RSTE Revue des Sciences, de Technologies et de l'Environnement Volume 3
Édition : Spéciale Université d'ÉTÉ

IMPACT des CONDITIONS CLIMATIQUES SUR LA CROISSANCE DE *PORITES SOMALIENSIS*, Gravier 1910, SCLÉRACTINIAIRES du PARC NATIONAL MASOALA

RAMANANTENASOA Angelia[1], ANDRIANJARA Amavatra Hervé[2], REMISY Seraphin[3], DJOUDI Roukia[3], RASOANARIVO Rivoharinala[3]

1: Faculté des Sciences, de Technologies et de l'Environnement / Université de Mahajanga
ihavisoa.21@gmail.com ; Tél. : 0349386903
2: Parc National Masoala Maroantsetra
amavatra@gmail.com
3: Ecole Doctorale du Génie du Vivant et de la Modélisation / Université Mahajanga
remisy@gmail.com ; roukiadjoudi@gmail.com ; harivo13@yahoo.fr

Résumé

Les résultats préliminaires présentés sont issus de l'étude effectuée entre Novembre 2018 et Janvier 2019,dans deux écosystèmes coralliens, SAVA et HOALAN'I LEPTIT, du Parc National Masoala du Nord-Est de Madagascar, ayant pour objectif la détermination de l'impact des conditions climatiques, souvent extrêmes et récurrents caractérisant le phénomène de changement climatique, sur les caractéristiques des stries (anneaux) de croissance (nombre, épaisseur) de scléractiniaires (*Porites somaliensis*, Gravier 1910). Les prélèvements des échantillons sont réalisés par plongée sous-marine et les coraux massifs ainsi collectés sont amenés au Laboratoire National des Industries Extractives d'Antananarivo pour être débités en plaques pour la radiographie aux rayons X permettant le dénombrement des stries d'accroissement annuel. L'observation des clichés radiographiques montre que l'âge des échantillons, le taux de croissance et les épaisseurs des stries de croissance de coraux sont respectivement 20 ans / 0,97 cm. an^{-1} / entre 0,68 et 1,34 cm pour les plaques de SAVA et de HOALAN'I LEPTIT 8 ans / 0,93 cm. an^{-1} / entre 0,79 et 1,28 cm. Durant l'année 2006, le Parc a subi une dépression et tempête tropicale modérée (BOLOETSE) caractérisée par des vents de vitesse comprise entre 46 et 65 km.h-1 et des rafales de 65 à 93 km.h^{-1}. A l'épaisseur maximale annuelle des stries de croissance de 2006 correspondent la précipitation moyenne (3175,5 mm) maximale et la température moyenne (20,23°C) annuelle minimale de la station SAVA. Au niveau de la Station HOALAN'I LEPTIT qui a subi en 2013 deux cyclones tropicales intenses (FELLENG et BEJISA) avec des vents de vitesse comprise entre 126 et 167 km.h^{-1} et des rafales de 176 à 231 km.h^{-1}, à l'épaisseur (1,28 cm) maximale correspond la précipitation moyenne la plus faible (1385,6 mm). Ces résultats ponctuels semblant montrer l'impact des conditions météorologiques sur la biologie de *P. somaliensis*, Gravier, 1910 méritent d'être soulignés mais nécessitent tout autant une poursuite détaillée de leur analyse.

Mots clés : Coraux *Porites somaliensis*, Stries / Anneaux de Croissance, Facteurs Climatiques

Abstract

The preliminary results carried out between November 2018 and January 2019 in two coral reef ecosystems, SAVA and HOALAN'I LEPTIT, from Masoala National Park in northeastern Madagascar, for aim to determine impacts of climatic conditions, amplified by extreme and recurrent meteorological conditions characterizing climate change factors, on characteristics of the growth streaks / rings (number, thickness) of scleractinian (*Porites somaliensis*, Gravier, 1910). Samples of *P. somaliensis* on site are taken by scuba diving and the massive corals thus collected are brought to the National Laboratory of the Mining Industry of Antananarivo to cut into plates for X-ray radiography showing annual growth streaks. Observation of radiographic images shows that the age of the samples, the growth rate and the thicknesses of the growth streaks of corals are respectively 20 years / 0.97 cm. year^{-1} / between 0.68 and 1.34 cm for SAVA and for HOALAN'I LEPTIT 8 years / 0.93 cm. year^{-1} / between 0.79 and 1.28 cm. During 2006, the Park underwent a moderate tropical

storm and depression (BOLOETSE) characterized by winds of speed between 46 and 65 km.h^{-1} and gusts of 65 to 93 km.h^{-1}. From SAVA station, the maximum annual thick of the 2006 growth streaks corresponds to the maximum average precipitation (3175.5 mm) and the minimum annual temperature (20.23 ° C). During 2013, HOALAN'I LEPTIT Station suffered two intense tropical cyclones (FELLENG and BEJISA) with winds of speed between 126 and 167 .h-1 and gusts of 176 to 231 km.h-1, a maximum thickness (1.28 cm) corresponds the lowest average precipitation (1385.6 mm). These first results seem show the impact of weather conditions on biology of *P. somaliensis*, Gravier, 1910 that require further detailed analysis in the future research.

Key words: Coral *Porites somaliensis,* Streaks / Rings Growth, Climatic Conditions

Introduction

Situé dans le Nord-est de Madagascar, entre 15°27'S / 15°59'S de latitude et 49°54'E / 50°30'E de longitude, et limité à l'Ouest par la Baie d'Antongil et à l'Est par l'Océan Indien, le Parc Marin Masoala, d'une superficie de 100000 ha et renfermant trois parcelles marines (Tampolo, Masoala-Ambodilaitra et Tanjona) est la première et principale zone de protection marine au niveau national. Inscrit depuis 05/06/2006 dans la liste du patrimoine mondiale de l'UNESCO, il est géré par le Madagascar National Parks (MNP, ex-ANGAP) avec le co-financement de la Wildlife Conservation Society (WCS). Le Parc est inclus dans le biome de l'Est malagasy comprenant la région orientale à climat chaud et humide soumise aux effets permanents des alizés venant de l'Océan Indien. (Carret et al., 2004). Ce Parc possède une variété d'habitats, une forêt pluviale, une forêt littorale, une forêt alluviale et inondée, des marécages des écosystèmes des mangroves et un important complexe de récifs coralliens disposant des caractéristiques de la morphologie récifale (Battistini et al., 1975)) type de l'Indopacifique (récif barrière et récif frangeant). Les récifs coralliens figurent parmi les écosystèmes les plus fragiles face aux changements climatiques, comme l'augmentation de la température (Biscere, 2018 ; Lavorel et al., 2017 ; Maude, 2017), l'acidification de l'eau de mer (Salvat et Allemand, 2009 ; Godinot, 2013) et la diminution de la lumière impactant en premier lieu sur la physiologie des coraux dont la modification de leur croissance (Godinot, 2013 ; Lavorel et al., 2017). A ces facteurs naturels amplifiés par des conditions météorologiques extrêmes s'ajoutent les impacts anthropiques favorisant le déséquilibre des écosystèmes des récifs coralliens. (Lemahieu, 2015). La structure du squelette des coraux constituée par du carbonate de calcium sous forme aragonite ($CaCO_3$) comporte une part d'éléments de magnésium (Mg), de strontium (Sr) et d'uranium (U) (Stéphanie et al., 2013), constituants généralement issus des apports terrigènes et de la biominéralisation (Bertucci, 2010), leur incorporation dépend de leur concentration dans le milieu marin et des caractéristiques des paramètres physicochimiques de l'eau de mer, la turbidité, la sédimentation, la luminosité et plus particulièrement la température (Stéphanie et al., 2013). L'évolution temporelle de l'accrétion du $CaCO_3$ se présente sous forme des stries dans la structure des coraux massifs. Ces stries sont constituées par une double bande de haute et de faible densité (sclérobande) visible aux rayons X de la radiographie). La communauté scientifique considère l'apparition annuelle de la strie (deux

bandes de densité différente) et en l'occurrence permet une datation de l'âge du corail. En 2016, des anomalies de température de surface, une augmentation avoisinante +3°C, ont provoqué de sévères épisodes de blanchissements coralliens partout dans le monde (Courtical et al., 2018) et se manifestent dans la structure des coraux par la présence d'accrétion particulière de la bande de haute densité sans modification dans la chronologie de l'apparition des stries. Ces sclérobandes équivalentes aux stries de croissance permettent la détermination de leur âge (dendrochronologie) et les caractéristiques de ces accrétions sont les marques des conditions écologiques de leur existence (Bessat et Tabeaud, 1998). Les cyclones produisent des modifications de la squelletochronobiologie dans la croissance des coraux (Hudson et al., 1976). L'impact des conditions climatiques, souvent extrêmes et récurrents caractérisant le phénomène de changement climatique pourrait s'analyser à travers ou par les caractéristiques des sclérobandes (anneaux / stries) de croissance (nombre, épaisseur) de scléractiniaires (*Porites somaliensis*, Gravier, 1910) ce d'autant plus que la croissance des coraux est un indicateur.

Matériels et Méthodes

La mission en mer effectuée durant trois mois, novembre 2018 à janvier 2019, comporte la station « SAVA » dans la parcelle marine de Tampolo (15°82'80''S- 50°01'04''E) au niveau de la pente du récif frangeant où quatre plongées en scaphandre autonome ont été effectuées et la station « HOALAN'I LEPTIT » dans la parcelle marine Masoala (15°99'85''S – 50°20'94''E) au niveau de la passe du récif barrière où quatre plongées en apnée ont été effectuées.

Prélèvements des paramètres environnementaux

A chaque station et à chaque plongée, des données physicochimiques ont été collectées. Les déterminations de la profondeur du fond, la profondeur maximale de pénétration de la lumière et la température moyenne se font à l'aide de l'ordinateur de plongée (Mares-Nemo Wide 2). En surface et au fond, des échantillons d'eau de mer de surface et du fond ont été prélevés pour une détermination ultérieure de la salinité moyenne à l'aide d'un réfractomètre (Refractomètre à salinité Master 50 α).

Des données météorologiques ont été obtenues au service de la Direction de la Météorologie Appliquée à Antananarivo comportant les données de température et de pluviosité moyenne et annuelle de la Station Météorologique d'Antalaha de 2000 à 2018. Une boussole a permis la détermination de la direction et la force du vent des périodes de prélèvement.

Prélèvements des échantillons de *Porites somaliensis*

Les blocs de coraux massifs de *P.somaliensis* sont déracinés à la barre mine et au marteau tout en évitant la perturbation du milieu. Après étiquetage de chaque bloc collecté, il est rincé dans de l'eau douce et brossé pour éliminer la faune sessile et éviter la putréfaction des polypes coralliens (Figure 1).

Le séchage au soleil des échantillons durant un mois est effectué afin d'extraire l'endofaune du bloc

corallien et éviter la putréfaction de celle-ci. Après ces manipulations, le blanchissement des blocs est un indice de bonne conservation.

Traitements des échantillons des coraux

Taillage du squelette calcaire

Le sciage et le ponçage effectués au Laboratoire National des Industries Extractives (L.N.I.E) d'Antananarivo avaient pour objectif de disposer des plaques d'épaisseur comprise entre 0,1 et 1 cm. Sur les sept (07) blocs prélevés, nous n'avons pu exploiter que deux (02) blocs et obtenu deux (02) plaques car en dépit d'une part du soin maximal imposé lors du sciage (humidification continue et dosée) et d'autre part de la densité des coraux, la fragilité des échantillons est extrême. Un contrôle drastique du nombre de prélèvement de bloc corail massif est imposé par le parc.

Radiographie corallienne

Le Centre de santé « Faliavanja » d'Ambondrona (Mahajanga) dispose d'un service de radiologie pour l'obtention de clichés photographiques des plaques des coraux (Tableau I)

Tableau I : Caractéristiques de l'appareil radiologique du Centre de santé « Faliavanja » d'Ambondrona (Mahajanga)

Nom de l'appareil		Radiologie numérisée
Supports	Voltage	60Kv
	Intensité	50mA
	Vitesse	0,06s
Distance entre les supports et la source rayon X		1,50m

Source : Centre médical Faliavanja, 2019

La radiographie est une technique d'imagerie de transmission par rayons X en mettant en évidence dans la structure corallienne la présence de bande de croissance (sclérobande), alternance de deux (02) bandes de densité différente (claire ou haute densité et sombre ou faible densité).

Après un séchage extrême des plaques obtenues du L.N.I.E, celles-ci sont exposées aux Rayons X radiologiques.

II-3-3 Principe de comptage des stries mesure et de l'accrétion

Le comptage du nombre de stries d'un cliché et de la plaque de *P. somaliensis* est effectué sur 3 lignes tracées depuis le nucleus jusqu'à la partie apicale permettant de définir l'âge moyen et le taux moyen de la croissance (Figure 1). Une meilleure définition des stries de croissance est obtenue à partir d'une plaque mince d'épaisseur de 0,5 cm.

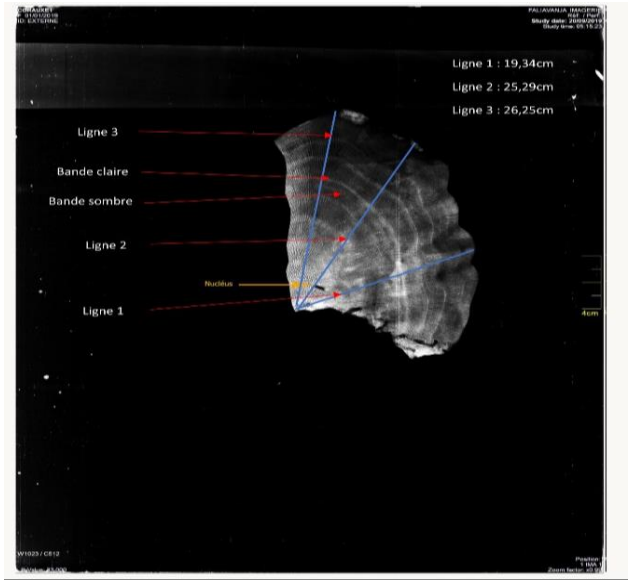

Figure 1 : Lignes de comptage du nombre des stries (sclérobandes) sur le cliché de Porites somaliensis du Parc Masoala

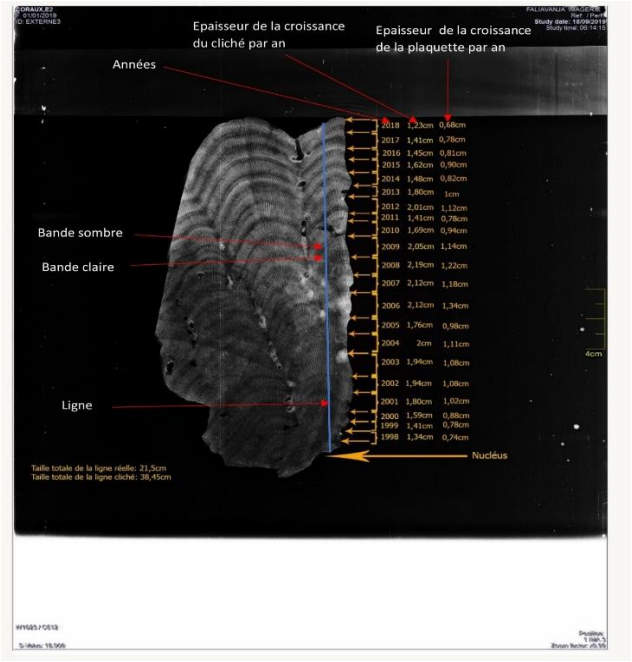

Figure 2 : Datation de la formation et évaluation de l'épaisseur des stries de croissance sur le cliché de Porites somaliensis

L'épaisseur de chaque bande de strie sur le cliché et sur la plaque est mesurée afin de déterminer les périodes de variabilité du taux de croissance (Figure 2), variabilité susceptible d'être induite par les perturbations des paramètres écologiques.

Resultats

Paramètres environnementaux

Les paramètres environnementaux sont des paramètres importants pour les coraux constructeurs de récifs par leur sensibilité aux perturbations du milieu. Les résultats de ces paramètres des stations SAVA et HOALAN'I LEPTIT sont exposés dans le tableau ci-après (Tableau 2).

Tableau 2 : Paramètres environnementaux des stations SAVA et HOALAN'I LEPTIT.

Stations / Paramètres	SAVA 15°82'80''S-50°01'04''E	HOALAN'I LEPTIT 15°99'85''S – 50°20'94''E
Type de récif	Récif frangeant (Pente)	Récif barrière (Passe)
Pénétration de la lumière (luminosité)	Plus de 7 mètres	Plus de 3 mètres
Profondeur	7,9 mètres	3 mètres
Salinité moyenne de l'eau de la surface	31,6‰	35,2‰
Salinité moyenne de l'eau du fond	29,8‰	32,5‰
Température de l'air	30°C	33°C
Température moyenne de l'eau de la surface	29°C	32°C
Température moyenne de l'eau du fond	28°C	31°C

Age de *Porites somaliensis* du Parc National Masoala

A partir des trois lignes tracées depuis le nucleus jusqu'à la partie apicale, le corail provenant de la pente du récif frangeant de SAVA (Echantillon 1) présente une moyenne de 20 stries (21-17 / σ= 7,1 et celui de la passe du récif barrière de HOALAN'I LEPTIT (Echantillon 2), une moyenne de 8 (7-8 / σ= 3,35) (Tableau III). L'adoption de l'hypothèse selon laquelle la sclérobande, alternance de deux bandes de densité différente (claire ou haute densité et relatif sombre ou faible densité), est l'équivalent d'une strie de croissance annuelle, le taux de croissance du corail de SAVA né en 1998 est de 0,97 cm. an^{-1} (minimale = 0,68 / Maximale = 1,34 / σ= 0,26) et celui de HOALAN'I LEPTIT né en 2011 est de 0,93 cm. an^{-1} (minimale = 0,69 / Maximale = 1,12 / σ= 0,13) (Tableau IV). La comparaison des moyennes des taux de croissance des deux sites confirme l'absence de différence significative ($p = 0,57 > 0,05$).

Relation entre les paramètres (Température et Précipitation) et l'épaisseur annuelle des stries

Les épaisseurs des stries de croissance sont minimales au niveau des deux Stations SAVA (0,68cm) et HOALAN'I LEPTIT (0,79cm) durant l'année 2018 (Annexe).

Tableau 3 : Précipitations et températures moyennes annuelles et des épaisseurs annuelles des stries de croissance de la stations SAVA.

Années	Précipitation moyenne (mm) annuelle du Parc National Masoala	Epaisseur annuelle (cm) des stries de croissance de l'échantillon 1 (Station SAVA)	Température moyenne (°C) annuelle du Parc National Masoala
2004	1973,1	1,11	27,4 max
2006	3175,5 max	1,34 max	20,23 min
2013	1385,6 min	1	23,85
2018	1974	0,68min	24,51

L'épaisseur maximale annuelle des stries de croissance correspondent, d'une part précipitation moyenne (3175,5 mm) maximale et la température moyenne minimale (20,23°) (Tableau 3 et Annexe). Cette correspondance entre les trois (03) paramètres est observée en 2006. Durant l'année 2006, le Parc a subi une dépression et tempête tropicale modérée (BOLOETSE) caractérisée par des vents de vitesse comprise entre 46 et 65 km.h-1 et des rafales de 65 à 93 km.h-1.

Tableau 4 : Précipitations et des températures moyennes annuelles et des épaisseurs annuelles des stries de croissance de la station HOALAN'I LEPTIT

Années	Précipitations moyennes (mm) annuelles du Parc National Masoala	Epaisseur annuelle des stries de croissance de l'échantillon 2 (Station Hoalan'i Leptit)	Température moyenne annuelle du Parc National Masoala
2012	2179,7 max	1,17	27,36 max
2013	1385,6 min	1,28 max	23,85
2014	1854,6	1,01	23,1
2017	1687,5	0,85	21,85 min
2018	1974	0,79 min	24,51

La correspondance entre l'épaisseur des stries ne s'observe qu'en 2013, à une épaisseur (1,28cm) maximale correspond la précipitation moyenne annuelle la plus faible (1385,6mm) de la Station HOALAN'I LEPTIT (Tableau IV et annexe). En 2013 deux cyclones tropicales intenses (FELLENG et BEJISA) avec des vents de vitesse comprise entre 126 et 167 km.h-1 et des rafales de 176 à 231 km/h.

Discussion

La salinité et la température de la station HOALAN'I LEPTIT sont supérieures à celles à celles de SAVA. Il faut noter que la station HOALAN'I LEPTIT a une salinité importante supérieure de 3,6 ‰ en surface et de 2,7 ‰ au fond par rapport à la station SAVA, il en est de même pour la température, celle de HOALAN'I LEPTIT demeure supérieure en surface comme au fond comparativement à celles de SAVA.

La pénétration de la lumière atteint le fond des deux Stations. (7,9 et 3 m). Entre 1998 et 2018, les précipitations et températures annuelles moyennes dans le Parc Masoala varient entre 3175,5 et 1385,6 mm et 27,4 et 20,23 °C.

L'adoption de l'hypothèse selon laquelle la sclérobande, alternance de deux bandes de densité différente, est l'équivalent d'une strie de croissance annuelle est le concept de base de ce travail. La date de « naissance », par rapport à la date de prélèvement 2018, du corail prélevé à la station SAVA serait en 1998 soit un âge 20 ans et pour HOALAN'I LEPTIT serait en 2011 soit un âge de 8 ans ; date à laquelle il faudrait rajouter la durée de formation du nucleus en quelque sorte la durée du développement de l'œuf.

La comparaison des moyennes des taux de croissance des deux (02) sites conduisant à l'acceptation de l'absence de différence significative de leurs moyennes signifie que le milieu de prélèvement soit au niveau de la passe du récif barrière ou de la pente du récif frangeant ne modifie pas le taux de croissance de *P. somaliensis.* La variation de ce facteur en ce qui concerne les coraux serait due aux conditions environnementales et trophiques du milieu, en conséquence cette non-significativité admet que les deux écosystèmes tout en étant différents par l'écomorphologie récifale de leur site de prélèvement sont soumis à des conditions semblables durant leur cycle de développement.

Le taux moyen annuel de la croissance de *Porites lobata* dans la Région Boeny est de 1,25 $cm.an^{-1}$ (Remisy, 2004) et aux Comores (Mayotte) il atteint 1,05 $cm.an^{-1}$ pour *Porites* (*lobata, lutea, solida*) (Priess et al., 1995). A l'exception de la turbidité due à l'apport significatif de sédiment provenant essentiellement la déforestation amplifiée par les conditions extrêmes de la météorologie et des déversements des eaux usées, les paramètres abiotiques obtenus dans les écosystèmes récifaux du Parc National Masoala ne diffèrent pas de celles des paramètres conditionnant l'installation et la présence des écosystèmes récifaux et plus particulièrement celles des coraux hermatypiques.

Il existe une relation certaine entre l'épaisseur des stries, en l'occurrence la croissance, et des paramètres météorologiques tels que la précipitation et la température. Les moyennes annuelles de la précipitation maximale et de la température minimale de 2006 correspondent une épaisseur maximale des stries de la station SAVA. Au niveau de la Station HOALAN'I LEPTIT, cette correspondance existe en 2013 mais se fait exclusivement avec la précipitation minimale. Il y aurait une synergie de l'impact des deux (02) paramètres météorologiques en 2006, celle-ci synergie n'est pas observée chez le bloc de *P. somaliensis* de la Station HOALAN'I LEPTIT né en 2011.

Conclusion

La date de « naissance », par rapport à la date de prélèvement 2018, du corail prélevé à la station SAVA serait en 1998 soit un âge 20 ans et pour HOALAN'I LEPTIT serait en 2011 soit un âge de 8 ans.

Les deux sites présentant des différences non significatives de leur taux moyen annuel de croissance conduisent à admettre que, tout en étant différents par leur écomorphologie récifale, ils sont soumis à des conditions écologiques semblables durant leur cycle de développement.

Il existe une relation certaine entre l'épaisseur des stries, en l'occurrence la croissance, et des paramètres météorologiques tels que la précipitation et la température. Les moyennes annuelles de la précipitation maximale et de la température minimale de 2006 correspondent à une épaisseur maximale des stries de la station SAVA. Au niveau de la Station HOALAN'I LEPTIT, cette correspondance existe en 2013 mais se fait exclusivement avec la précipitation minimale. Il y aurait une synergie de l'impact des deux paramètres météorologiques en 2006, celle-ci n'est pas

observée chez le bloc de *P. somaliensis* de la Station HOALAN'I LEPTIT né en 2011.

Les résultats de cette étude établis comme étant préliminaires ont également pour intérêt l'apport des connaissances sur la biologie de *Porites* sp des écosystèmes coralliens de Madagascar dont l'insuffisance des données n'ont pas permis jusqu'à présent de caractériser le statut IUCN de *P. somaliensis*, Gravier 1910 et des scleractiniaires du Parc Marin Masoala.

(Autorisation de Recherche par Madagascar National Park du Parc Marin de Masoala – Maroantsetra du 4 novembre 2018).

Références bibliographiques

Battistini, R., F. Bourrouilh F., J.P. Chevalier, J. Coudray, M. Denizot, G. Faure, J.C. Fisher, P. Vasseur, P. Weydert. (1975). Eléments de terminologie récifale indopacifique. *Téthys*, **7**: 1-111.

Bertucci, A. (2010) Études moléculaire et physiologique des mécanismes permettant l'utilisation du carbone inorganique chez le corail Scléractiniaire *Stylophora pistillata* (Esper, 1797). Thèse de doctorat en Océanographie. Ecole Doctorale Sciences de l'Environnement (Aix -Marseille), en partenariat avec le Centre Scientifique de Monaco et le Musée Océanographique de Monaco. 206 pages

Bessat, F., M. Tabeaud (1998) Croissance corallienne : un marqueur des événements actuels et passés. Annales de Géographie, **599** : 16-32.

Biscere, T. (2018) Effets des métaux et des changements climatiques sur les coraux. Thèse de doctorat en Sciences de l'Environnement. Thèse Ecophysiologie corallienne. Sorbonne Universités. Ecole Doctorale des Sciences de l'Environnement 311 pages

Carret, P., H. Rabarison, N. Rabibisoa, S. Andriamanaitra, E. Andriamboavonjy, P. Ramarojaona, N. M. Ramahefamanana, L. Andriamaro, M. Andrianarisata, H. Randrianasolo, A. Rabearisoa, A. Rasolohery, J. Randrianarisoa, A. Labedan, G. Rafamatanantsoa, M. Souquet, Y. Giloux, V. Florens, Y. Ibrahim, G. Rocamora, (2014) *Profil d'écosystème Hotspot de Madagascar et des iles de l'Océan Indien*. Critical ecosystem partnership fund. Conservation International – Madagascar 314 pages

Courtial, L., D. Allemand, P. Furla, (Juin 2018). Coraux : les ingénieurs des océans sont menacés. Encyclopédie de l'Environnement. 9 pages

Godinot, C., (2013) Absorption et devenir du phosphore au sein de la symbiose corallienne**.** Milieux et Changement globaux. Université Pierre et Marie Curie – Paris VI 328 pages

Hudson J.H., E.A. Shinn, R.B. Halley, B. Lidz 1976. Sclerochronology: a tool for interpreting past environments. *Geology,* **4** : 361-364.

Lavorel S., J.-D. Lebreton, et Y. Le Maho, (2017). Les mécanismes d'adaptation de la biodiversité aux changements climatiques et leurs limites in Institut de France Académie des sciences. Rapport adopté par l'Académie des sciences en séance plénière 157 pages

Lemahieu, A. (2015) Fréquentation et usages littoraux dans la Réserve Naturelle Marine de La Réunion. Élaboration d'un suivi pour l'analyse des dynamiques spatio-temporelles et apports de l'outil à la gestion et la recherche interdisciplinaire. Université Paris I Panthéon Sorbonne – Ecole doctorale de Géographie de Paris 368 pages

Maude, T.-G. (2017). L'évolution assistée pour favoriser la résilience et la résistance des récifs coralliens face aux changements climatique. Essai présenté au Département de biologie en vue de l'obtention du grade de maitre en écologie internationale, Sherbrooke, Québec, Canada 111pages

Priess, K., A.B. Thomassin, A.H. George, W.-C. Dullo, G Camoin, (1995) Variabilité de la croissance de *Porites* massifs dans les récifs coralliens de Mayotte.

C.R Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie/Life Sciences, 1996 ; **318** :1147-54. Ecologie/Ecology

Remisy, S. (2012) Squeletto-chronobiologie des coraux. Cas de *Porites lobata* dans la zone périphérique de la Nouvelle Aire Protégée d'Antrema. Mémoire DEA Biologie animale et écologie Université de Mahajanga. 76 pages

Salvat, B., D. Allemand, (2009). Acidification et les récifs coralliens. *Revue Scientifique. Scientific Review*. Coral Reef Initiatives for the Pacific. 32 pages

Stéphanie, A.B., N. Ameziane, A. Badou1, S. Berland, J.-M. Caraguel, D.-C. Isabelle, P.-J. Lopez, G. Luquet, S. Martin, Marc De Rafélis, L. Segalen., J.-Y. Sire, (2013). Les biominéralisations, témoins de l'évolution du vivant. *Le Courrier de la Nature*, **275**: 29-37.

ANNEXE

Tableau XI : Données des précipitations et des températures moyennes annuelles du Parc Masoala et des épaisseurs annuelles des stries de croissance.

Années	Précipitation moyenne (mm) annuelle du Parc National Masoala	Température moyenne (°C) annuelle du Parc National Masoala	Epaisseur annuelle (cm) des stries de croissance (SAVA)	Epaisseur (cm) annuelle des stries de croissance (HOALAN'I LEPTIT)
1998			0,74	
1999			0,78	
2000	2062,3	24	0,88	
2001	1527,2	24,88	1,02	
2002			1,08	
2003	2076	25,13	1,08	
2004	1973,1	27,4	1,11	
2005			0,98	
2006	3175,5	20,23	1,34	
2007	1902,4	24,83	1,18	
2008	2076	24,26	1,22	
2009	1783,8	24,86	1,14	
2010	2171	27,27	0,94	
2011	1715,7	25,62	0,78	0,99
2012	2179,7	27,36	1,12	1,17
2013	1385,6	23,85	1	1,28
2014	1854,6	23,1	0,74	1,01
2015	1559,4	25,44	0,9	1,19
2016	1579,5	25,15	0,81	1,08
2017	1687,5	21,85	0,78	0,85
2018	1974	24,51	0,68	0,79