



Relations entre les facteurs climatiques et le rythme de croissance des colonies de coraux *Porites sp* de la zone périphérique de l'Aire protégée Antrema, Région Boeny, Madagascar

Séraphin REMISY^{1,2}, Sidonie ALEXANDRE^{1,4}, Henri RAKOTOTIALAZA¹, Rivoaharinala RASOANARIVO¹, Georges Fabrice RAMANGAMAHAÏ^{1,3}, Angelia RAMANANTENASOA¹
Hery Lisy Tiana Ranarijaona⁵

1 Ecole Doctorale Génie du Vivant et Modélisation, Faculté de Sciences, de Technologie et de l'Environnement, Université de Mahajanga

2 Ministère de la Pêche et de l'Economie Bleue, Mahajanga, Madagascar

3 Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, Mahajanga, Madagascar

4 Centre Nationale de Recherche Océanographique, Nosy Be, Madagascar

5 Ecole Doctorale Ecosystèmes Naturels, Faculté de Sciences, de Technologie et de l'Environnement, Université de Mahajanga, Madagascar

(Contact : +261 34 53 269 44, e-mail : remisy@gmail.com)

Résumé: Le changement climatique pose une émergente et une sévère menace pour les coraux. Cette étude est focalisée sur la dépendance des facteurs climatiques sur le rythme de croissance des coraux de la partie marine de l'Aire Protégée Antrema au Nord-Ouest de Madagascar. Les paramètres de 05 colonies de coraux massifs *Porites sp* collectés à Ambatonankoy ont été obtenus par analyse des bandes de croissance des clichés radiographiques X des plaquettes des coraux et les paramètres de croissance des coraux ainsi obtenues ont été comparés aux SST et à la pluviométrie du site. Le taux de croissance moyenne des coraux varie de 0.8596 ± 0.3851 et de 0.9166 ± 0.3495 cm.an^{-1} . La densité réelle moyenne de squelette des coraux correspond à 1.75g.cm^{-3} . Cette densité moyenne varie de 0.54 à 1.96g.cm^{-3} . Le taux de calcification est compris entre 0.19g.cm^{-3} et 3.65g.cm^{-3} . La relation entre les données climatiques et les paramètres de croissance des coraux n'est pas nulle. 02 colonies sur les 05 ont montré une relation significative avec la SST ($R^2 = 0,1729$, $p = 0,0179$; $R^2 = 0,1543$, $p = 0,02617$) et toutes les 05 colonies ont une relation non significative avec la pluviométrie. La relation est forte avec la SST alors qu'elle est faible avec la pluviométrie.

Mots-clés : coraux, radiographie corallienne, croissance des coraux, changement climatique, *Porites*

Abstract: Climate change poses an emerging and several threat to corals. This study focuses on the dependence of climate change on coral growth collected in Ambatonankoy in the marine part of the Antrema protected area in the northwest of Madagascar. Growth parameters of 05 colonies of massive Porite corals were obtained by growth bands analysis of the radiographic X images of coral slices and thus coral growth parameters obtained were compared with SST and rainfall of the study site. The average growth rate of coral varies from 0.8596 ± 0.3851 to 0.9166 ± 0.3495 cm.an^{-1} . The average skeleton bulk density of the corals corresponds to 1.75g.cm^{-3} . This average density varies from 0.54 to 1.96g.cm^{-3} . The calcification rate is between 0.19g.cm^{-3} and 3.65g.cm^{-3} . The relationship between climate change data and coral growth parameters is not equal to zero. 02 colonies out of the 05 showed a significant relationship with SST ($R^2 = 0.1729$, $P = 0.0179$; $R^2 = 0.1543$, $P = 0.02617$) and all 05 colonies have a non-significant relationship with rainfall. The relationship is stronger with SST while it remain considerably low with rainfall.

Key words: Coral, coral radiography, Coral growth, climate change, *Porites*

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.13893194>



1 Introduction

Madagascar, situé dans le Sud-ouest de l'Océan indien, fait partie du domaine indopacifique tropical où les récifs coralliens constituent l'écosystème marin littoral type. Ces derniers sont surtout développés le long de la côte Ouest. Au total les récifs coralliens malgaches s'étendent le long de la côte sur environ 1400 km, auquel à cela s'ajoutent les bancs coralliens et les hauts fonds du large. Ils couvrent une superficie totale estimée à 2400 km² (Cook et *al.* 2000). Les coraux hermatiques peuvent adopter des formes branchues, massives, encrustantes, colonnaires, laminaires, foliacées, nodulaires et libres ou corallithes (Veron, 2000). Plusieurs sources indiquent que la croissance de squelette calcaire de coraux est contrôlé à la fois par les facteurs endogènes et les facteurs exogènes. La croissance des coraux est réglée par les facteurs endogènes tels que la taille, l'âge, les cycles de reproduction et les endosymbiotes types dans les colonies des coraux. (Sheppard et *al.*, 2010; Lough et Cooper, 2011; Allemand et *al.* 2011). Les processus physiologiques coralliens, comme la calcification, sont régulés par les facteurs exogènes tels que l'intensité de la lumière, la température, l'énergie hydraulique, la sédimentation et la profondeur. (Lough et Barnes, 2000 ; Lough et Cooper, 2011). Il est reconnu que la température peut contrôler la croissance de coraux et le taux de calcification (Lough et Barnes, 2000; Lough et Cooper, 2011). A l'échelle globale, les récifs coralliens sont parmi les écosystèmes le plus vulnérables au changement climatique. Le réchauffement planétaire résultant du changement climatique pose une émergente et une sévère menace additionnelle sur le stress des colonies récifales (Wilkinson, 2004). L'implication des facteurs environnementaux locaux constitue une des questions posées par les chercheurs dans l'étude de la croissance des coraux. Donc, il est primordial d'analyser le rapport entre les facteurs climatiques de la Région et le rythme de croissance des coraux. Nous attendons à ce que la variabilité de taux de croissance, de la densité et le taux de calcification des colonies coraux étudiées ont une relation et une liaison avec les données climatiques de la Région.

2 Matériels et méthodes

2.1 Site d'étude

05 colonies de *Porites sp* ont été collectées en janvier 2021 à Ambatonankoay, dans les formations coralliennes d'Ambanjabe, dans la partie marine de l'Aire Protégée Antrema, au Sud-Ouest de Mahajanga (15°44'15.5''S 046°02'53.1''E), Région Boeny, dans le Nord-Ouest de Madagascar.



Figure 1. Carte de la localisation de la zone d'étude

2.2 Méthode

Les spécimens ont été prélevés par plongée sous-marine sur une profondeur variant entre 1.5 à 5m ; ils ont été d'abord desséchés au soleil puis coupés en plaquettes en 3 à 6 mm d'épaisseur suivant l'axe de croissance apicale dans un laboratoire. Ces plaquettes de squelette des coraux ont été par la suite radiographiées sur X-Ray Console Model KZT 20 d'une constante 69 KwA pour 6mAs/50mAs pendant 0.12 seconde sur une distance de 1.85m et sur CT scanner ECLOS Hitachi QIE-BW1 596 d'une constante d'exposition à 100 kvA, 175 mAs pendant 1.0 seconde. Les paramètres de croissance des coraux tels que le taux de croissance, la densité et la calcification de chaque colonie ont été déterminées à l'aide de mesures et le comptage des bandes claires et sombres apparues dans les images radiographiques, de l'exploitation de la valeur de densité moyenne de squelette des colonies obtenue dans le laboratoire et de calibrage des densités optiques des clichés radiographiques à l'aide de logiciel Image J 1.46 (<http://imagej.nih.gov/ij>). L'analyse statistique de la corrélation des valeurs de paramètres de croissance des coraux et les données climatiques ont été réalisées sur R Studio sur le test de Shapiro-Wilk normality. Les données de la température de la surface de la mer et de la pluviométrie du site d'étude ont été obtenues grâce à l'extraction des données globales fournies par NOAA High-Resolution Blended Analysis of Daily SST and Ice et de Copernicus via Bilko Software de l'UNESCO.

2.3 Résultats et discussion

Le tableau 1 montre que l'âge des 05 colonies des coraux varie entre 32 à 36 ans. Le taux de croissance annuel moyenne des coraux varie autour de 0.8596 ± 0.3851 et de 0.9166 ± 0.3495 cm.an⁻¹ ; la comparaison de la distribution des valeurs de l'extension linéaire annuelle par ANOVA ne montre pas de différence significative (ANOVA, $F(4,4161) = 0.451$; $p = 0.772$).

Tableau 1. Caractéristique de l'extension linéaire des colonies de coraux

Echantillon	Taille des coraux	Période	Age de la colonie	Extension linéaire moyenne (cm)
AMB001	30.06	1989-2020	32	0.8596 ± 0.3851
AMB002	30.604	1989-2020	32	0.8400 ± 0.3828
AMB003	33.604	1987-2020	34	0.8218 ± 0.2868
AMB004	29.149	1990-2020	32	0.8488 ± 0.304
AMB005	32.028	1987-2020	36	0.9166 ± 0.3495

La valeur de densité moyenne de squelette des coraux déterminée au laboratoire correspond à 1.75 g.cm^{-3} pour l'ensemble des colonies. Cette densité annuelle varie entre 0.54 et 1.96 g.cm^{-3} . Aussi, le taux de calcification obtenu est compris entre 0.19 g.cm^{-3} et 3.65 g.cm^{-3} .

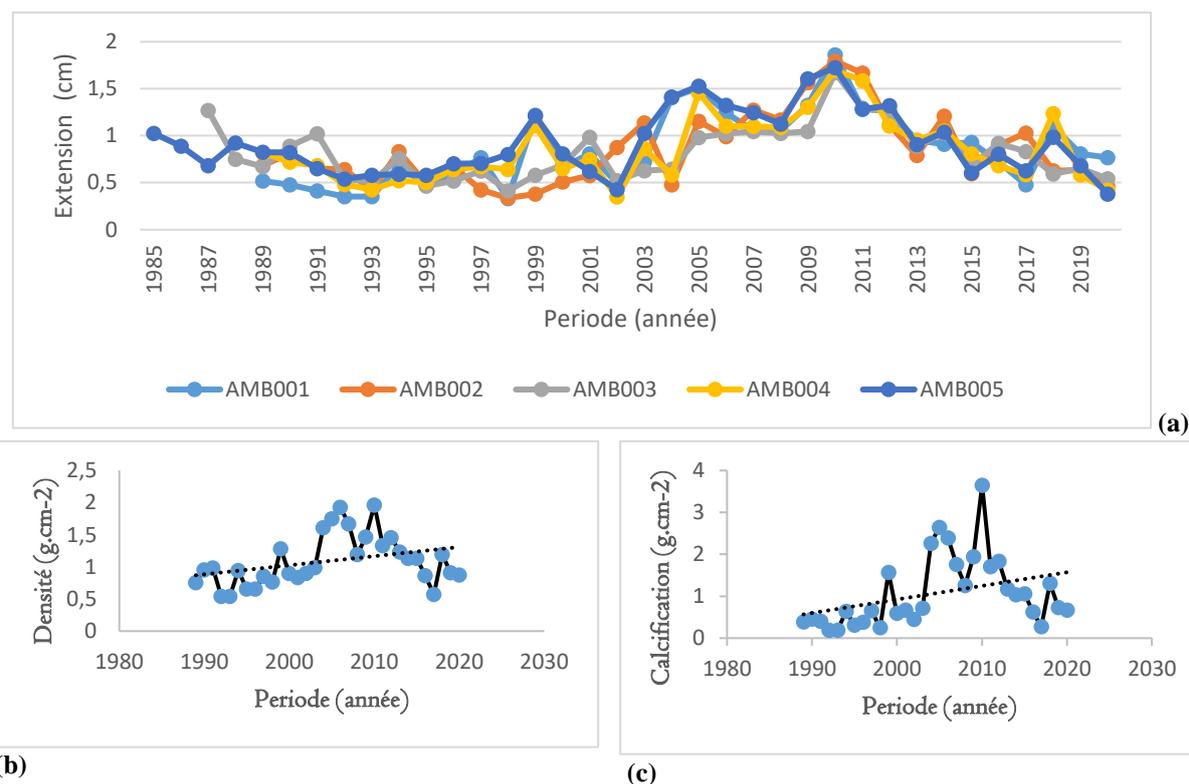


Figure 1. Courbe de croissance de squelette de coraux (a) Taux de croissance des 5 échantillons de coraux (b) Densité annuelle de squelette de la colonie AMB001 (c) Taux de calcification annuelle de l'échantillon AMB001

Nous avons remarqué aussi que les trois paramètres de croissances des colonies des coraux ont présentés une forte variation annuelle et généralement, ils ont montré une tendance linéaire positive c'est-à-dire que la croissance des coraux est en augmentation progressive si nous nous referions à la statistique des données obtenues (Figure 1). Apparemment, le point commun entre ces courbes de croissances est l'observation à l'origine de ces courbes, une augmentation du rythme de croissance avec des interruptions jusqu'en 2010 et une nette diminution à partir de 2010 jusqu'en 2020. Cette tendance concerne aussi bien la densité que la calcification de la colonie étudiée.

L'analyse de corrélation entre la température de la surface de la mer et le taux de croissance annuel de chaque colonie des coraux ont montré une relation significative pour les 2 échantillons ($R^2 = 0,1729$, $p = 0,0179$ pour AMB001 et $R^2 = 0,1543$, $p = 0,02617$ pour AMB004). Pour les 3 autres échantillons, cette corrélation n'est pas nulle ; mais, elle n'est pas significative ($R^2 = 0,04613$, $p = 0,2378$ pour AMB002 ; $R^2 = 0,07636$, $p = 0,1258$ pour AMB003 ; $R^2 = 0,09504$, $p = 0,08605$ pour AMB005) (figure IIA). La figure IIB indique la corrélation entre la pluviométrie annuelle avec la croissance des coraux. Elle est aussi non nulle ; mais elle n'est pas significative pour l'ensemble des 5 échantillons de coraux ($R^2 = 0,001$, $p = 0,833$ pour AMB001 ; $R^2 = 0,007$, $p = 0,67$ pour AMB002 ; $R^2 = 0,014$, $p = 0,536$ pour AMB003 ; $R^2 = 0,018$, $p = 0,482$ pour AMB004 et $R^2 = 0,001$, $p = 0,852$ pour AMB005). Tous les résultats indiquent l'existence de corrélation entre les données climatiques et la croissance des coraux. On note une forte corrélation de la croissance des coraux avec la température de la surface de la mer (SST) et une faible corrélation de la croissance avec la pluviométrie. La liaison est positive envers la SST et cette liaison est négative envers la pluviométrie. Ce dernier signifie que la SST impacte positivement sur la croissance, l'augmentation de la température de l'eau de mer favorise ou accélère la croissance des coraux et paradoxalement l'augmentation de la pluviométrie réduit la croissance de coraux.

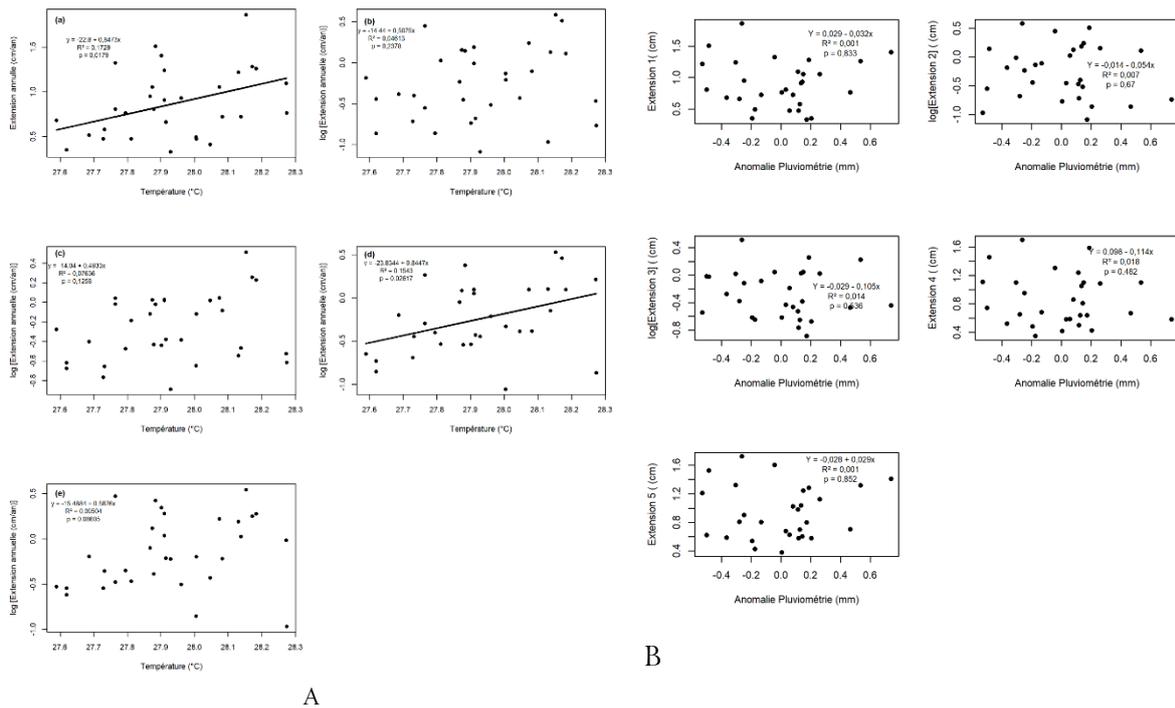


Figure 3. Corrélation entre les données climatiques et les paramètres de croissance des colonies des coraux (A) : nuages de points de la corrélation entre le SST et l'extension linéaire annuelle (B) : Nuage de points de la corrélation entre la pluviométrie et l'extension linéaire des coraux.

Ces résultats indiquent l'existence d'une dépendance entre les données climatiques et la croissance des coraux. Cette relation est forte pour la SST et elle faible pour la pluviométrie. Ce qui conduit à l'hypothèse selon laquelle toute modification des conditions climatiques (température, pluviométrie) déterminant les caractéristiques du milieu marin (température de surface, salinité) impacte sur la biologie des coraux et plus précisément sur leur taux de croissance, sur la densité et sur leur calcification.

Nous avons aussi constaté que, plus la température augmente plus le rythme de croissance s'accélère. Pourtant, l'augmentation excessive de la SST annuelle moyenne à 28°C a ralenti considérablement la croissance des coraux par exemple en 2018. Donc, nous pouvons affirmer ici que la croissance des coraux de la Région du Nord-Ouest de Madagascar est aussi perturbée par l'augmentation excessive de la température de la surface de la mer. Le taux de croissance annuel des squelettes des coraux est corrélé positivement avec la température de la surface de la mer et que la densité maximum est associée aux SST en dessous de la moyenne (Weber, 1975).

Les impacts de stress thermiques sont très remarquables sur les coraux de la planète durant les années 1998, 1999 et 2020, années durant lesquelles périodes la SST excédait leur moyenne globale (Lin, 2023). Les algues symbiotiques quittent les colonies de coraux exposés aux SST excédant la normale (Graham et al., 2020 ; Hoegh-Gulberg, 1999 ; Hughes et al., 2003) et cette variation de la température pourrait aboutir à l'altération des coraux en provoquant leur blanchissement. Selon la prévision des scientifiques, les récifs dans les pays tropicaux seraient incapables de se calcifier à cause de la diminution de carbonate dans l'eau de mer, de la fréquence et de la sévérité de l'augmentation de la SST et de la fréquence des cycles des vagues. Depuis l'année 2020, on note des anomalies

la température, pic thermique, dont l'impact combine avec celui de l'élévation du niveau et de l'acidification de la mer conduit à concevoir de mauvaises perspectives sur le devenir des écosystèmes récifaux. (GIEC, 2023).

Nous avons aussi conclu que la faible relation entre la pluviométrie et la croissance corallienne indique que la pluviométrie agit indirectement et constitue une menace additionnelle aux écosystèmes coralliens. La pluviométrie n'agit directement pas sur la croissance des coraux, mais c'est plutôt la conséquence de la pluie sur leur milieu de développement qui est gênante pour les récifs. L'abondance des pluies provoquent une importante modification des facteurs environnementaux des récifs coraux pour ne citer que la dessalure, la forte turbidité de l'eau et une forte sédimentation dans les eaux de mer. Ces modifications importantes du milieu ont des impacts négatifs sur la croissance, la biologie et le cycle vital des coraux. Nous avons constaté cette forte présence de sédiment lors de la plongée sous-marine. L'important apport de sédiments du milieu est lié à la déforestation en amont des embouchures des baies de la Région comme le Baie de Bombetoka. Donc, nous avons admis que une forte abondance de pluies constitue une menace additionnelle aux récifs coralliens déjà stressés par la température excessive. Une importante quantité a été transportée par les rivières de Betsiboka vers la mer pendant la saison de pluie à Mahajanga. Pendant la saison de pluie, les fleuves virent au rouge à cause de la grande érosion des terres rouges. Les afflux des Mahavavy et de Betsiboka sont parmi les plus importants des rivières de l'Ouest (Chaperon *et al.*, 1993) ; ils touchent particulièrement le site d'étude. Les sédiments transportés par les rivières menacent les récifs coralliens locaux ; ils perturbent aussi bien la croissance des coraux mais aussi capable de les anéantir par asphyxie et augmentent les risques de maladies des coraux. (Maina *et al.* 2012 ; C. A. Grove *et al.*, 2012). Le déclin de la qualité de l'eau de mer causée par l'abondance de pluie couplé avec les effets du changement climatique augmente le risque de maladie des coraux et la fixation des algues symbiotiques (Haapkyla *et al.*, 2011).

3 Conclusion

Cette étude nous a permis d'évaluer la dépendance entre les facteurs environnementaux locaux et la croissance des coraux de la Région. Les informations obtenues par analyse des paramètres de croissance des coraux à partir des clichés radiographiques des 05 échantillons de jeunes coraux massifs *Porites sp* nous ont montré que les courbes de tendance linéaire obtenues suggèrent une augmentation du taux de croissance, de densité et du taux de calcification des colonies de coraux. En plus, elles présentent une forte variabilité année par année. Le rythme de croissance s'est ralenti considérablement à partir de l'année 2010, L'analyse de la corrélation entre les données climatiques (SST et pluviométrie) et la croissance des coraux a montré une relation forte entre le SST et le taux de croissance et elle est non significative entre la pluviométrie et la croissance des coraux. Ceci indique donc que la température de la surface de la mer est un facteur déterminant de la croissance des coraux ; mais une forte pluviométrie peut devenir un facteur limitant de la croissance.

Cette étude est consacrée à l'analyse de l'impact du stress thermique et de la pluviométrie sur la croissance des coraux. Les informations obtenues offrent sont indispensables sur la connaissance de la réponse des coraux et le renseignement sur la résilience de ces coraux de la Région face à l'effet du changement climatique global. Elle ouvre une nouvelle perspective sur une autre étude plus approfondie pour la compréhension de l'effet du changement climatique sur la croissance des coraux de la Région. La prochaine recherche devrait être réalisée sur un grand nombre d'échantillons, des espèces des coraux massifs et sur des coraux plus âgées et se focalisera sur les autres paramètres du changement climatique (augmentation du niveau de la mer, acidification de la mer,

cyclone, etc.) et non climatiques (surpêche, sédimentation, pollution) pour mieux comprendre le fonctionnement des écosystèmes marins du Nord de Madagascar.

REFERENCES

- [1] Allemand, D., Bradbury, J. (2008) Coral reefs and climate change. *Front. Ecol. Environ.* 6, 352 pages.
- [2] Chaperon, P., Danloux J., Ferry J., (1993) Fleuves et rivières de Madagascar (Ony sy Renirano eto Madagasikara). ISSN 0335-6906. ISBN 2-7099-1126-4;
- [3] Cooke, A.J., Ratomahenina O., Ranaivoson E., Razafindrainibe H., (2000).Chapter 60. Madagascar. In Sheppard, C.R.C (eds). *Seas at the millennium: an environmental evaluation. Volume 2. Regional chapters: The Indian Ocean to the Pacific.* Pergamon, Amsterdam. P113-131.
- [4] GIEC, 2019 : Résumé à l'intention des décideurs, Rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique [sous la direction de H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama et N. M. Weyer], sous presse
- [5] Graham, N.A.J., Robinson J.P.W., Smith S.E. *et al.* (2020) Changing role of coral reef marine reserves in a warming climate. *Nat Commun* **11**, 2000.
- [6] Grove C.A. *et al.* (2012). Spatial linkages between coral proxies of terrestrial runoff across a large embayment in Madagascar. *Biogeosciences*, volume 9, 3063-3081
- [7] Haapkyla, J. *et al.*, 2011, *Seasonal rainfall and runoff promote coral disease on in shore reef*, *PLOS one* 6, e16893
- [8] Hoegh-Guldberg, O. (1999) Climate Change, Coral Bleaching and the Future of the World's Coral Reefs. *Marine and Freshwater Research*, 50, 839-866.
- [9] Hughes, T.P., Baird, A.H., Bellwood, D.R., Card, M., Connolly, S.R., Folke, C., Grosberg, R., Hoegh-Guldberg, O., Jackson, J.B., Kleypas, J., Lough, J.M., Marshall, P., Nyström, .R., Pandolfi, J.M., Rose, B., Roughgarden, J. (2003). Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science*.
- [10] Lin, Y., Feng, S., Lai, C., Huang, C.,(2023). Applying deep learning to predict SST variation and tropical cyclone patterns that influence coral bleaching, *Ecological Informatics*, Volume 77, 102261, ISSN 1574-9541
- [11] Lough, J. M.,Cooper, T. (2011). New insights from coral growth band studies in an era of rapid environmental change. *Earth-Science Reviews*, 170-184 pages.
- [12] Lough,J.M., Barnes, D.J. (2000) Environmental controls on growth of the massive coral Porites, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Volume 245, Issue 2.
- [13] Maina J., Hans de Moel, Vermaat, J.E., Henrich Bruggemann J.H., Guillaume, M., Grove C.A. , Madin, J.A., Mertz-Kraus R., Zinke J. (2012). Linking coral river runoff proxies with climate variability, hydrology and land-use in Madagascar catchments, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 64, Issue 10, Pages 2047-2059, ISSN 0025-326X ;
- [14] NOAA High Resolution SST data provided by the NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA.
- [15] Sheppard, C. (2010). Architecture de la croissance des récifs coralliens de Tahiti (Polynésie Française) durant la dernière déglaciation. Université de droit, d'économie et des sciences Tropical telles qu' enregistrées par les traceurs géochimiques contenus dans les coraux massifs. 281 pages.
- [16] Veron J. (2000). Corals of the World. Vol. 1–3. *Australian Institute of Marine Science and CRR, Queensland, Australia*.
- [17] Wilkinson, C. Salvat, B., Eaken C., et al. (2021) Tropical and subtropical coral reef. The second world ocean assessment. Pages 305-320.