Reefs of the World: 2002. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville, Australia. 388 pp.

Wilkinson C. (2008). Status of coral reefs of the world: 2008. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville, Australia. 296 pp.

ANNEXES

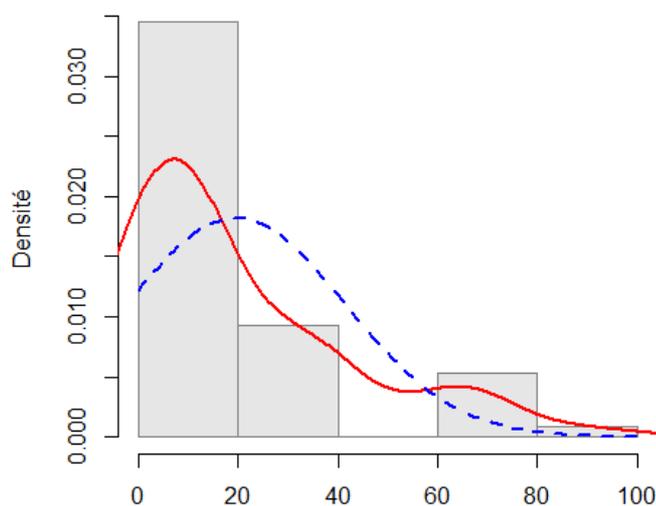
Parc Naturel Marin de Mayotte (PNMM)
ETAT DE SANTE DES RECIFS FRANGEANTS DE LA GRANDE TERRE ET DES ILOTS DU LAGON DE MAYOTTE
 Situation en 2012 et analyse de l'évolution spatiale et temporelle depuis 1989

Annexe 1: données de recouvrement par les Scléroractiniales des fronts récifaux frangeants de la Grande Terre entre 1989 et 2012

Complexe récifal	Secteur récifal	Linéaire de front récifal observé (m)	1989					1997					2004					2012								
			Recouvrement moyen en Scléroractiniales (%)	Taux de couverture en Scléroractiniales (%)					Recouvrement moyen en Scléroractiniales (%)	Taux de couverture en Scléroractiniales (%)					Recouvrement moyen en Scléroractiniales (%)	Taux de couverture en Scléroractiniales (%)					Recouvrement moyen en Scléroractiniales (%)	Taux de couverture en Scléroractiniales (%)				
				0%	1-20%	20-50%	50-80%	>80%		0%	1-5%	5-20%	20-50%	50-80%		>80%	0%	1-5%	5-20%	20-50%		50-80%	>80%	0%	1-5%	5-20%
Complexe récifal de Mzamboro - Choizil	Douamougnou	3909	77.0 ± 12.6	0,0	0,0	0,0	51,7	48,3	31.8 ± 8.4	0,0	12,3	87,7	0,0	0,0	3.6 ± 4.8	63,8	36,1	0,0	0,0	16.0 ± 14.1	16,7	53,5	28,3	1,5	0,0	
	Mzamboro	5121	71.4 ± 11.0	0,0	0,0	0,0	74,0	26,0	33.3 ± 6.3	0,0	6,8	93,2	0,0	0,0	2.1 ± 4.1	79,0	21,0	0,0	0,0	16.2 ± 14.5	18,1	52,5	27,5	1,9	0,0	
	Mugini	3483	77.1 ± 12.6	0,0	0,0	0,0	51,5	48,5	31.6 ± 15.5	0,0	25,0	65,5	9,5	0,0	12.1 ± 13.7	39,0	37,2	23,8	0,0	43.9 ± 21.3	0,0	13,4	49,8	31,6	5,1	
	Mohila	2461	89.0 ± 5.0	0,0	0,0	0,0	3,8	96,2	19.0 ± 15.1	22,1	32,6	45,4	0,0	0,0	9.1 ± 8.0	25,7	68,4	5,9	0,0	39.8 ± 34.6	34,1	5,3	10,4	36,2	13,9	
	Total	14974	77.2 ± 12.5	0,0	0,0	0,0	51,3	48,7	30.2 ± 12.2	3,6	16,7	77,5	2,2	0,0	6.0 ± 9.0	57,0	36,6	6,4	0,0	26.5 ± 24.2	16,1	35,9	30,1	14,3	3,5	
Complexe récifal de la Barrière Submergée Ouest	Mohila	1698	46.0 ± 27.8	0,0	0,0	0,0	71,5	28,5	10.0 ± 10.3	29,4	58,0	12,6	0,0	0,0	11.3 ± 8.0	9,1	81,8	9,0	0,0	40.9 ± 34.5	14,9	26,5	15,8	21,8	21,1	
	Mliha	6975	79.7 ± 12.3	0,0	0,0	0,0	41,3	58,7	26.8 ± 16.7	6,0	33,2	53,8	7,1	0,0	18.2 ± 14.5	13,1	50,8	34,7	1,4	46.8 ± 29.0	10,3	17,1	15,0	46,8	10,7	
	Chembenyoumba	7250	80.0 ± 12.3	0,0	0,0	0,0	39,8	60,2	32.3 ± 16.3	8,0	42,1	45,1	4,9	0,0	40.4 ± 20.6	6,0	9,5	54,1	28,4	2,0	60.1 ± 30.3	6,9	11,3	8,7	38,6	34,5
	Tsingoni	5504	77.6 ± 12.6	0,0	0,0	0,0	49,8	50,2	29.0 ± 12.7	0,0	27,0	70,0	3,0	0,0	28.8 ± 20.9	15,7	21,3	47,3	15,7	0,0	54.3 ± 29.7	8,0	9,8	23,7	31,9	26,7
	Sohoa	3489	53.6 ± 14.7	0,0	0,0	37,4	62,5	0,0	24.9 ± 15.8	0,0	47,2	47,3	5,4	0,0	42.8 ± 19.5	0,0	14,3	47,6	38,0	0,0	81.4 ± 12.8	0,0	0,0	1,2	31,8	40,9
	Chiconi	5801	44.5 ± 14.0	0,0	0,0	68,3	31,7	0,0	32.1 ± 19.2	7,5	20,8	54,6	17,1	0,0	36.2 ± 20.8	0,0	25,8	50,8	20,9	2,5	61.8 ± 22.9	0,8	5,8	18,8	50,1	24,5
	Nord Baie Boueni	6960	32.2 ± 23.5	0,0	46,4	24,5	29,1	0,0	10.1 ± 11.6	37,6	47,2	15,2	0,0	0,0	21.6 ± 19.9	17,5	42,7	29,2	10,6	0,0	42.7 ± 25.7	5,9	21,1	25,8	43,0	4,2
	Fond Baie Boueni																									
	Sud Baie Boueni																									
	Pte Boueni	4714	49.8 ± 15.1	0,0	0,0	50,8	49,2	0,0	17.9 ± 12.6	6,4	59,7	33,9	0,0	0,0	13.5 ± 11.5	16,2	62,9	20,9	0,0	0,0	57.0 ± 26.1	5,7	6,7	17,7	49,9	19,9
Total	42391	61.4 ± 24.2	0,0	7,4	21,9	42,8	27,9	22.1 ± 16.9	13,1	39,4	42,5	5,0	0,0	27.1 ± 21.2	11,4	34,8	38,6	14,6	0,7	54.2 ± 29.3	6,7	13,1	16,7	40,4	23,2	
Complexe du Récif Sud	Pte Boueni	7796	31.3 ± 15.4	0,0	26,3	64,3	9,3	0,0	11.1 ± 11.7	22,8	66,1	9,6	1,5	0,0	18.2 ± 14.7	21,6	36,7	41,7	0,0	0,0	41.1 ± 30.0	16,9	14,8	25,1	31,7	11,6
	N'Gouja	9319	45.4 ± 26.4	7,0	24,5	5,4	63,0	0,0	8.1 ± 8.1	33,8	60,4	5,8	0,0	0,0	11.2 ± 10.1	21,1	66,0	12,9	0,0	0,0	32.6 ± 29.1	23,1	20,4	27,3	21,0	8,2
	Bandakouini	6910	22.3 ± 20.2	21,8	31,1	36,8	10,3	0,0	3.8 ± 4.9	61,8	38,2	0,0	0,0	0,0	6.0 ± 8.7	50,9	45,4	2,9	0,8	0,0	6.6 ± 11.3	57,7	34,7	6,3	1,2	0,0
	Passi Kely	3428	7.8 ± 4.2	21,6	78,4	0,0	0,0	0,0	2.9 ± 4.6	71,8	28,2	0,0	0,0	0,0	15.9 ± 20.2	41,1	29,1	21,0	8,8	0,0	12.4 ± 14.7	45,7	27,1	27,2	0,0	0,0
	Charifou	7121	9.3 ± 2.5	6,8	93,2	0,0	0,0	0,0	11.3 ± 11.6	29,5	53,4	17,1	0,0	0,0	12.8 ± 16.0	35,2	44,7	15,6	4,5	0,0	25.6 ± 25.9	30,8	23,1	22,4	22,9	0,9
	Dapani	5017	39.4 ± 25.4	9,7	22,4	23,4	44,4	0,0	26.1 ± 13.3	9,3	23,3	67,4	0,0	0,0	23.4 ± 20.9	21,8	30,3	36,3	11,6	0,0	51.8 ± 28.1	13,7	1,7	22,2	46,9	15,5
	Saziley	3025	26.7 ± 11.9	0,0	33,3	66,7	0,0	0,0	30.9 ± 9.3	0,0	17,1	82,9	0,0	0,0	0.7 ± 2.5	92,7	7,3	0,0	0,0	0,0	57.5 ± 21.6	0,0	3,2	34,4	45,2	17,2
	Total	42616	27.9 ± 23.0	9,2	42,2	26,4	22,2	0,0	11.8 ± 12.8	33,2	47,0	19,5	0,3	0,0	13.0 ± 15.5	35,3	42,3	19,5	3,0	0,0	31.1 ± 29.5	28,0	19,4	22,5	23,0	7,0
Complexe Récifal de Bambo-Est	Saziley	6066	33.6 ± 30.1	23,5	29,2	0,0	47,3	0,0	24.0 ± 13.6	8,9	31,9	59,2	0,0	0,0	25.0 ± 21.2	19,7	29,2	37,6	13,5	0,0	33.9 ± 22.2	10,8	20,4	43,0	25,7	0,0
	Abambo	5806	22.7 ± 25.0	12,4	62,2	0,0	25,4	0,0	20.1 ± 21.7	31,6	30,4	25,7	12,4	0,0	7.1 ± 11.9	63,9	22,7	13,4	0,0	0,0	14.8 ± 16.5	40,4	25,7	32,3	1,6	0,0
	Mounyendre	5484	8.7 ± 3.4	13,3	86,7	0,0	0,0	0,0	11.7 ± 11.0	23,2	60,9	15,9	0,0	0,0	9.3 ± 12.7	42,7	26,5	30,8	0,0	0,0	34.5 ± 26.1	20,7	16,4	27,4	35,5	0,0
	Nyambadao	4905	10.3 ± 15.7	67,0	4,4	28,6	0,0	0,0	12.4 ± 13.7	19,4	67,4	9,0	4,1	0,0	32.6 ± 23.0	8,8	29,3	35,1	26,8	0,0	51.3 ± 27.8	12,0	7,6	16,5	51,5	12,4
	Total	22263	20.2 ± 24.3	25,9	47,9	5,3	20,8	0,0	17.2 ± 16.3	20,7	47,1	28,2	4,0	0,0	18.3 ± 20.7	34,8	26,8	29,0	9,5	0,0	33.6 ± 26.7	20,7	17,6	30,2	28,4	3,1
Complexe Récifal de Pamandzi-Ajangoua-Bandrele	Nyambadao	592	0.0 ± 0.0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10.0 ± 0.0	0,0	100,0	0,0	0,0	41.8 ± 24.2	0,0	28,1	29,0	42,9	0,0	0,0	52.1 ± 21.2	0,0	5,3	38,5	46,4	9,7
	Hamouro	3346	11.9 ± 13.9	42,3	33,8	23,9	0,0	0,0	6.3 ± 4.9	36,9	63,1	0,0	0,0	0,0	12.7 ± 11.6	20,9	59,6	19,5	0,0	0,0	28.8 ± 24.6	23,9	19,5	31,8	24,7	0,0
	Ajangoua	4854	5.8 ± 5.0	42,5	57,5	0,0	0,0	0,0	3.1 ± 4.6	69,3	30,7	0,0	0,0	0,0	1.2 ± 3.3	87,9	12,1	0,0	0,0	0,0	3.7 ± 10.5	76,7	19,2	1,5	2,6	0,0
	Dembeni	2176	5.9 ± 5.0	40,3	59,7	0,0	0,0	0,0	4.9 ± 5.1	50,8	49,2	0,0	0,0	0,0	3.8 ± 4.9	62,0	38,0	0,0	0,0	0,0	5.7 ± 10.1	64,8	27,2	8,1	0,0	0,0
	Ironi	4349	4.6 ± 5.0	53,7	46,3	0,0	0,0	0,0	5.6 ± 5.0	43,7	56,3	0,0	0,0	0,0	13.3 ± 14.0	35,0	37,2	27,7	0,0	0,0	4.8 ± 9.1	68,3	24,8	6,9	0,0	0,0
	Tsoundzou	2764	0.0 ± 0.0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.3 ± 3.3	87,5	12,5	0,0	0,0	0,0	1.6 ± 3.7	84,5	15,5	0,0	0,0	0,0	1.3 ± 3.4	87,5	12,5	0,0	0,0	0,0
	Choa	521	35.0 ± 0.0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	6.2 ± 5.1	40,5	59,5	0,0	0,0	0,0	6.0 ± 5.2	41,5	58,3	0,0	0,0	0,0	10.0 ± 0.0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
Total	18602	6.6 ± 9.3	52,3	40,6	7,1	0,0	0,0	4.5 ± 5.0	55,2	44,8	0,0	0,0	0,0	7.7 ± 12.6	56,7	31,4	10,7	1,2	0,0	10.7 ± 18.8	59,9	22,1	10,5	7,1	0,4	
Complexe Récifal de Choa-Petite Terre	Choa	1375	3.3 ± 7.9	75,7	18,2	6,1	0,0	0,0	3.4 ± 4.8	65,1	34,9	0,0	0,0	0,0	6.0 ± 5.0	39,4	60,6	0,0	0,0	0,0	4.8 ± 10.3	71,3	19,1	9,6	0,0	0,0
	Majikavo	4462	10.0 ± 0.0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	7.8 ± 4.1	21,8	78,2	0,0	0,0	0,0	6.5 ± 4.8	35,2	64,8	0,0	0,0	0,0	9.6 ± 14.5	44,2	45,2	7,0	3,7	0,0
Total	5837	8.5 ± 4.6	17,4	81,2	1,4	0,0	0,0	6.7 ± 4.7	33,0	67,0	0,0	0,0	0,0	6.3 ± 4.8	36,3	63,7	0,0	0,0	0,0	8.7 ± 13.9	49,4	40,2	7,5	3,0	0,0	
Complexe Récifal du Nord-Est	Majikavo	5207	19.5 ± 12.2	0,0	62,0	38,0	0,0	0																		

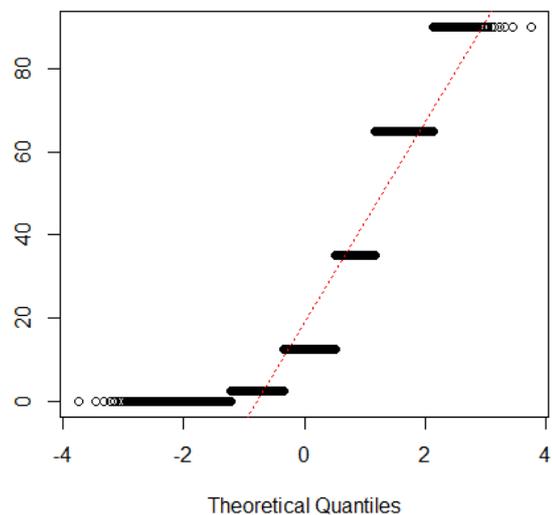
Annexe 2 : graphiques issus de l'exploration des données de l'analyse de comparaison des récifs frangeants de la Grande Terre et des îlots

Distribution des données brutes



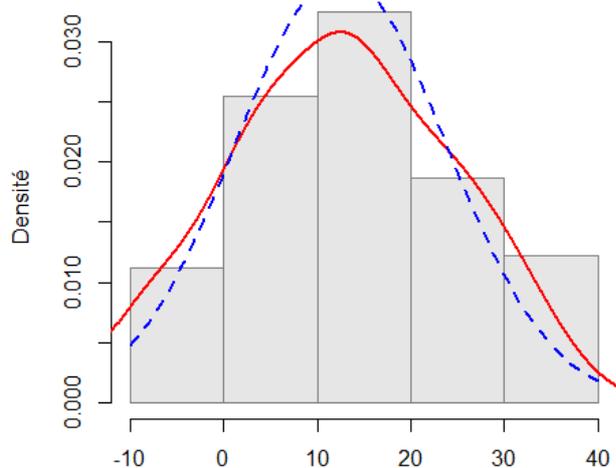
Annexe 2a) Histogramme de distribution des données non transformées

Normal Q-Q Plot



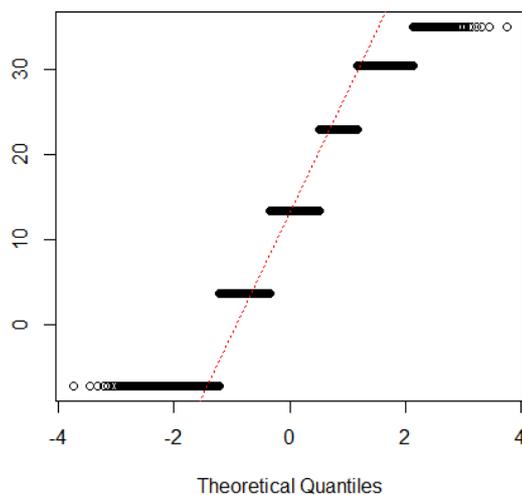
Annexe 2b) Diagramme quantile-quantile normal des données non transformées

Distribution des données transformées



Annexe 2c) Histogramme de distribution des données transformées

Normal Q-Q Plot

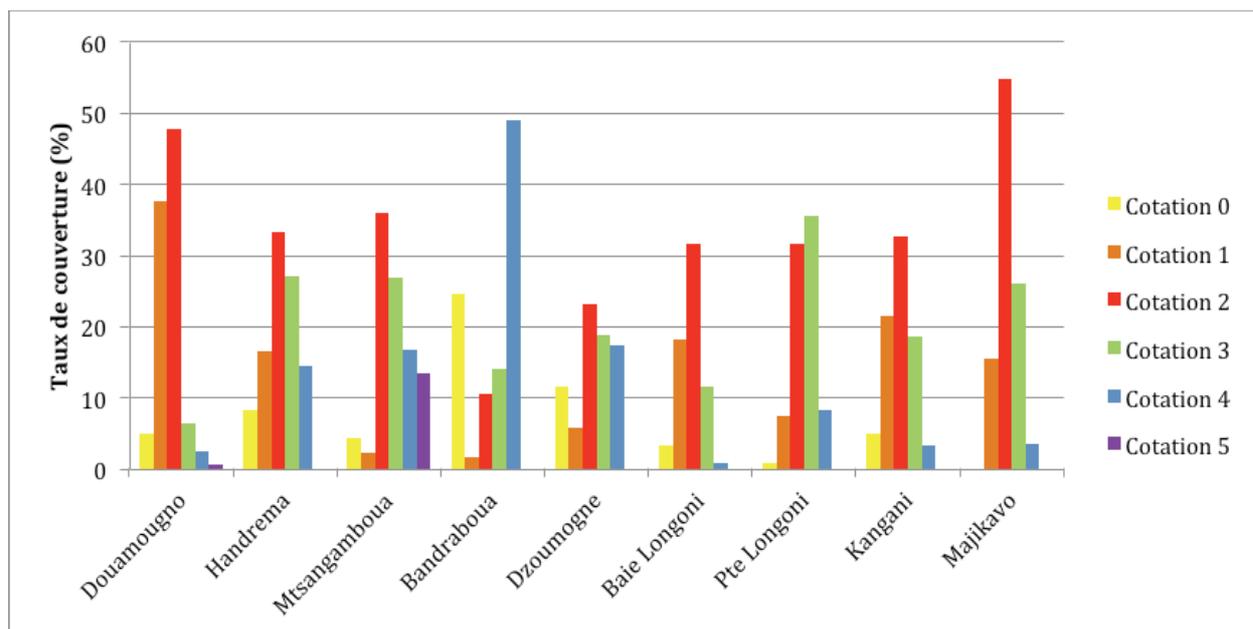
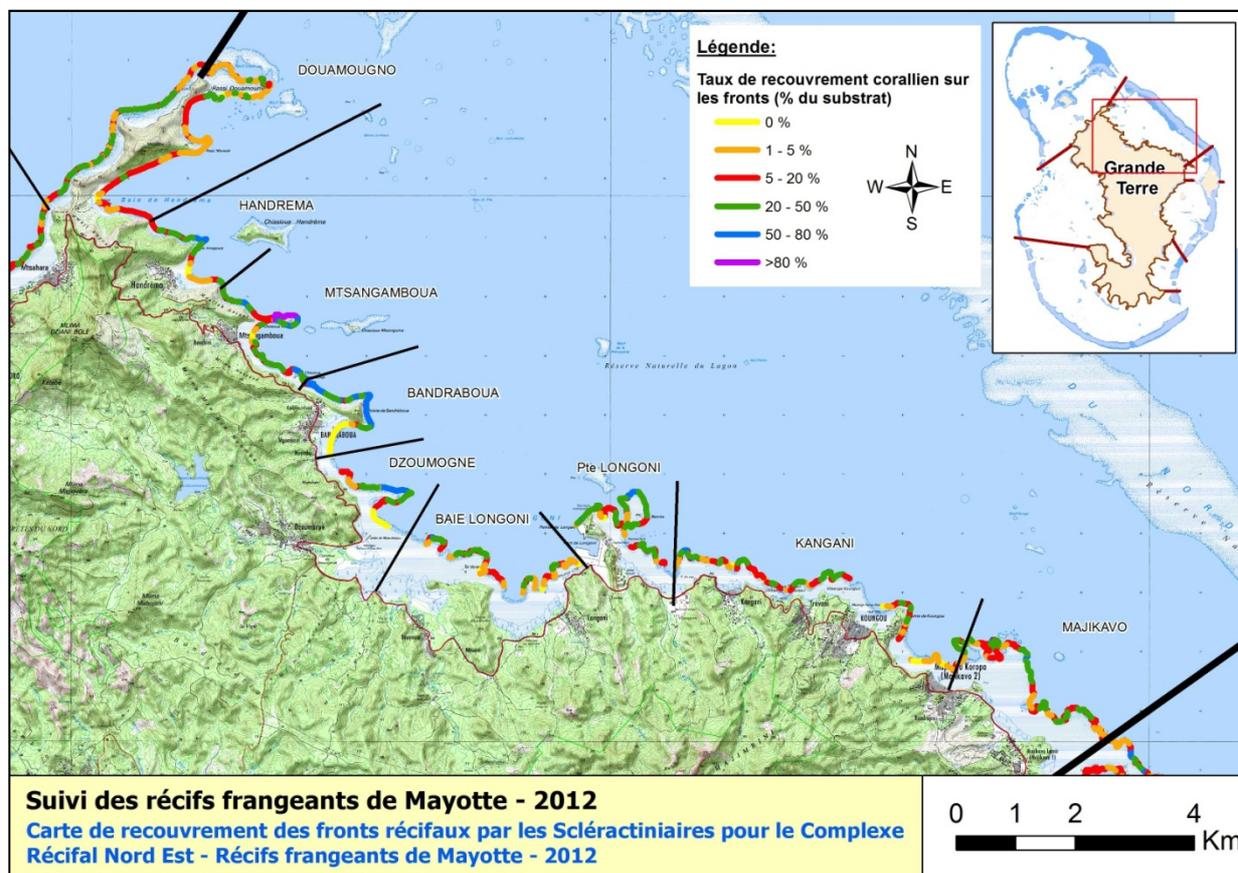


Annexe 2d) Diagramme quantile-quantile normal des données transformées

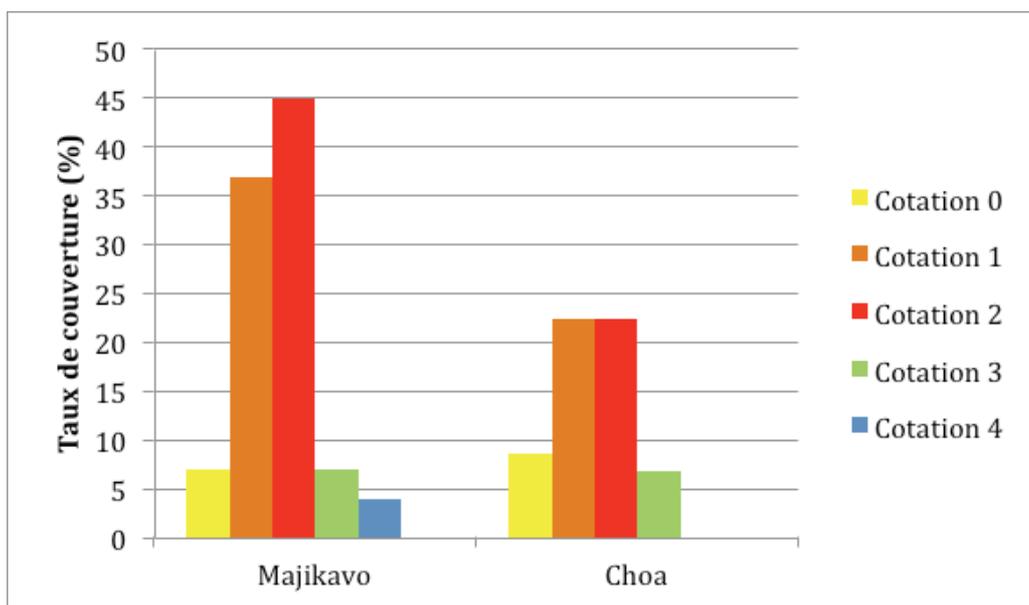
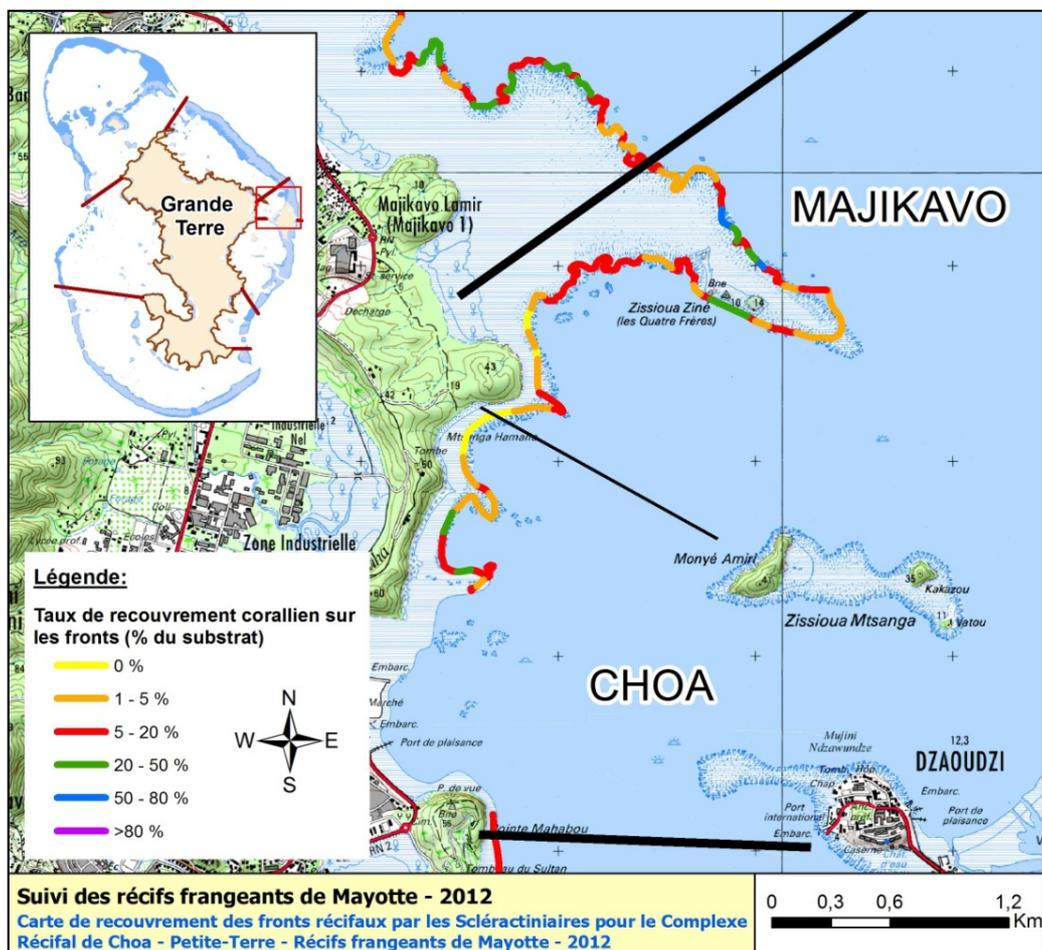
Annexe 3: tableau présentant les 3 groupes homogènes de recouvrement corallien obtenus à partir du test de post-hoc NDWD

Secteur GT / îlot	Recouvrement moyen sclérectiniaires (%)	Significativité																							
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x
Sohoa	81,4																X		X						
îlot Gombe Ndroume	70,8	X		X													X								X
îlot Mtsongoma	67,2																				X	X	X		
Chembenyoumba	60,5																	X							
Chiconi	54,2																	X							
Dapani	51,6																		X	X	X	X	X		
Nyambadao	51,6																	X	X	X					
Mliha	47,5																	X	X	X					
Tsingoni	47,2																	X	X	X	X	X			
îlot Bambo	46,0	X		X													X						X	X	
Mugini	44,3	X															X			X	X	X	X		
Nord Baie Boueni	43,4																	X	X	X	X				
Mohila	42,3	X		X													X					X	X	X	
Saziley	41,9																	X	X	X					
Pointe Boueni	39,5																X	X	X	X	X	X	X	X	
Mtsangamboua	37,1	X		X													X					X	X	X	
Mounyendre	35,2	X		X													X					X	X	X	
Bandraboua	38,2	X		X				X									X								
îlot Bandrele	34,3	X		X													X								
Hamouro	29,9	X		X	X			X		X						X									
N'Gouja	28,2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X			X								
îlots Ajangoua	27,6	X	X	X	X			X		X							X						X		
Dzoumogne	27,3		X	X	X			X		X	X														
Charifou	26,9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X														
Pointe Longoni	26,2	X		X	X			X									X								
îlot Handrema	25,4		X	X	X	X	X	X		X	X														
Handrema	23,5		X	X	X			X		X	X														
Mzamboro	17,9		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X												
îlot Mzamboro	17,0																X	X						X	X
Kangani	16,4		X		X	X		X	X	X			X	X	X									X	X
Abambo	16,1					X		X		X			X	X	X									X	X
Majikavo	15,4					X		X					X	X	X	X	X							X	X
Baie Longoni	13,7		X		X	X	X	X	X	X	X		X	X											
Douamougno	13,6												X		X	X	X							X	X
Passi Kely	13,5		X			X		X	X	X			X	X	X										
Fond Baie Boueni	12,2																	X							
Sud Baie Boueni	11,8		X		X	X		X	X	X			X	X	X										
Choa	10,2		X		X	X	X	X	X	X			X												
îlot Mbouzi	8,2												X	X	X		X							X	X
Bandakouni	8,1																X	X							
îlots Chissioua Mtsanga	7,7		X			X		X		X			X	X	X										
Dembeni	6,8							X					X	X	X									X	
Ironi	6,4															X	X	X						X	X
Ajangoua	5,0																X	X	X						X
Tsoundzou	2,0												X		X		X							X	X
îlots Choizil	1,9																X								

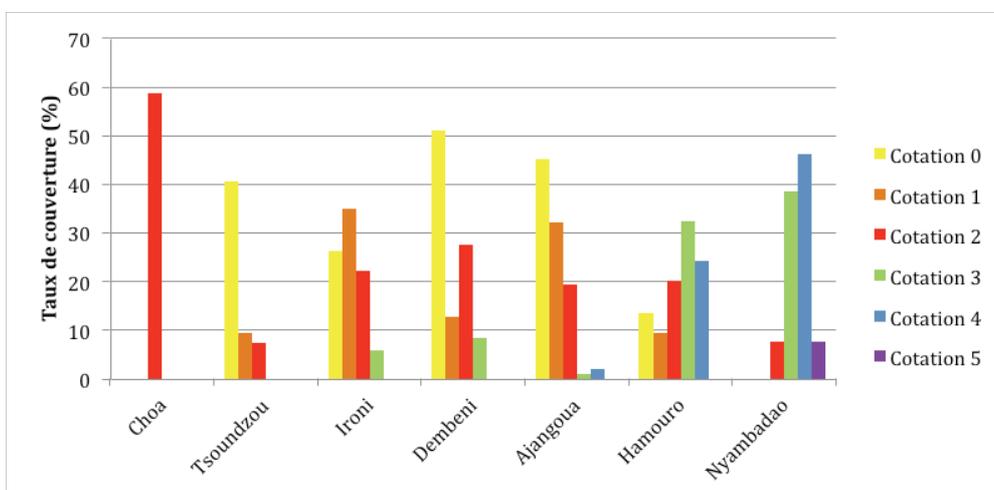
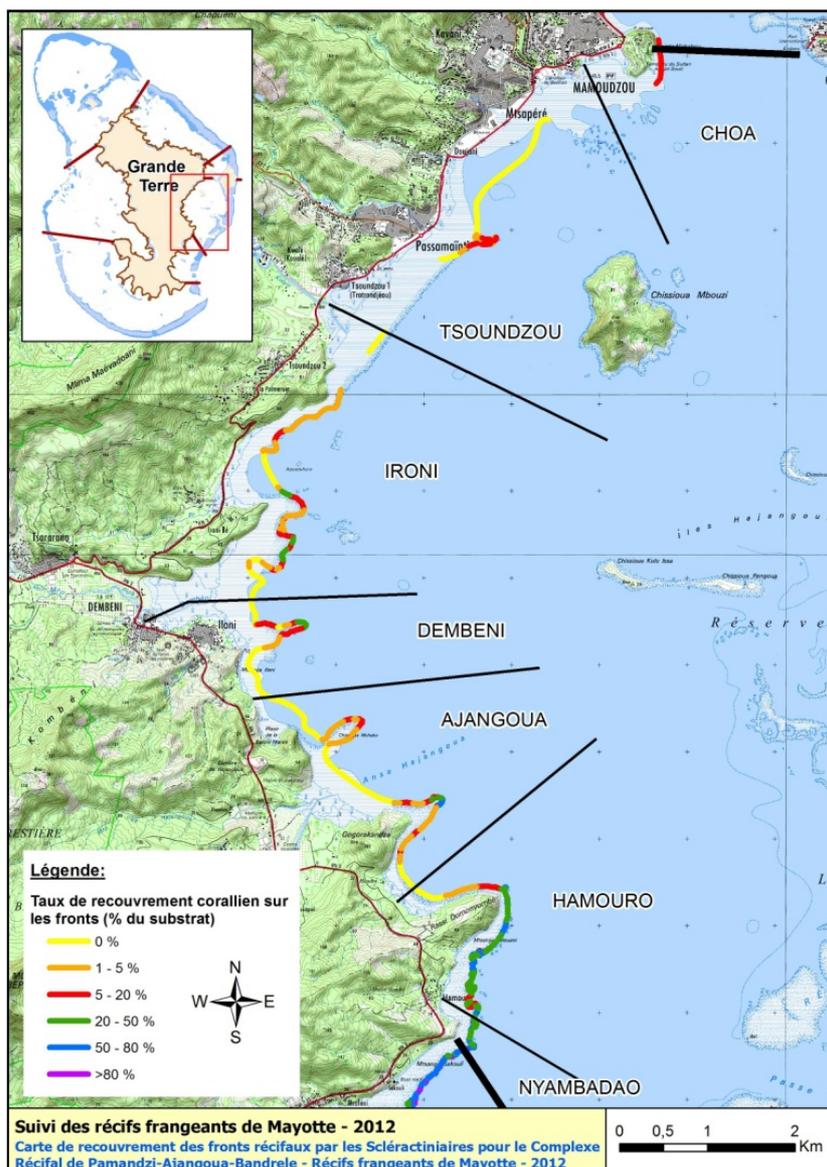
*Annexe 4 : cartographie du recouvrement corallien 2012,
 complexe récifal du Nord-Est*



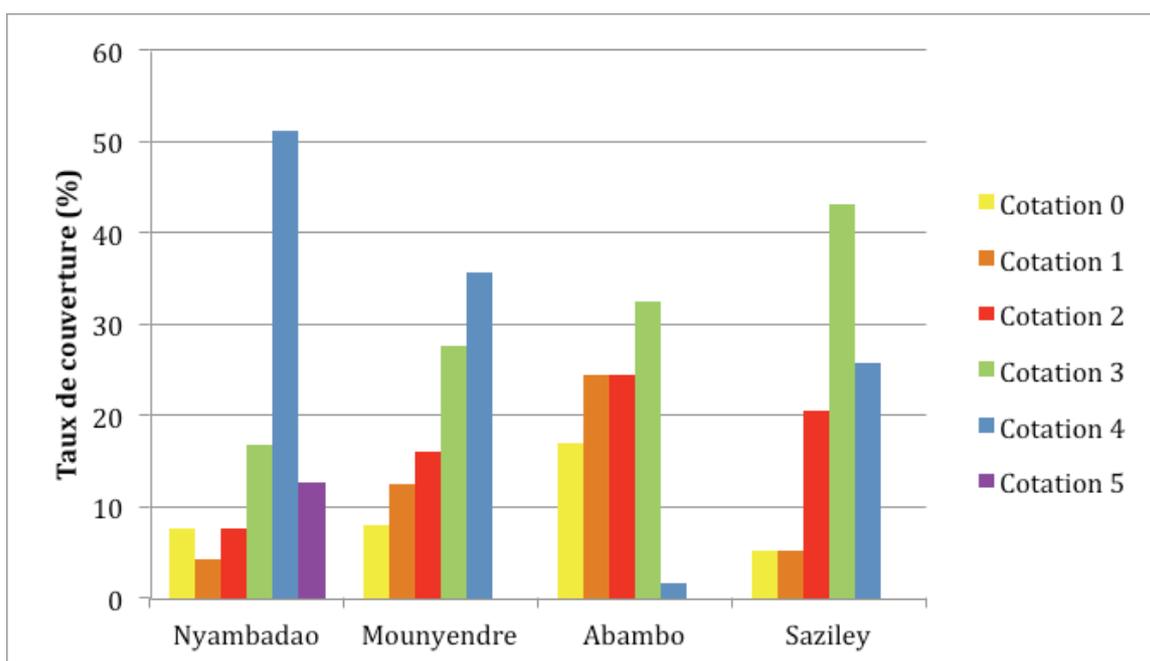
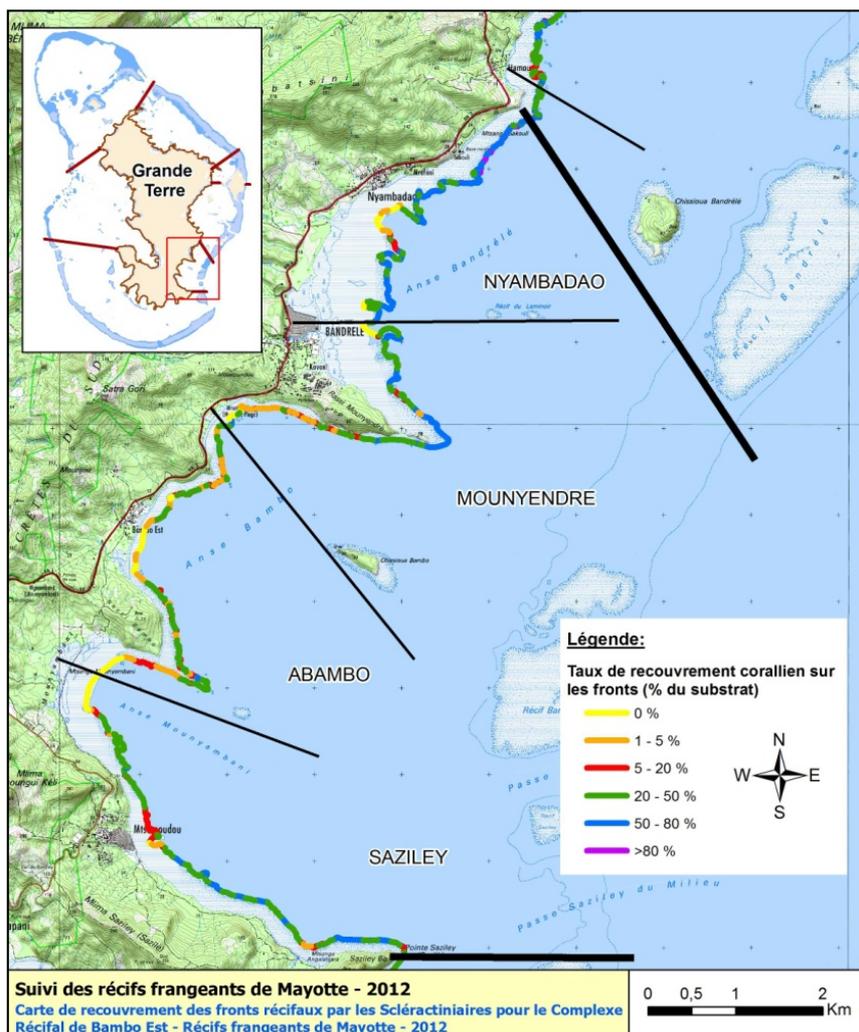
Annexe 5 : cartographie du recouvrement corallien 2012,
 complexe récifal de Choa-Petite Terre



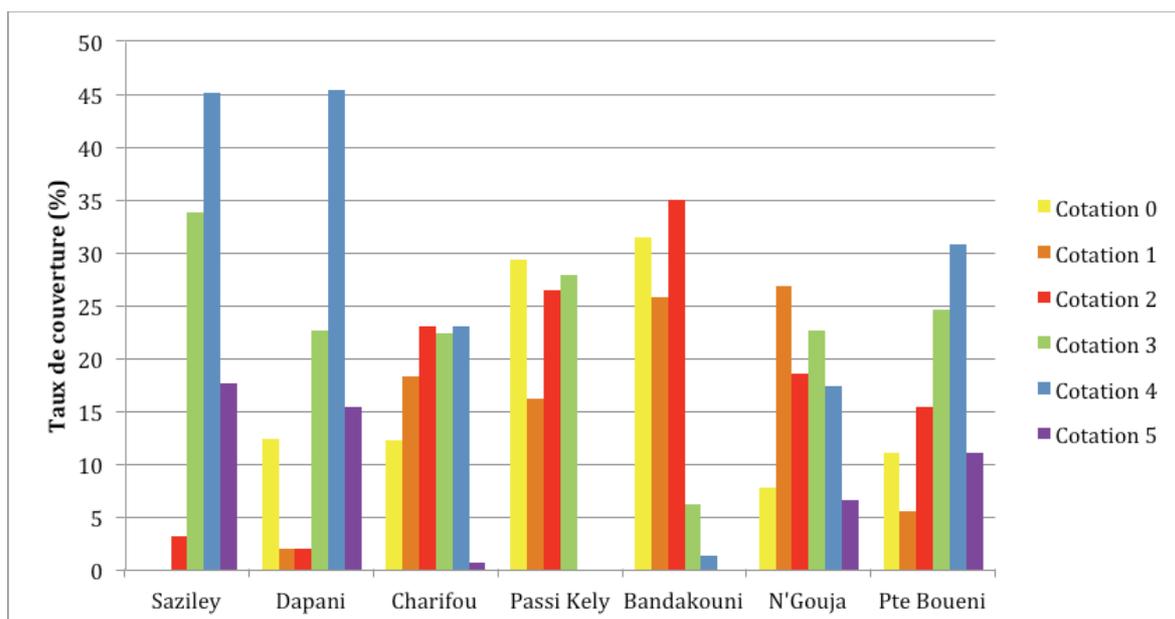
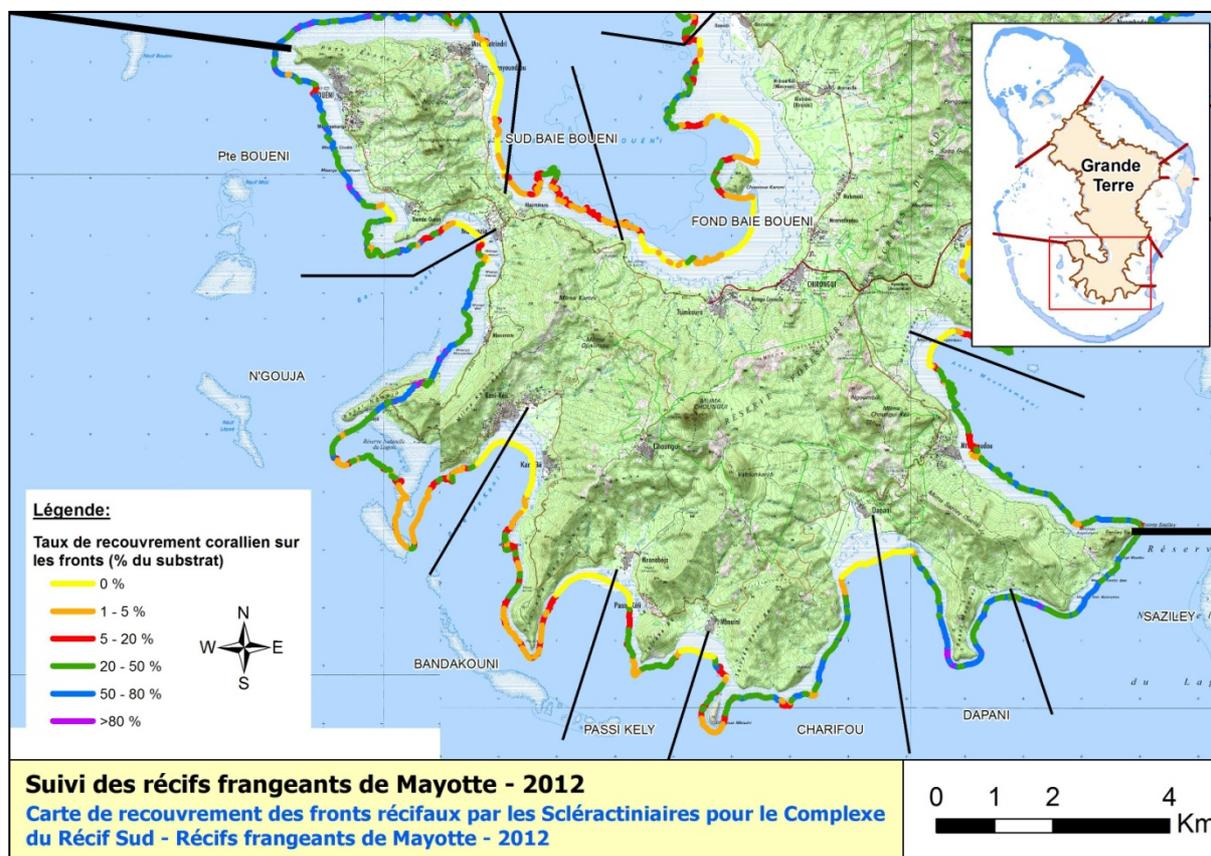
*Annexe 6 : cartographie du recouvrement corallien 2012,
 complexe récifal de Pamandzi-Ajangoua-Bandrele*



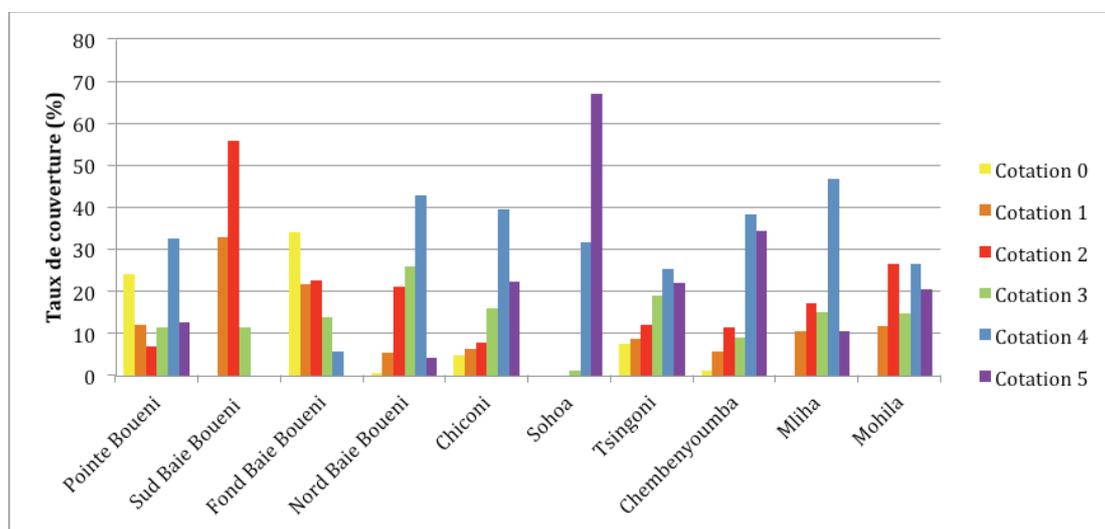
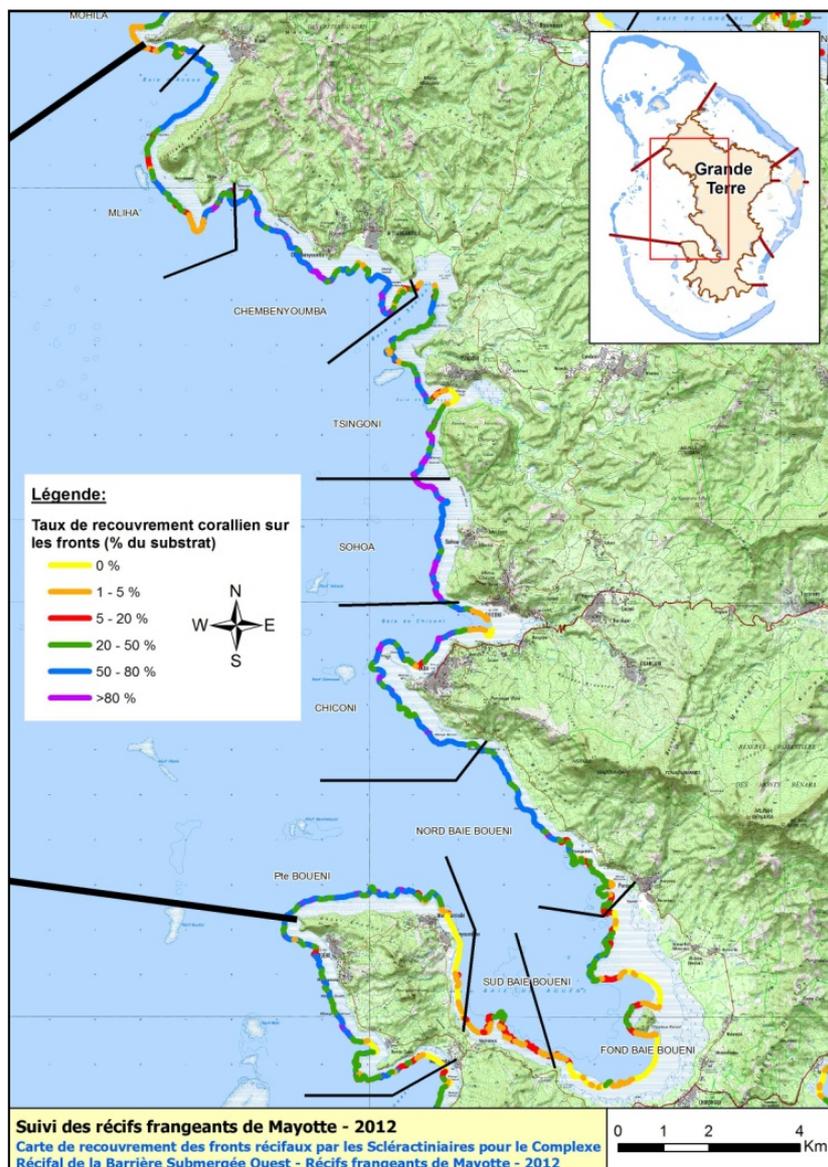
*Annexe 7 : cartographie du recouvrement corallien 2012,
 complexe récifal de Bambo-Est*



*Annexe 8 : cartographie du recouvrement corallien 2012,
 complexe récifal du Récif Sud*



*Annexe 9 : cartographie du recouvrement corallien 2012,
 complexe récifal de la barrière submergée Ouest*



*Annexe 10 : cartographie du recouvrement corallien 2012,
 complexe récifal de Mzamboro-Choizil*

