

Contribution à la connaissance des récifs coralliens de la Baie de Diego Suarez

Amelie LANDY SOAMBOLA*, Faravavy Marie Agrippine RASOAMANENDRIKA,
Eric Janvier TOTOZAFY et Aristide LAHA

*Université d'Antsiranana, Faculté des Sciences, Département Sciences Marines, Laboratoire Polyaquaculture,
BP 0 Antsiranana, Madagascar*

* Correspondance, courriel : landyameli@gmail.com

Résumé

Ce travail porte sur l'étude de l'état de santé du récif frangeant des quatre anses de la Baie de Diego Suarez. Les paramètres physico-chimiques ont été relevés. Nous avons fait des observations et des comptages des peuplements benthiques coralliens suivant l'approche LIT (Longueur Interceptée par le Transect) et ichthyologiques dans une aire de surface 500m² durant 10 jours de la saison humide de l'année 2016 et de la saison sèche de l'année 2017. Les paramètres physico-chimiques varient de façon saisonnière suivant l'anse de la Baie. L'importance du recouvrement en corail vivant (48,5 %) dans l'ensemble de la Baie de Diego Suarez indique que la formation corallienne est catégorisée en bonne santé. Sa population présente une potentialité de renouvellement et de productivité importante en terme de biomasse. 20 genres des coraux durs et 5 genres de coraux mous ont été recensés avec une densité moyenne de juvéniles de coraux de 5,5 colonies/m² et d'adulte variant de 3 à 9 colonies/m². 164 espèces de poissons récifaux appartenant à 29 familles ont été rencontrées dans l'ensemble de la Baie. Les menaces sur la formation corallienne existent mais varient suivant l'utilisation de la Baie. Ce travail s'agit d'une étude de partie intégrante d'un écosystème complexe qui mérite d'être approfondi dans leur ensemble afin d'avancer la mode de gestion appropriée.

Mots-clés : *Baie de Diego Suarez, récif corallien, paramètres physico-chimiques, macro invertébrés et les poissons récifaux.*

Abstract

Contribution to the knowledge of the coral reefs of Diego Suarez Bay

This study was to discover the health of the reef formation in Diego Suarez Bay. Two years of sampling in four coves of Diego Suarez Bay, during 10 days on wet season of 2016 and dry season of 2017 has focused on gathering data on physicochemical parameters, coral reef, reef fish and macro invertebrates. LIT approach (Length Intercepted by Transect) for the assessment of the coverage rate of different benthic substrates was used. Reef fish samplings were carried out using a transect (50m) with surface area 500m². The physicochemical parameters vary seasonally along the Bay Cove. The living coral cover is high (around 48.5 %) throughout Diego Suarez Bay which indicates that the coral formation is categorized as well being. Its population has great potential for renewal and significant productivity in terms of biomass. 20 kinds of hard corals and 5 kinds of soft corals were found with an average density for coral juvenile equivalent to 5.5 colonies / m² and adults ranging from 3 to 9 colonies / m². 164 reef fish species belonging to 29 families

were found throughout the Bay. Threats to coral formation exist but vary with use of the Bay. This work is a part of study of a complex ecosystem that deserves to be deepened as a whole in order to advance the appropriate management mode.

Keywords : *Diego Suarez Bay, Coral reef, physicochemical parameters, macro invertebrates, Coral fish.*

1. Introduction

Classé parmi les plus belles Baies et la deuxième plus grande baie du monde (156 km de côtes) après celle de Rio de Janeiro [1], La Baie de Diego Suarez constitue l'emblème de la partie nord de Madagascar. Actuellement, étant un site non protégé, elle abrite Antsiranana qui est une grande ville côtière et des villages, situés juste en dessous du Cap d'Ambre, pointe le plus au nord de Madagascar. Des écosystèmes associés variés y sont rencontrés, tel que les formations récifales, la mangrove, les herbiers, la plage et les îlots et etc. Ainsi, la population riveraine jouit des avantages qui découlent de la présence de cette baie qui est utilisée en tant que site à multiples vocations comme la pêche, le port, l'installation des usines et même des habitations humaines et celles des animaux domestiques et etc. La Baie de Diego Suarez, de morphologie quadrilobée, à son état actuel, est inclus parmi les sites les plus riches en biodiversité et les plus menacés à la surface de globe [2] face aux considérables pressions anthropiques et naturels qu'elle subisse de façon croissante et continue mais inégale suivant les lobes. Face à cette dégradation et au rôle des récifs à la soutenabilité des activités de développement des populations, il semble nécessaire le développement d'une approche globale de protection des récifs coralliens. Pour cela, l'état de connaissance de lieu et le bilan de l'état de santé des récifs sont nécessaires. Pourtant, contrairement à ce qui existe pour le récif au sud de Madagascar dans la baie de Tuléar où les travaux de recherche ont été initiés en 1962, il n'existe pour la baie de Diego Suarez que peu de données scientifiques de base. C'est dans ce contexte que se veut exprimer cette manuscrite. Cette dernière apporte une connaissance sur l'état de santé récifal actuel de la Baie de Diego Suarez, appelé aussi diagnose écologique des récifs coralliens. Les objectifs de cette étude consiste à fournir les informations relatives à :

- Paramètres physico-chimiques rencontrés au niveau des sites d'étude ;
- La biologie des coraux dont la richesse taxonomique, le taux de recrutement et leur structure en taille ;
- L'écologie des coraux dont les catégories des substrats, la densité corallienne, les macro invertébrés et les poissons récifaux ;
- aux menaces afférentes à la formation récifale au niveau des sites d'étude.

2. Méthodologie

L'étude a été effectuée durant une campagne de 10 jours durant la saison humide de l'année 2016 et la saison sèche de l'année 2017.

2-1. Site d'étude

La Baie de Diego Suarez est composée de 4 baies de plus petite taille (*Figure 1*) dont la baie du Tonnerre, la baie des Cailloux Blancs, le Cul de Sac Gallois et la baie des Français.

2-2. Baie de français

La Baie de Français est appelé en Malagasy Andovombazaha. Elle appartient à deux communes dont la Commune rurale Ramena et la Commune Urbaine d'Antsiranana I. Cette dernière se situe sur le promontoire. Elle est la plus peuplée et bordée par diverses infrastructures dont le port, les bâtiments des bases navales, l'usine de conserverie PFOI (Pêche et Froid Océan Indien) et de Brasseries STAR de Madagascar. Le Centre Hospitalière Universitaire, l'hôpital psychiatrique, le Central thermique de JIRAMA, l'abattoir, les habitations et des infrastructures touristiques (cas des Hotels tels que Allamanda, la Baie, Badamera, la Case en Falafy, la terrasse du voyageur, Kartiffa, Fian-tsilaka et des lodges, etc.) se développent également le long de la côte de la Baie de Français. Du côté Ramena, le village de pêcheur bordé d'une belle plage de sable est très longue et est située entre le cap d'Andranomody et la pointe de l'Aigle [1]. Sur le plan hydrographique, une rivière venant du quartier Betahitra de la Commune Rurale de Ramena vient se déverser dans la Baie de Français surtout durant la saison de pluie. Mais elle ne s'écoule plus durant la saison sèche de l'année à cause d'une forte sédimentation. Deux sites d'étude ont été suivis dans la Baie de Français, dont le site en bas de l'UNA se situant entre $49^{\circ} 18'28.9'' E$ et $12^{\circ} 16'51.2'' S$ et Orangea entre $49^{\circ} 21' 05.4'' E$ et $12^{\circ} 21' 05.4'' S$.

2-3. Cul Sac de Gallois

Se situant en aval du port, des industries et des estuaires, la baie de Cul de Sac Gallois obtient un régime physique un peu différent des autres baies, dû au fait de ces caractéristiques et de sa distance la plus loin de la passe (Vavalapasy). Avec une ouverture, la baie s'élargie vers sa courbure interne (*Figure 1*) et est muni d'une vaste surface de mangrove. Il y a également la présence d'une longue plage vaseuse et une côte en marécages pestilentiels. Notre site d'étude dans cette baie se trouve à l'entrée de la Baie au niveau de la Pierrot. Cette dernière se situe entre $49^{\circ} 16'40.4'' E$ et $12^{\circ} 16'48.3'' S$.

2-4. Baie des Cailloux Blancs

La Baie des Cailloux Blancs est aussi appelé Andovobafotsy en malagasy. Elle se situe entre Cap Vatomainty et Cap Diego. Ce dernier est une presqu'île situé face au port s'avancant depuis l'ouest vers le centre de la baie de Diego-Suarez [1]. Il est muni d'un petit quai en pierres. La Baie des Cailloux Blancs appartient également à deux communes, dont la Commune Rurale d'Andranovondronina et la Commune Urbaine d'Antsiranana I qui est composée seulement du village du Cap Diego. Deux stations ont fait sujettes d'étude dans la Baie de Cailloux Blancs. L'une se situe entre $49^{\circ} 16' 53'' E$ et $12^{\circ} 11' 17'' S$, et l'autre à Cap Diego entre $049^{\circ} 17' 42.3'' E$ et $012^{\circ} 11' 38.5'' S$ (*Figure 1*).

2-5. Baie de Tonnerre

Situé à une position géographique de $12^{\circ} 10.34 S$ et $49^{\circ} 18.46 E$, la baie du Tonnerre est grande et délimitée par le cap Tanifotsy, derrière l'île Nosy Volana, à l'entrée de la baie de Diego-Suarez, et le cap Vatomainty, qui borde la presqu'île Anoritanibe [1]. Elle est ouverte face au passe naturelle de 1 km de large et d'une cinquantaine de mètres de profondeur. Le site d'étude de la Baie de Tonnerre est situé à Antsatrana de position géographique entre $12^{\circ} 12' 29.9'' S$ et $49^{\circ} 18' 08.0'' E$. Il est pourvu de formation récifale de type frangeant d'environ 30 m de long avant d'atteindre la pente externe, d'herbier et d'une mince couche de mangrove.



Figure 1 : Carte de la Baie de Diego Suarez (Source : <http://www.madascopie.com/diego.html>)
(★ : Marque des sites d'étude)

2-6. Méthodologie appliquée

Les relevés des indicateurs bio-physico-chimiques se focalisent sur les deux paramètres suivants :

- *Paramètres physico-chimiques*

Ils caractérisent l'écosystème récifal. Ils devraient être enregistrés lors d'une exploration de la formation récifale donnée. Les paramètres de base à relever sont la température, pH, salinité, granulométrie du fond et la turbidité.

- *Paramètres biologiques*

La technique de suivi des paramètres biologiques repose essentiellement sur une méthode d'observation visuelle, non destructrice. Elle a l'avantage de ne perturber ni le biotope ni les populations en place. Les paramètres de base à relever sont la diversité corallienne, le taux de recrutement de juvéniles des coraux, l'évaluation des catégories des substrats benthiques, l'abondance en macro invertébrés et la biomasse/abondance des poissons récifaux. Pour l'évaluation de la diversité et la taille des colonies coralliennes s'est fait sur un transect de 25 m x 1 m avec 3 répliquas. On enregistre les différentes colonies rencontrées dans cet échantillon de surface (25 m x 1 m) en notant leurs tailles respectives selon les six classes suivant : [11 - 20cm], [21 - 40cm], [41 - 80cm], [81 - 160cm], [161 - 320cm], [> 320 cm]. Ainsi, on a les notions sur la structure en taille des coraux. Pour l'estimation du taux de recrutement des jeunes coraux, l'opération a été faite à l'aide d'un quadrat de 1 m² qui s'est posé systématiquement tous les 5 mètre sur le long du transect de 25 m (0 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m et 25 m). On a donc un échantillon de surface de 1 m² x 6 par transect de 25 m. Cette opération s'est fait sur 3 répliquas de transect. Les classes de tailles de juvéniles sont [moins de 2.5 cm] ; [3 - 5 cm] et [6 - 10 cm]. Pour l'évaluation du taux de couverture de différents substrats benthiques, on a pratiqué la méthode de transect linéaire de 25 m avec 3 répliquas. On utilise l'approche LIT (Longueur Interceptée par le Transect) qui consiste à enregistrer la translation de chaque substrat intercepté par le transect. Pour le recensement de macro invertébrés, il a été faite sur un échantillon de surface de 25 m x 1 m avec 3 répliquas. Ce sont les Echinodermes (Étoiles de mer, Oursins, Holothuries), les Mollusques (Bivalves, Gastéropode), les Céphalopodes (Octopus) et les Crustacés (Langoustes) qui ont été ciblé.

L'évaluation de l'abondance/biomasse des poissons récifaux se fait en comptant le nombre d'individus de poisson par famille sur une section de surface de 500 m² (5 m x 100 m) [3]. On estime la taille de chaque individu de poisson pour pouvoir la convertir en biomasse (kg/ha) à l'aide de la formule de relation taille - poids [4].

$$W = aL^b \quad (1)$$

W étant le poids total du poisson exprimé en g, *L* la longueur totale du poisson en cm, *a* et *b* les coefficients.

Ces derniers sont des facteurs caractéristiques de l'espèce et sont donnés dans le site de FishBase. Les espèces cibles appartiennent aux 17 familles suivantes : Acanthuridae, Balistidae, Carangidae, Caesionidae, Chaetodontidae, Haemulidae, Holocentridae, Labridae, Lethrinidae, Lutjanidae, Mullidae, Pomacanthidae, Pomacentridae, Scaridae, Serranidae, Siganidae et Sphyraenidae. Les classes de taille considérées pour le calcul de la biomasse sont : 3-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm, 50-60 cm, 60-70 cm, 70-80 cm et plus de 80 cm.

3. Résultats

3-1. Paramètres physico-chimiques

On peut différencier trois grands climats à Madagascar dont le climat chaud et humide rencontré dans la région orientale incluant la partie de la région Diana y compris notre site d'étude dont la Baie de Diego Suarez, le climat plus ou moins tempéré dans les hautes terres et le climat tropical sec trouvé le long de la région occidentale. Les paramètres physico-chimiques rencontrés diffèrent dans chacune des quatre Baies suivant le trait morphologique de la Baie concernée, sa position géographique par rapport à la passe, et les effets continentaux rencontrés cas de présence de l'estuaire et de la pollution. Ceux-ci déterminent en effet la différenciation de richesse bioécologique d'une anse à une autre.

3-1-1. Granulométrie du fond littoral

Animé des facteurs environnementaux différents, les quatre anses de la Baie de Diego Suarez sont munies des caractéristiques physiques et chimiques différents. La Baie de Tonnerre, contiguë de la passe, est pourvue du fond le plus caillouteux et de caractéristique sablo-rocheux. Le Cul de Sac Gallois, le plus éloigné à l'ouest de la passe est muni d'un fond vaseux. La Baie des Cailloux Blancs et la Baie des Français sont parsemées des substrats mixtes qui sont constitués à la fois des parties caillouteuses et des parties sablo vaseuses.

3-1-2. Température

La température de l'eau de mer montre une augmentation à partir du mois d'octobre de l'année jusqu'au mois de mars de l'année suivante. Ainsi, elle a varié de 23,74 à 30,6°C durant la saison chaude et de 22, 49 à 25, 29 °C durant celle de froide de l'année 2017. Quant à la variation de la température suivant les anses, en saison humide, le Cul de Sac Gallois est la baie la plus chaude de l'ordre de 31,2°C ; contrairement à celui de la Baie des Cailloux Blancs (30,05°C) et de la Baie de Tonnerre (29,4°C) suivie de celle de la Baie de Français (29,5°C). Durant la saison froide, la variation de la température dans chaque anse suit le même rythme que durant la saison chaude. Seulement, la température la plus élevée rencontrée ne dépasse pas 29°C (Baie des Cailloux Blancs (27,8°C) ; Baie de Tonnerre (27,4°C) et Baie de Français (28°C)).

3-1-3. pH

Du point de vu pH, celui rencontré au niveau de la Baie de Français et du Cul de Sac Gallois sont moyennement proche de la norme à 7,55 (**Figure 2**). Malgré cela, le suivi de pH au niveau de point bien localisé entre Baie de Français et Cul Sac de Gallois par [5 - 7] permet d'apercevoir la progression de l'acidification de l'eau de mer indiquant l'augmentation de la concentration de CO₂ [8].

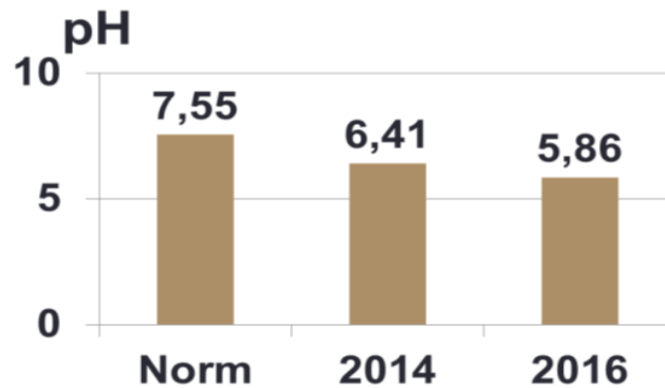


Figure 2 : Variation de pH dans la Baie de Français et du Cul sac de Gallois

3-1-4. Salinité

Malgré la salinité de l'eau de mer côtière de type océanique varie entre 32 et 33 ppt, elle peut changer suivant sa relation avec les apports continentaux d'une zone d'estuaire et des rivières. La rivière déversant dans la Baie de Diego Suarez (**Figure 3**) présente une variation spatio-temporelle et en taille. Quatre grandes rivières s'écoulent de façon permanente toute l'année et se rencontrent principalement dans le Cul de Sac Gallois (**Figure 4**). Elles concernent :

- La rivière des Caïmans appelée en malgache « Saha-Vohay » ;
- La source aux caméléons ;
- La rivière de la Main ;
- La rivière des Makis.

Plusieurs autres rivières de plus petite dimension sont présentes dans la Baie de Diego Suarez et surtout dans la Baie de Cailloux Blancs (**Figure 4**). Mais elles ne s'écoulent que durant la saison de pluie.

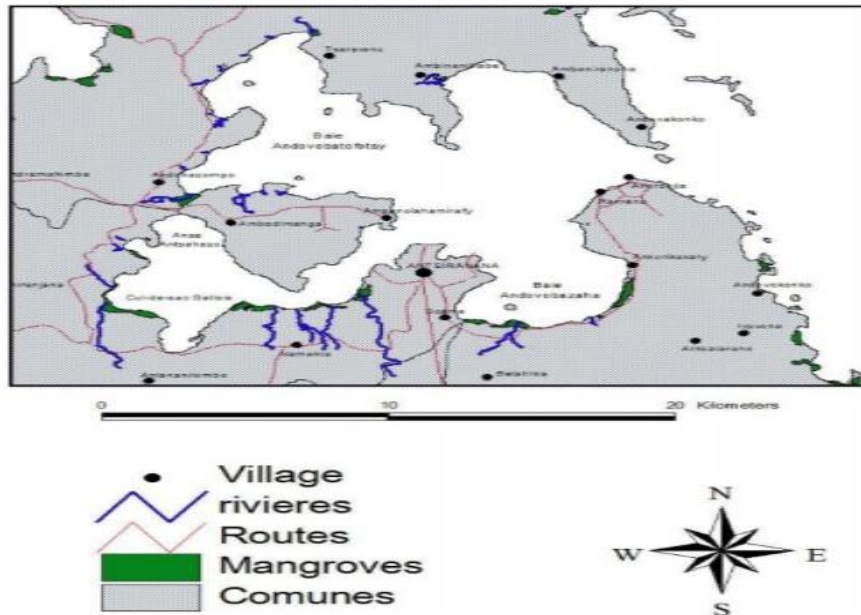


Figure 3 : Carte de rivière permanente et non permanente déversée dans la Baie de Diego Suarez (CNDO de l’H.SM, 2018)

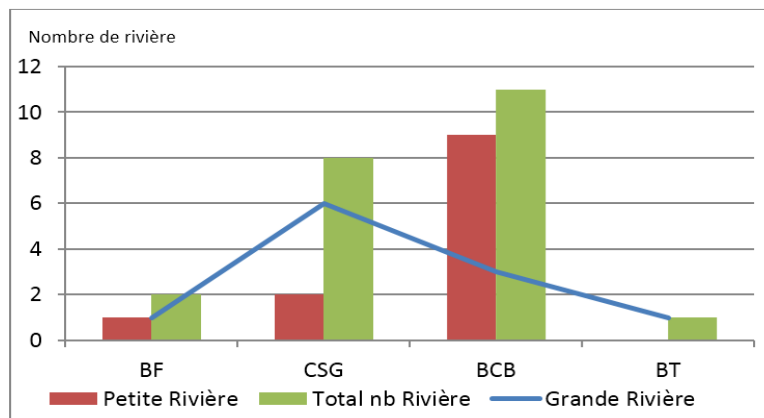


Figure 4 : Variation d’abondance de rivière dans les quatre anses de la Baie de Diego Suarez (BF : Baie de Français ; CSG : Cul de Sac Gallois ; BCB : Baie des Cailloux Blancs et BT : Baie de Tonnerre)

Durant l’année 2017, la salinité de l’eau de mer rencontrée se situe respectivement autour de 37,5 ‰ et 38 ‰ dans la Baie de Tonnerre et la Baie des Cailloux Blancs. Elle présente une diminution dans la Baie des Français et se situe autour de 34,3 ‰. La plus basse salinité de l’eau de mer est rencontrée dans le Cul de Sac Gallois et se situe autour de 32 ‰. La diminution de la salinité de l’eau de mer est attribuée à l’importance des rivières qui se déversent en permanence ou non dans la baie concernée.

3-1-5. Turbidité

Cul de Sac Gallois est très turbide à cause d’une hyper sédimentation qui est en relation avec une élévation de nutriment par rapport à la norme de 35mg/L. Le nutriment rencontré varie de 120 et 85 mg/L en 2014 et 2016 suivant l’étude fait par [5, 9]. La présence de ces estuaires explique également une forte sédimentation dans cette Baie. Car le charriement des matières lors de la saison de pluie est accentué. Le volume d’eau douce dans cette baie est de l’ordre de 3 % du volume total de la baie.

3-2. Étude récifale

La formation récifale longeant la côte de la Baie de Diego Suarez, qui est sujette de notre étude, s'agit des récifs frangeants dans la zone non profonde (> 5m).

3-2-1. Biologie

- *Richesse taxonomique*

20 genres de coraux durs et 5 genres de coraux mous ont été recensés. La Baie des Cailloux Blancs semble être la plus riche (18 genres) par rapport aux trois autres anses. Cul Sac de Gallois est la plus pauvre (3 genres).

- *Taux de recrutement*

Le taux de recrutement des juvéniles de coraux varie selon l'emplacement et les paramètres physico-chimique de la Baie de Diego Suarez. En générale, la plus petite taille est la plus faiblement représentée ($T1 \leq 2,5$ cm) par rapport au T2 et T3 (**Figure 5**). Ce qui révèle d'une régénération moyennement faible avec une moyenne de densité de l'ordre de 6 juvéniles coralliens par m^2 . Les coraux présentent une meilleure régénération (16 colonies/ m^2) dans la Baie de Tonnerre. La plus faible régénération est perçue au niveau de la formation récifale de Cul de Sac Gallois. La vitesse du vent parait favoriser la régénération des coraux. Les relations du nombre de juvéniles par mètre carré et de la vitesse du vent présentent une équation de type puissance et peuvent s'écrire $y = 3,6589x^{0.9029}$ avec un coefficient de corrélation moyennement élevée de $R^2 = 0.7793$.

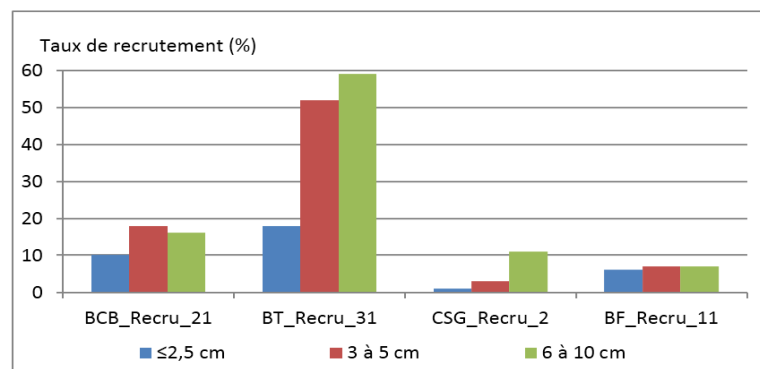


Figure 5 : Variation de la densité des juvéniles des coraux par taille (avec T1 : ≤ 2.5 cm, T2 : 3 – 5 cm, T3 : 6 - 10 cm) dans les 4 anses de la Baie de Diego (BCB_Recru_21 : Taux de recrutement de la Baie de Cailloux Blancs avec vitesse de vent fort de 21 km/h; BT_Recru_31 : Taux de recrutement de la Baie de Tonnerre avec vitesse de vent violent de 31km/h; CSG_Recru_2 : Taux de recrutement de Cul Sac de Gallois avec très faible vitesse de vent 2 km/h; BF_Recru_11 : Taux de recrutement de la Baie de Français avec vitesse de vent moyennement faible de 11km/h)

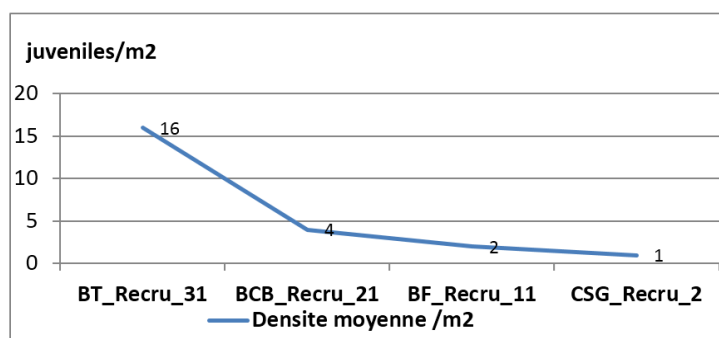


Figure 6 : Variation de la densité de juvéniles coralliennes suivant les quatre anses de la Baie de Diego Suarez

- *Structure en taille*

Les colonies de petite taille prédominent (11-20 cm et 21-40cm) (**Figure 7**) sur chaque Baie. Ce qui confirme la richesse en biodiversité corallienne de la Baie de Diego Suarez.

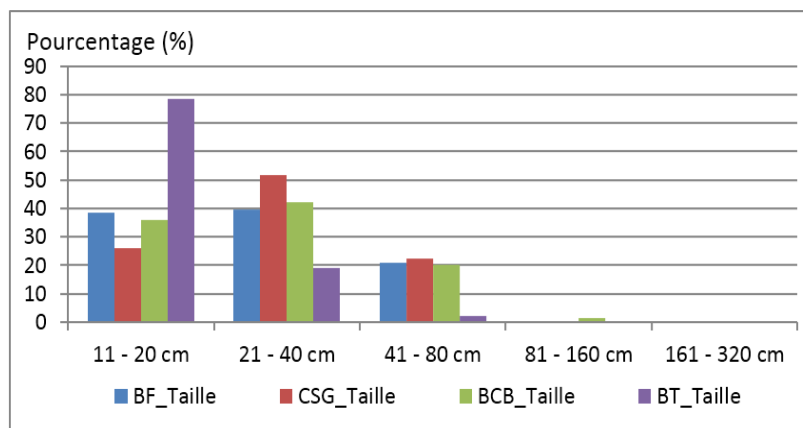


Figure 7 : Taux de distribution de la taille des colonies de coraux

3-2-2. Ecologie

- *Catégories des substrats*

Dans les quatre baies de la Baie de Diego Suarez, le substrat benthique au niveau de la formation corallienne est généralement couvert des êtres biotiques (69 %). Cette couverture en substrat biotique domine largement dans la Baie de Français et la Baie de Tonnerre. Ce qui n'est pas le cas du Cul de Sac Gallois et de la Baie des Cailloux Blancs (**Figure 8**).

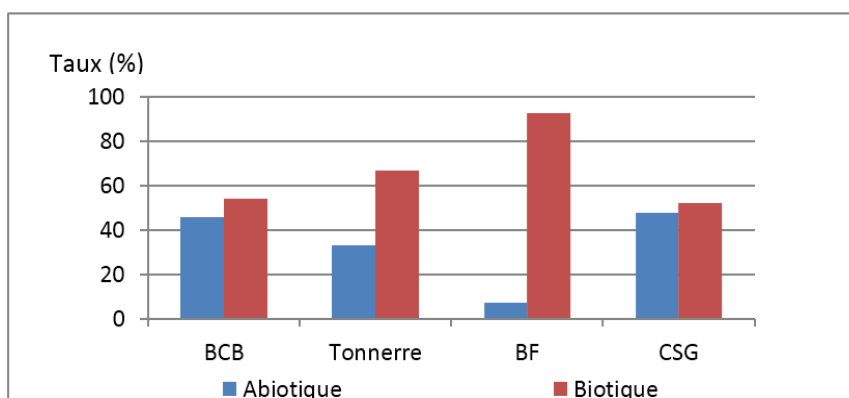


Figure 8 : Couverture de substrats benthiques biotique vs substrats abiotiques dans la Baie de Diego

Afin de mieux comprendre les constituants de la couverture en substrat benthique, nous avons estimé le pourcentage de couverture du fond par catégorie des substrats (**Figure 9**). Les catégories des substrats biotiques sont composées des coraux durs et des assemblages algaux. Tandis que les vases, les sables, les débris coralliens, les roches et les coraux morts recouvrent les substrats abiotiques. Il en résulte que la couverture en coraux durs présente de proportion considérable (avec un taux moyen de 48,5 %) par rapport aux autres substrats dans les quatre anses. Suivant la méthode Asean, qui se base sur le taux de recouvrement des coraux durs, on peut classer la formation récifale de la Baie de Diego Suarez en eau peu profonde en bonne santé. La couverture en assemblages algales, les sables et les débris coralliens, occupent respectivement une proportion non négligeable dans l'ensemble des stations (15,4 % ; 10,1 % et 9,58 %).

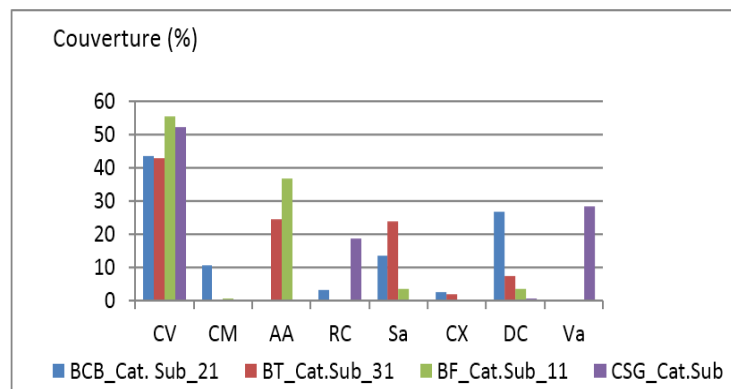


Figure 9 : Pourcentage de couverture du fond par catégorie des substrats (DC : Débris coralliens, RC : Roche, Va : vase, Sa : Sable, CX : Coraux morts, AA : Assemblage algal, CV : Coraux durs)

A noter que les coraux vivant de la Baie des Tonnerre sont majoritairement des coraux submassif et massif et dominé par *g Porites*. A cause d'un très fort courant et d'une émergence prolongée, une large bande des Acropores sont trouvés morts.

- *Densité*

La densité des colonies coralliennes de la Baie de Français est très faible de l'ordre de 3 colonies par m² à cause de l'exploitation par arrachement physique des coraux surtout dans la partie en bas de l'Université d'Antsiranana (UNA). Quant aux catégories du substrat du Cul de Sac Gallois, le pourcentage des coraux vivants est moyennement élevé de l'ordre de 52 % au niveau du détroit en amont de la Baie. Mais aucune formation récifale n'a été rencontrée une fois qu'on entre dans le Cul de Sac Gallois proprement dit. Ce qui n'est pas étonnant, car, les espèces coralliennes supportent très mal les faibles salinités de l'eau de mer [10] et la trop forte sédimentation. En tant que source de ces perturbations, beaucoup de rivières se déversent en permanence dans le Cul de Sac de Gallois et sont dommageable à la formation récifale pouvant s'y rencontrer. La sédimentation charriée et apportée par l'eau douce est un ennemi du développement des récifs coralliens. Elle affecte non seulement le développement du corail (les polypes supportent mal les apports terrigènes), mais elle provoque aussi un remblayage des niches écologiques du platier interne, accroît par conséquent la teneur en éléments nutritifs et favorise la prolifération des algues [11, 12]. La Baie de Tonnerre présente la meilleure densité corallienne de l'ordre de 9 colonies par m².

3-3. Macro Invertébrés

04 groupes des invertébrés sont recensés dont échinodermes, Echinoïdes, Gastéropodes et Bivalves. 74 % des macros invertébrées rencontrées s'agissent des *Diadema setosum* et se sont surtout rencontrés dans la Baie de Français.

3-4. Poissons récifaux

Aucun poisson corallien n'a été rencontré au sein du Cul de Sac Gallois, faute de visibilité. La turbidité très élevée et la présence d'une forte sédimentation indiquent une pollution et explique la dégradation du récif corallien voire absence des poissons récifaux.

3-4-1. Du point de vu richesses spécifiques

Les poissons récifaux dans l'Océan Indien se situent près de 5500 espèces soit 18,3 % des espèces de poissons recensées dans le monde et 20 % des récifs coralliens mondiaux [13]. Les poissons récifaux de Madagascar

comptent 788 espèces appartenant à 329 genres et à 91 familles [14]. Dans la Baie de Diego Suarez, on a pu recenser 139 espèces des poissons appartenant aux 32 familles de poissons récifaux. Ce qui fait que la Baie de Diego Suarez abrite plus de 17 % de la diversité spécifique des poissons récifaux de Madagascar.

Tableau 1 : *Distribution des espèces des poissons récifaux dans les trois baies*

Site	Baie de Français		Baie des Cailloux Blancs		Baie de Tonnerre
Station	Orangea	UNA	Port	Cap Diego	BT
Nombre de l'espèce	91	80	51	67	96
	92		70		96

La Baie de Tonnerre suivi de l'Orangea (**Tableau 1**) est la plus riche en espèce de poissons (respectivement 96 et 91 espèces) par rapport aux autres stations.

3-4-2. Niveau trophique

Au niveau de la formation récifale de la Baie de Diego Suarez, 06 groupes trophiques avec différentes proportions ont été observés dont les planctonivores (à 29,68 %), herbivores (à 23,14 %), détritivores (à 9,06 %), invertivores (à 10,98 %), piscivores (à 14,2 %) et corallivores (à 2,5 %) (**Figure 10**). Ainsi, les poissons planctonivores dominent. La présence des herbivores en proportion moyennement élevé est favorable à la résilience des récifs [15, 16]. Une différence des proportions de groupes trophiques est également perçue au niveau de chaque station d'étude au sein de la Baie.

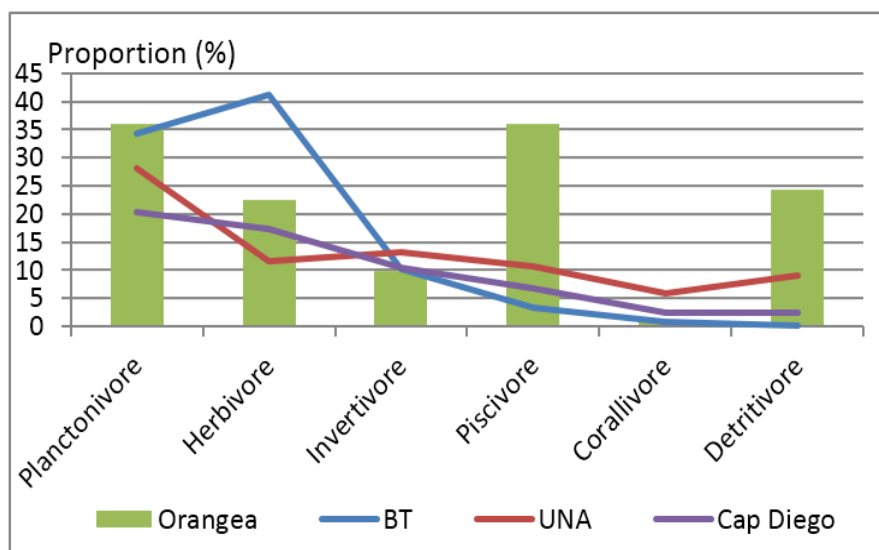


Figure 10 : *Variation des groupes trophiques des poissons par station dans la Baie de Diego Suarez*

Du point de vu groupe fonctionnel des herbivores, les brouteurs qui sont constitués par la famille des Pomacentridés, occupent une proportion plus de 90 % (**Figure 11**). Les racleurs, sont composés de Scaridés (ou poissons-Perroquets) et de Siganidés (ou Poissons-lapins) à une proportion respective de 3 % et de 1 %. La densité moyenne des herbivores est de 222 ± 76 individus par 500 m^2 .

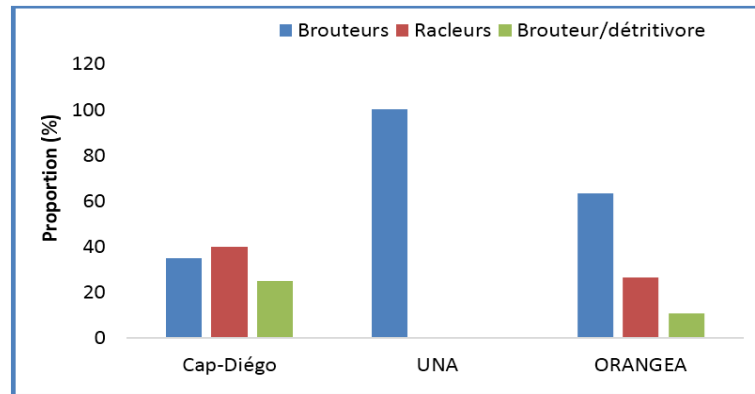


Figure 11 : Variation du groupe fonctionnel des herbivores dans les stations d'étude dans la Baie de Diego Suarez

Les racleurs et de brouteurs / détritivores sont absents dans la station de l'UNA. Ce qui pourra être une source de déséquilibre rendant inefficace le rôle de résilience de récif joué par les herbivores [17 - 19].

3-4-3. Du point de vu densité

La Baie de Tonnerre est le site la plus poissonneuse de la Baie de Diego Suarez (**Tableau 2**). La famille des poissons demoiselles (Pomacentridés) sont les plus rencontrés dans chaque anse de la Baie de Diego Suarez. Elle dépend du corail vivant.

Tableau 2 : Densité des poissons récifaux suivant les trois baies

Site	Baie de Français		Baie des Cailloux Blancs		Baie de Tonnerre
Station	Orangea	UNA	Port	Cap Diego	BT
Densité (nb ind/500m ²)	442	316	700	414	735

3-4-4. Du point de vu Biomasse

La saison humide est significativement plus poissonneuse en poisson de grande taille que la saison sèche avec une biomasse de 1739,458 kg/Ha contre 695,5601 kg/Ha. Au niveau de la Baie de Français, l'Orangea est largement plus poissonneuse en bancs de Pomacentridae que l'UNA (**Tableau 3**). Ce qui est en relation avec la disponibilité des coraux [20]. On note aussi la présence de poissons appartenant à la famille de Serranidae (Mérout) dans ces deux stations de la Baie de Français durant la saison humide.

Tableau 3 : Biomasse des poissons récifaux suivant les quatre baies

Site	Baie de Français		Baie des Cailloux Blancs		Baie de Tonnerre
Station	Orangea	UNA	Port	Cap Diego	BT
Biomasse (kg/Ha)	3312	3117	1045,17	700,5	1435,29
Famille à meilleurs biomasse	Pomacentridae Serranidae		Lutjanidae	Pomacentridae	Scaridae, Siganidae, Haemulidae, Mullidae, Lutjanidae

La famille de Lutjanidés est en tête dans la Baie de Tonnerre et dans l'une des stations de la Baie de Cailloux Blancs. On peut avancer que la Baie de Tonnerre est non seulement poissonneuse mais aussi avec des poissons de grande taille (Scaridae, Siganidae, Haemulidae et Mullidae). Le site Baie de Tonnerre est sans doute le meilleur site en poissons de toute la zone d'étude. On y rencontre à la fois l'abondance et la diversité pour les poissons. Ils sont de grande taille et diversifiés des espèces.

3-5. Menaces

Une menace d'ensablement et d'envasement a été constatée entre le Pain de sucre et la formation de mangrove d'Ampasira (**Figure 12**). Ce qui résulte de la déforestation de la forêt en amont au niveau de la Montagne de Français (Landy S. A et Rasoamanendrika A. F., 2016). Cela présente un important danger sur la formation récifale [21] rencontrée dans la Baie des Français.



Figure 12 : *Ensablement dans la Baie de Français*

Des indicateurs biologiques de la dégradation de récif corallien sont rencontrés principalement en bas de l'UNA au sein de la Baie de Français (75 %) (**Figure 13**) et en faible proportion dans le Cul de Sac Gallois (25 %). Ils s'agissent de la pullulation des oursins (*Diadema setosum*) qui est responsable de dégradation du récif ([22 - 24]) et de bio érosion [25] et du blanchiment des coraux rendant inefficace la résilience d'une formation récifale donnée [26].

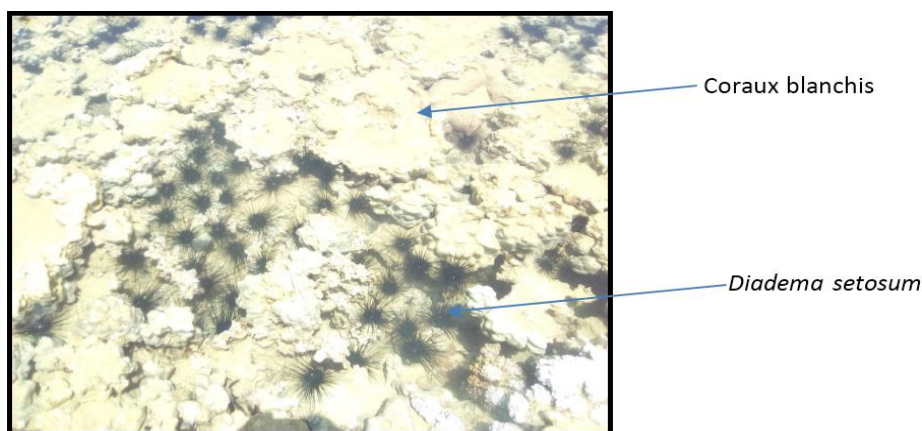


Figure 13 : *Menace des Diadema setosum et de blanchiment des coraux dans la Baie de Français en bas de l'UNA (Source Sonya R., 2018)*

Dans la Baie de Français en bas de l'UNA, les coraux vivants sont arrachés. Cela entraîne une perte d'habitat, disparition de récif [27] et d'aliment pour certains animaux et contribue à l'effet de serre. Dans la Baie de Tonnerre, on a rencontré une large étendue d'*Acropora blanchi* et mort et aussi un filet laissé en mer faisant une pêche fantôme. L'acidification et l'augmentation de la température sont significativement plus élevées dans le Cul de Sac Gallois que dans les trois autres anses. Cela peut entraîner un mauvais impact sur la calcification des coraux et d'autres animaux. Ainsi, les coraux deviennent beaucoup plus vulnérables à l'érosion et à d'autres types de stress ([27, 28]). L'importance de couverture en vase dans le Cul de Sac Gallois présente une menace pour les êtres coralliens [29] qui ne se trouve qu'à son embouchure.

4. Discussion

En tant que bras de la mer, l'alternance de saison (chaude et pluvieuse : allant de novembre à avril et celle de froide et sèche : allant de mai à octobre), la position géographique, le trait géomorphologique et les apports continentaux déterminent les conditions hydrologiques rencontrées dans les 4 anses de la Baie de Diego Suarez. Du point de vu trait géomorphologique de la Baie de Diego Suarez, à l'entrée de la passe, on rencontre le fort vent et houle au niveau de la Baie de Tonnerre avec un fond de caractéristique rocheux. Malgré la proximité de la Baie de Français par rapport à la passe, elle se ferme légèrement sur elle-même via le cap. Ce qui y adoucit la force du vent et de la houle. Ainsi, la Baie de Français est pourvue de fond caillouteux et sablo-vaseux. La Baie des Cailloux Blancs se situant au nord-ouest de la Baie de Tonnerre est à fond sablo vaseux et a hydrodynamisme moyennement élevé. Au sein de Cul de Sac Gallois, la force du vent est faible à cause de sa distance la plus éloignée de la passe. Ainsi, le fond est de caractéristique vaseux à cause d'une forte sédimentation qui est 2 à 4 fois plus élevé que la norme de 35mg/L. L'analyse de la variation de température saisonnière dans la Baie de Diego Suarez en année 2007 [30] et sur les deux années 2016 à 2017 montre une fluctuation dont l'allure est identique. La gamme de variation de la température permet un développement des récifs coralliens durant la saison froide (inférieure à 28°C). Mais durant la saison chaude, elle semble dépasser la limite de la température optimale de 28°C [31].

Cela accentue la vulnérabilité la formation récifale qui peut être fatale surtout lors de l'exondation durant la marée basse de MVE de la saison chaude. L'augmentation de la température de l'eau dans le Cul de Sac Gallois suivi de celle de la Baie des Cailloux Blancs peut être expliquée pour deux grandes raisons. La première raison s'agit de leur position géographique par rapport au Port d'Antsiranana et au central thermique d'Antsiranana. Ces deux structures déversent une partie de leur hydrocarbure qui est responsable de l'augmentation de la température de l'eau. Cul de Sac Gallois se positionne en aval de ces deux structures, tandis que Cap Diego (dans la Baie des Cailloux Blancs) se trouve en leur face. Quant à la deuxième raison, Cul de Sac Gallois est une Baie quasi fermée. Ce qui amplifie la stratification de l'eau de la zone renforçant par la suite l'augmentation de la température de l'eau face au manque de renouvellement de l'eau. La progression de l'acidification de l'eau de mer au niveau de certains sites de la Baie de Français et du Cul de Sac Gallois constitue des conditions non favorables à la croissance de la formation récifale à base calcaire [32]. En tant que bras de la mer semi fermé, la Baie de Diego Suarez se comporte comme un bassin où la communication de l'eau de mer entre la baie et l'océan ne se déroule qu'au niveau de la passe. Cet échange limité entraîne une augmentation de la salinité de l'eau. C'est le cas de la salinité de l'eau de mer rencontrée dans la Baie de Tonnerre (37,5 ‰) et la Baie des Cailloux Blancs (38 ‰).

Une diminution de la salinité de l'eau de mer est perçue dans la partie de la baie bénéficiant du déversement continu d'une ou de plusieurs rivières. C'est le cas de la salinité de l'eau de mer rencontrée dans la Baie de Français (34,3 ‰) et le Cul de Sac Gallois (32 ‰). Du point de vu turbidité, celle rencontrée dans le Cul de Sac Gallois est la plus critique face à la formation du récif corallien. Les récifs coralliens de la Baie de Diego Suarez sont de type frangeant. Le bilan des connaissances sur la biodiversité des récifs coralliens dans la Baie de Diego Suarez fait état d'environ 20 genres. La classification au niveau du genre laisse à penser que la biodiversité pourrait être bien plus élevée au niveau de l'espèce. Au stade de recrutement, la meilleure régénération des coraux rencontrée au sein de la Baie de Tonnerre est certainement liée à la forte augmentation du courant de l'eau de mer. Ce dernier est expliqué par la forte vitesse du vent enregistrée (31km/h). Parallèlement, la faible régénération des coraux enregistrée dans les trois autres baies varie proportionnellement suivant la diminution de la vitesse du vent. Ainsi, une maigre régénération et la pauvre richesse taxonomique rencontrée dans le Cul de Sac Gallois est moins surprenant face au faible remaniement des sédiments superficiels constituant un obstacle à l'implantation des jeunes coraux [33]. Au stade adulte, la richesse des jeunes adultes coralliens de la Baie de Diego Suarez montre ainsi la potentialité de la reproduction voire de

la pérennité de la population corallienne. Le taux de recouvrement corallien variant entre 42 % et 56 % montre des peuplements benthiques en bonne santé dans les quatre anses de la Baie de Diego Suarez, avec un recouvrement corallien record de 9 colonies par m² dans la Baie de Tonnerre. Ce dernier est à caractéristique des milieux exposés aux houles avec une dominance de colonies coalescentes massives de *Porites*. Le taux de recouvrement en assemblage algal n'est élevé que dans la Baie de Français et Baie de Tonnerre. Cette tendance s'explique par un fort blanchissement qui a affecté les colonies d'*Acropora* au profit du recouvrement algal sur 25 % du platier récifal de la Baie de Tonnerre. Aussi, la densité élevée d'échinodermes bio-érodeurs (*Diadema setosum*) de 7 individus par m² soit 74 % des macro-invertébrés rencontrés est en corrélation directe avec l'accroissement de la couverture algale dans la Baie de Français. Baie de Tonnerre possède les espèces de poissons récifaux les plus diverses (96 espèces) et les plus nombreux (735 poissons/m²). Une forte corrélation ($R^2 = 0,86$) a été trouvée entre la biomasse des macroalgues et l'abondance des herbivores récifaux. Ce qui confirme le rôle du contrôle des peuplements algaux par la pression herbivore [34]. Globalement dans les quatre anses sauf au niveau de la station d'Orangea, les prédateurs de haut niveau trophique, notamment les piscivores sont très peu abondants. Ce qui est caractéristique des milieux fortement exploités par les activités halieutiques.

Ainsi, l'utilisation de récifs artificiels, cas des vestiges des bateaux ayant échoués dans la Baie de Diego Suarez, comme outils de gestion des ressources démersales exploitées par la pêche côtière est une des solutions envisagées pour déplacer la pression de pêche des zones récifales vers les zones sableuses [35]. L'abondance des piscivores au niveau de la station d'Orangea indique la réussite et l'importance accordée à la présente protection de ce site contre la pêche. La menace sur la formation récifale de la Baie de Diego Suarez est polymorphe et sous l'influence des actions combinées des pressions anthropiques (à caractéristique direct) et des phénomènes naturels (à caractéristique indirect). Elle accentue les pressions sur les récifs coralliens et risque de diminuer leurs capacités de résilience. Parmi les menaces à facteur direct, Cul de Sac Gallois suivi de la Baie de Français sont les plus affectés voire victimes. Car, ils subissent les incidences de la zone urbaine (Polluants urbains, industriels et d'origine animale) et des apports terrigènes venant des importantes rivières. Ainsi, Cul de Sac Gallois est touché de la forte sédimentation, du reste d'huile d'hydrocarbure et de prolifération des indicateurs de dégradations de la formation récifale, cas de *Diadema setosum* (avec une densité de 4 individus /m²). Baie de Français est affectée de l'arrachement des coraux vivants, de l'ensablement, de l'érosion et aussi de de prolifération des *Diadema setosum*. Parmi les menaces à facteur indirect, les quatre anses subissent les mêmes pressions, mais laissant avantage à l'anse ayant une formation récifale en bonne santé et rarement exondé totalement lors de la basse mer de la marée des vives eaux.

5. Conclusion

La présente étude rassemble les informations recueillies suite aux observations participatives de notre part durant 10 jours de la saison humide de l'année 2016 et de la saison sèche de l'année 2017. Dans le cadre de ce travail, les informations sur la formation récifale de la Baie de Diego Suarez sont globalement issues du séquentiel platier récifal de ses quatre anses constitutives. L'analyse de l'état de santé récifal actuel de la Baie de Diego Suarez conduit à des nombreux constats. Le taux moyen de couverture en coraux vivants dans la Baie de Diego Suarez se situe autour de 48,5 % et indique un bon état de santé récifal dont celui de la Baie de Tonnerre est le meilleur et celui de Cul de Sac Gallois est le plus critique. A part les perturbations naturelles qui peuvent rencontrées dans l'ensemble de la Baie de Diego Suarez, les stations du complexe récifal situées dans la Baie de Français (sauf au niveau de station Orangea) et surtout dans le Cul de Sac Gallois sont directement soumise à l'incidence des diverses perturbations (zone portuaire et du central thermique, apports de terrigènes via les rivières). Afin de réduire les impacts négatifs des activités qui s'y rencontrent, une attention particulière doit être apportée sur la mise en place d'une mode de gestion durable et soutenable de la Baie de Diego Suarez. D'où l'importance accordée à une analyse holistique sur l'état de lieu de tous les écosystèmes qui s'y rencontre.

Références

- [1] - SEA-SEEK Madagascar, “*Ebook Sailing guide / Guide nautique. Indian Ocean*”, (2018) 100 p. <http://www.sea-see.com>
- [2] - CEPF, “*Profil d'écosystème ; Hotspot de Madagascar et des îles de l'Océan Indien*”, Critical Ecosystem Partnership fund, (2014) 314 p.
- [3] - C. CONAND, P. CHABANET, J-P. QUOD and L. BIGOT, “*Guidelines : Coral Reef Monitoring in the South-West Region of the Indian Ocean*”, Indian Ocean Commission and the Regional Environmental Programme, Mauritius, (1999) 27 p.
- [4] - Y. LE TOURNEUR et al., “*Length-Weight relationships of fishes from coral reefs and lagoons of New Caledonia-an update*”. Ed. Naga, the ICLARM Quarterly, 21 (4) (1998) 39 - 46
- [5] - A. H. M. ADAKALO, “*Evaluation qualitative des eaux de surface de la Baie de Diego Suarez*”. In Mémoire de Licence. Faculté des Sciences de l'Université d'Antsirana, (2015) 19 p.
- [6] - RAZAFINDRAVOAVY P. E., “*Pollution marine de la Baie de Diego Suarez*”. Mémoire de Licence. Faculté des Sciences de l'Université d'Antsirana, (2016) 30 p.
- [7] - S. A. LANDY, MOUSTOIFA, S. A. FATIMA, “*Diagnosis of climate change in the Bay of Diego, northern Madagascar*”, Poster, Tenth Western Indian Ocean Marine Science Association (WIOMSA) Scientific Symposium, Dar es Salaam, Tanzania, (2017)
- [8] - G. WILLIAM, SUNDA and WEI-JUN CAI, “*Eutrophication Induced CO₂-Acidification of Subsurface Coastal Waters: Interactive Effects of Temperature, Salinity, and Atmospheric P_{CO2}*”. Ed. *Environ. Sci. Technol.*, 46 (19) (2012) 10651 - 10659 p.
- [9] - S. A. LANDY, F. M. A. RASOAMANENDRIKA, B. E. ZANDRINIRINA, Structure et pressions de mangrove de la Baie de Diego. Forum de la Recherche sur la Biodiversité et le Développement Durable 2017. 5ième Edition « Biodiversité et développement durable », (2017)
- [10] - M. AMANIEU et G. LASSERRE, “*Organisation et évolution des peuplements lagunaires*”, Ed. Actes Symposium international sur les lagunes côtières, SCOR/IABC/UNESCO, *Oceanol. Acta*, SP, (1982) 201 - 213, <http://archimer.ifremer.fr/doc/00246/35752/34260.pdf>
- [11] - L. N. J. RANAIVOMANANA, “*Identification des conditions d'appropriation de la gestion durable des ressources naturelles et des écosystèmes : Cas du grand récif de Toliara*”, Thèse de doctorat en Halieutique. A Rennes, Agrocampus Ouest, (2006)
- [12] - F. M. A. RASOAMANENDRIKA, C. G. RALIJAONA et H. BRUGGEMANN, “*Seasonal dynamic of *Sargassum latifolium* and *Turbinaria ornata* on the coral reefs of Toliara and Nosy Ve (South-West Madagascar)*”, Poster, Seventh Western Indian Ocean Marine Science Association (WIOMSA) Scientific Symposium, Mombasa, (2011)
- [13] - S. JUGANT, “*Importance des récifs coralliens pour les poissons récifaux : exemple des Demoiselles (Pomacentridae), dans l'archipel des Maldives*”, Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, (2012) 142 p.
- [14] - S. A. MCKENNA et G.R. ALLEN, “*A rapid marine Biodiversity Assessment of Northwest Madagascar*”, Bulletin of Rapid Assessment Program 31, Conservation International, Washington DC, (2005)
- [15] - F. RAMAHATRATRA, “*Etude de la capacité de résilience du Grand Récif de Toliara et de sa gestion durable*”, Thèse de Doctorat, Institut Halieutique et des Sciences Marines, (2014) 128 p.
- [16] - D. OBURA et G. GRIMSDITCH, “*Resilience assessment of coral reefs- Assessment protocol for coral reefs, focussing on coral bleaching and thermal stress*”. IUCN Working group on Climate change and coral reefs. IUCN, Gland, Switzerland, (2009) 70 p., ISBN : 978-2-8317-1151-5; www.iucn.org/cccr/publications

- [17] - S. BRUGNEAUX, "Regulation des communautés algales par les macro-herbivores dans les communautés récifales des Antilles françaises (Guadeloupe, Martinique, Saint Barthelemy)". Thèse de doctorat. Université des Antilles et de la Guyane, (2012) 205 p.
- [18] - A. J. CHEAL, M. A. MACNEIL, E. CRIPPS, M. J. EMSLIE, M. JONKER, B. SCHAFFELKE et H. SWEATMAN, "Coral-macroalgal phase shifts or reef resilience: links with diversity and functional roles of herbivorous fishes on the Great Barrier Reef". *Coral Reefs*, 29 (2010) 1005 - 1015
- [19] - T. P. HUGHES, M. J. RODRIGUES, D. R. BELLWOOD, D. CECCARELLI, O. HOEGH-GULDBURG, L. MCCOOK, N. MOLTSCHANIWSKYJ, M. S. PRATCHETT, R. S. STENECK et B. WILLIS, "Phase shifts, herbivory and the resilience of coral reefs to climate change". *Current Biology*, 17 (2007) 360 - 365
- [20] - L. BLANC, C. ALIAUME, A. ZERBI et G. LASSERRE, "Spatial and temporal co-structure analyses between ichthyofauna and environment: an example in the tropics". *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie / Life Sciences*, 324 (2001) 635 - 646
- [21] - C. R. WILKINSON, "Global and local threats to coral reef functioning and existence: review and predictions". *Mar. Freshwater Res.*, 50, 867 (1999) 78
- [22] - A. V. NORSTRÖM, M. NYSTRÖM, J. LOKRANTZ, C. FOLKE, "Alternative states on coral reefs: beyond coral-macroalgal phase shifts". *Marine Ecological Progress Series*, 376 (2009) 295 - 306
- [23] - P. DUMAS, M. KULBICKI, S. CHIFFLET, R. FICHEZ, J. FERRARIS, "Environmental factors influencing urchin spatial distributions on disturbed coral reefs (New Caledonia, South Pacific)". *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 344 (2007) 88 - 100
- [24] - T. R. MCCLANAHAN et R. ARTHUR, "The effect of marine reserves and habitat on population of East African coral reef fishes". *Ecological Applications*, 11 (2001) 559 - 569
- [25] - M. CARRERIO-SILVA, T. R. MCCLANAHAN, "Echinoid bioerosion and herbivory on Kenyan coral reefs: the role of protection from fishing". *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 262 (2001) 133 - 153
- [26] - J. M. WEST et R. V. SALM, "Resistance and resilience to coral bleaching: implications for coral reef conservation and management". *Conservation Biology*, 17 (2003) 956 - 967
- [27] - CORAL GUARDIAN, "Initiation à la biologie du corail", | Empowering Coastal Communities, (Octobre 2018) 25 p. <https://www.coralguardian.org/wp-content/uploads/initiation-la-biologie-du-corail.pdf>
- [28] - O. HOEGH-GULDBERG, P. J. MUMBY, A. J. HOOTEN, R. S. STENECK, P. GREENFIELD, E. GOMEZ, C. D. HARVELL, P. F. SALE, A. J. EDWARDS, K. CALDEIRA, N. KNOWLTON, C. M. EAKIN, R. IGLESIAS-PRIETO, N. MUTHIGA, R. H. BRADBURY, A. DUBI et M. E. HATZIOLOS "Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification". *Science*, Vol. 318, (2007)
- [29] - K. KOOP, D. BOOTH, A. BROADBENT, J. BRODIE, D. BUCHER, D. CAPONE, J. COLL, W. C. DENNISON, M. ERDMANN, P. HARRISON, O. HOEGH-GULDBERG, P. HUTCHINGS, G. B. JONES, A. W. D. LARKUM, J. O'NEIL, A. STEVEN, E. TENTORI, S. WARD, J. WILLIAMSON et D. YELLOWLEES, "The effect of nutrient enrichment on coral reefs". 2. Synthesis of results and conclusions. *Marine Pollution Bulletin*, 42 (2001) 91 - 120
- [30] - Frontier de Madagascar, Science summary, Report 15. Frontier Madagascar Environmental Research Series, (2007)
- [31] - A. COOKE, "Les récifs coralliens", KEPEM et ONE, ARD N° 39-b, (1996) 49 p.
- [32] - I. M. CÔTÉ et E. S. DARLING, "Rethinking Ecosystem Resilience in the Face of Climate Change". *PLoS Biol*, 8 (7) (2010)
- [33] - M. ADJEROUD, F. MICHONNEAU, P. J. EDMUNDS, Y. CHANCERELLE, T. LISON DE LOMA, L. PENIN, L. THIBAUT, J. VIDAL-DUPIOL, B. SALVAT et R. GALZIN. "Recurrent disturbances, recovery trajectories and resilience of coral assemblages on a South Central Pacific Reef". *Coral Reefs*, 28 (3) (2009) 775 - 780
- [34] - Ifreco, "Etat des récifs coralliens et des écosystèmes associés des Outre-mer français en 2015", (2012) 85 p.
- [35] - E. TESSIER, Dynamique des peuplements ichthyologiques associés aux récifs artificiels à l'île de la Réunion (ouest de l'océan Indien) - Implication dans la gestion des pêcheries côtières. Thèse de Doctorat, Université de la Réunion. HAL, (2010), <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00464191>