

Adaptation au changement climatique au niveau de l'écosystème corallien : valorisation de débris de coraux morts pour la création d'habitat artificiel

Faustinato Behivoke^{1*}, José Randrianandrasana¹, Andriamanjato Razakandrainy¹, Gildas Todinanahary¹

1. Institut Halieutique et des sciences Marines, Université de Toliara, Rue Dr Rabesandratana HDD, BP 141, Toliara – 601, Madagascar

*Auteur correspondant : faustinato@yahoo.fr

RESUME

A l'échelle planétaire, les récifs coralliens sont menacés de destruction par les effets du changement climatique et les pressions anthropiques directes. Ce qui met en danger la biodiversité marine et les activités socio-économiques qui y sont liées. Au niveau des récifs coralliens, la dégradation est matérialisée, en premier, par la diminution de la couverture en coraux vivants dont une des conséquences est l'accumulation de débris de coraux – scléactiniaires – morts. Nous avons valorisé ces derniers et les avons utilisés pour fabriquer des habitats artificiels pour les espèces récifales comme les poissons, les poulpes et les holothuries. Douze modèles d'habitats artificiels ont été conçus et fabriqués en respectant une ingénierie écologique la plus simple et la plus proche possible des habitats naturels. Leur confection est manuelle et leur transport vers les sites d'immersion est assuré avec des pirogues traditionnelles. La fabrication a été réalisée de façon participative avec les pêcheurs. En décembre 2016, trente habitats du modèle « pyramide » ont été immergés dans des zones dégradées sur la pente interne et externe du récif de Nosy Tafara, dans la baie de Toliara, sud – ouest de Madagascar. Après deux mois d'immersion, lors des premières observations, les structures sont déjà colonisées par 5 espèces d'invertébrés et 33 espèces de poissons. La faculté de colonisation est rapide et les espèces sont diversifiées. Les structures sont devenues de véritables habitats écologiques pour la faune et la flore marines de la zone. La marque de fabrication de ces modèles a été déposée sous le nom de Fishes Banking ecotechnology®. Ces habitats artificiels à base de coraux morts permettent de s'adapter aux effets du changement climatique au profit de l'écosystème récifal. Cette innovation a été brevetée et enregistrée en mai 2018 sous le titre « récif artificiel à base de débris de coraux morts ». Cette invention peut être utilisée pour la recherche et appliquée pour la restauration récifale dans le monde.

Mots clés : Récif corallien, débris de coraux morts, récif artificiel, restauration écologique, diversité de poissons, Fishes Banking ecotechnology®

INTRODUCTION

Les récifs coralliens sont un des écosystèmes les plus productifs et les plus riches en biodiversité de la planète. Ils procurent des biens et des services essentiels à des millions de personnes vivant à proximité des côtes. Ils représentent d'importantes sources de nourriture et de revenus, et servent d'alevinières à des espèces de poissons commerciales (Burke et al., 2012). Cependant, au

cours des dernières décennies, les récifs coralliens ont connu des changements inédits, et d'autres changements sont attendus avec le changement climatique et les perturbations humaines (Aronson et al., 2004 ; Pandolfi et al., 2011). La mortalité des coraux durs est devenue de plus en plus fréquente (Douglas, 2003), et le blanchissement de corail et les cyclones peuvent agir en tant que destructeur contribuant à la dégradation et au déclin des communautés coralliennes (Bruggemann et al.,

2012). Au niveau de l'écosystème corallien, la dégradation est matérialisée par la diminution de la couverture en coraux vivants dont une des conséquences est l'accumulation de débris de scléractiniaires morts. Nombreuses études montrent que le benthos d'un écosystème corallien dégradé est généralement marqué par la forte présence de débris coralliens (e.g. Maharavo, 2009 ; Obura, 2009; Bruggemann et al., 2012; Andréfouët et al., 2013).

Les débris de coraux durs morts s'accumulent toujours au niveau de l'écosystème corallien, et rendent hostile l'environnement marin sans intervention de remédiation. Jusqu'à présent, aucune étude sur la valorisation de débris de coraux morts à de fin d'habitat artificiel n'a été réalisée. La plupart des expériences antérieures sont focalisés sur l'utilisation de moulage et agrégat de béton, carcasse métallique voire l'usage de l'électrochimique.

L'implantation de récifs artificiels semble être une alternative pour la création d'habitats (Polak and Shashar, 2012). Dans l'optique d'identification de

stratégie d'adaptation au changement climatique en milieu corallien, nous avons conçu et expérimenté des modèles innovants d'habitats artificiels, en utilisant les débris de coraux morts comme matières premières. Les modèles ont été conçues pour attirer les espèces récifales comme les poissons, les poulpes, les holothuries et les langoustes.

MATERIEL ET METHODES

Conception des modèles

La fabrication d'habitat artificiel proposée dans ce document consiste à valoriser des débris de coraux durs morts comme principale matière première. L'expérimentation d'assemblage et de bétonnage a été effectué par l'usage du ciment (CEM II / BP 22,5 UT) et de sable grossier afin de constituer le design voulu. La conception consiste à imiter les caractéristiques des habitats naturels des espèces récifales à valeur commerciale élevée (poissons et invertébrés marins). Douze modèles ont été conçus (Fig. 1).

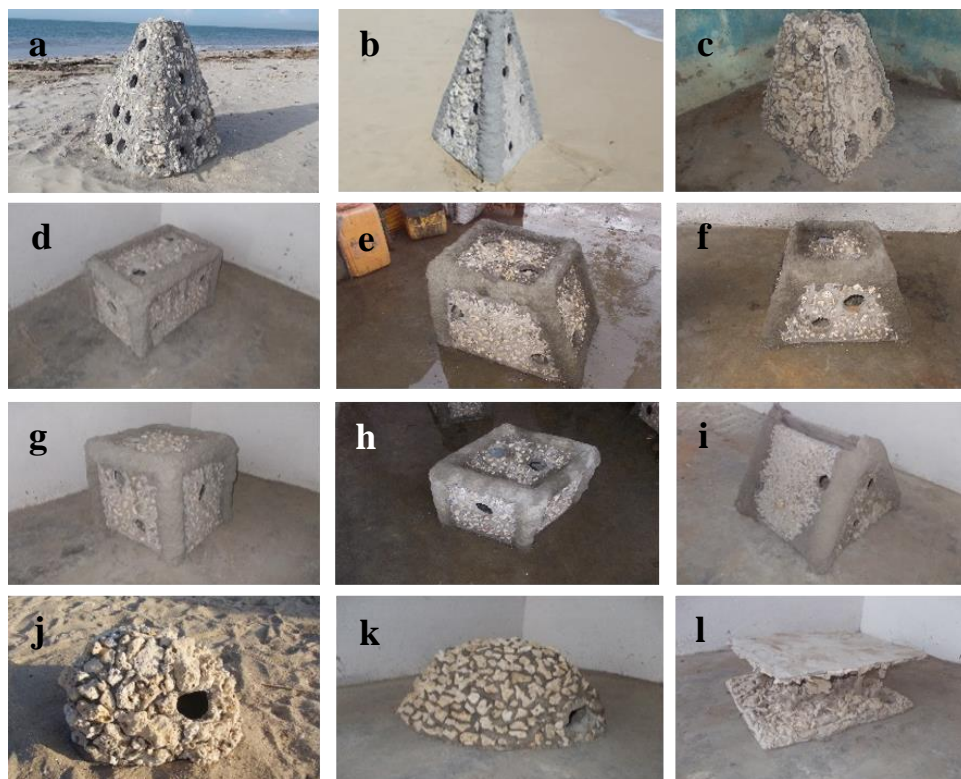


Figure 1 : Modèles des récifs artificiels conçus. a, b, c. pyramide ; d. parallélépipède, e, f. trapèze; g. cube ; h. losange ; i. prisme ; j. demi-sphère ; k. demi-ovale ; l. plaques superposées

| <i>Nom stations</i> | <i>Nature du fond</i> | <i>Profondeur (m) à marée basse</i> | <i>Nombre d'unités immergées</i> | <i>Date d'immersion</i> |
|---------------------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| #1 Raikaivo | Sableux | 9 | 15 | 27/12/16 |
| #2 Sanatry | Sablo-vaseux | 7 | 15 | 28/12/16 |

RÉSULTATS

Caractéristiques du prototype « pyramide »

Le modèle « pyramide » est un type d'habitat artificiel nécessitant un processus de confection manuelle. La fabrication d'un prototype du modèle pyramide nécessite un homme-jour, sans compter le temps de séchage qui dure 4 jours. Le poids unitaire d'une pyramide est de 96 kg au maximum, ce qui la rend manipulable facilement par seule la force de 2

à 3 personnes. Cela facilite également l'immersion. La pyramide confère un volume intérieur de 0.16 m³ (Fig. 3a). Après la fabrication, les pyramides ont été transportées à la main dans des petites embarcations (pirogue monoxyde à balancier) pour leur immersion (Fig. 3b). Une pirogue de 5 m peut transporter 3 à 6 unités. Toute la manutention se fait par la force humaine, sans intervention de machine électrique ou mécanique.

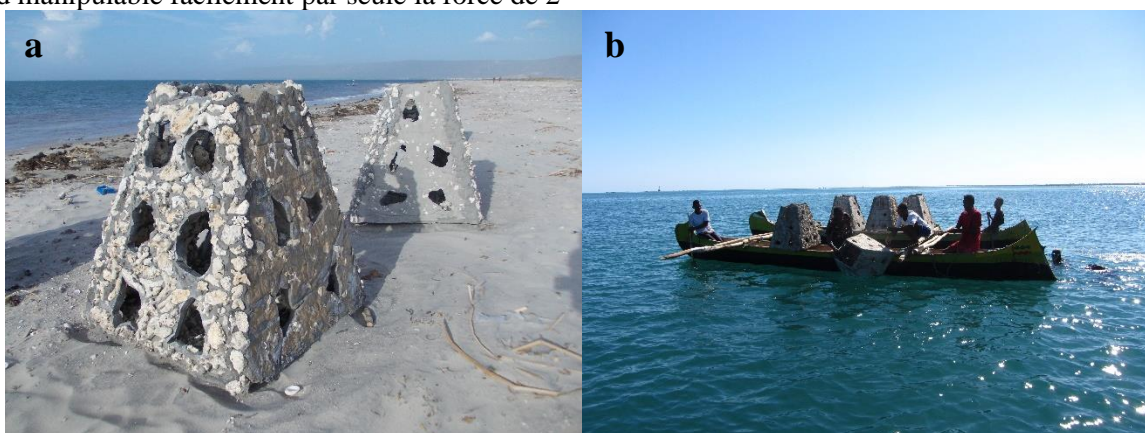


Figure 3. a. Récif artificiel modèle "pyramide", b. Immersions des récifs artificiels

Colonisation biologique des récifs artificiels

Peuplement d'invertébrés. Bien qu'il existe des végétaux ayant de rôle écologique primaire sur les récifs artificiels, l'inventaire a été focalisé uniquement sur les macrofaunes facilement identifiables sous l'eau. Ainsi, lors de la première observation, des invertébrés fixés (ascidies et hydraires) et des invertébrés mobiles (holothuries et crustacés) ont colonisées les pyramides (Fig. 5). Au total, 5 espèces d'invertébrés ont été observées (Tab. 2). La présence très remarquable des invertébrés fixés sur les pyramides est liée aux stations Rakaivo et Sanatry dont la profondeur de >7 m est favorable à leur installation. Cette diversité indique que les récifs artificiels à base de débris de coraux morts disposent d'une capacité de colonisation rapide pour le développement de la biodiversité marine.

Peuplement des vertébrés (poissons). Au total 33 espèces appartenant à 15 familles de poissons ont été inventoriées durant l'observation (Tab. 3). Deux mois après l'immersion, les habitats artificiels ont été déjà colonisées par de poissons (Fig. 5d,f). . Au total, 33 espèces réparties dans 15 familles ont été observées. La présence des espèces à domaine vital étendu (Caesionidae, Mullidae), les espèces inféodées au récif (Labridae, Chaetodontidae) et les espèces cryptiques du récif (Scorpaenidae) correspond à l'effet attractif engendré par les récifs artificiels fabriqués à partir de débris de coraux morts

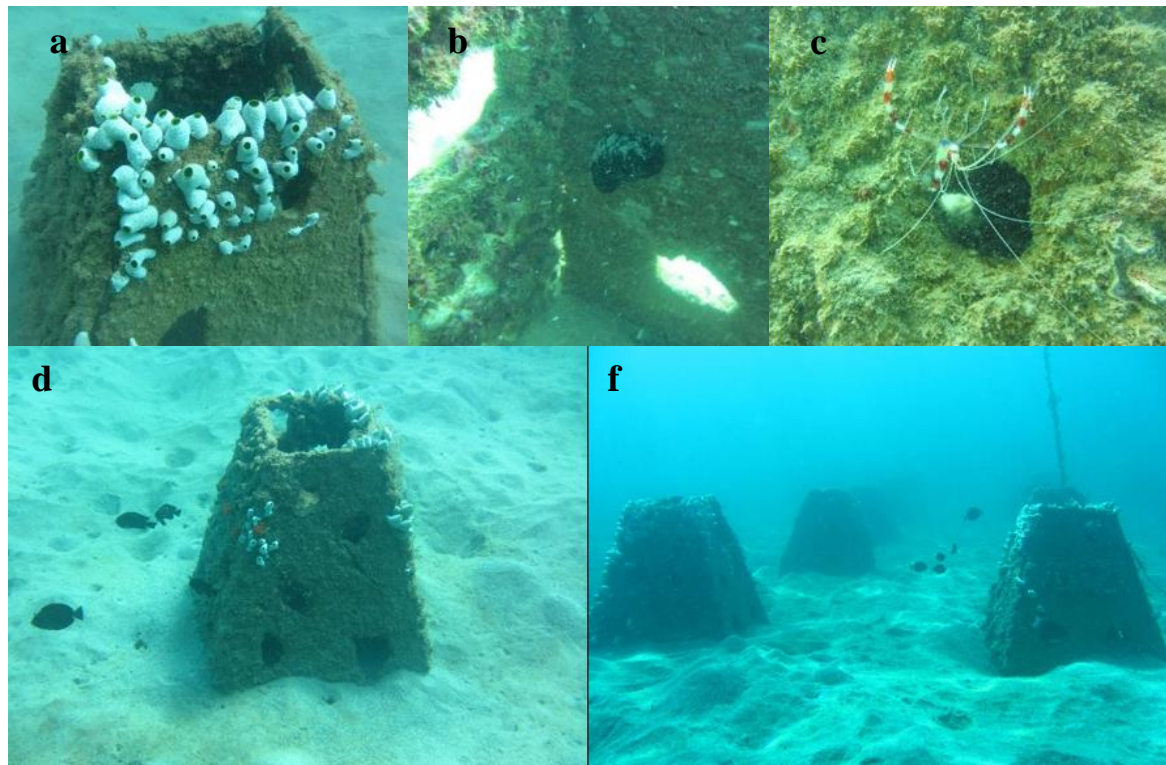


Figure 5 : Invertébrés colonisant les récifs artificiels. a. ascidies et hydraires, b. holothurie, c. crevette, d,f. poissons colonisant les récifs artificiels

Tableau 2: Diversité des invertébrés par station (Le point indique la présence de l'espèce sur la station)

| Groupes | Espèces | Station 1 (Raikavo) | Station 2 (Sanatry) |
|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Invertébrés fixés | <i>Didemnum sp</i> | ● | ● |
| | Hydraire | | ● |
| Invertébrés mobiles | <i>Holothuria sp</i> | ● | |
| | <i>Stenopus sp</i> | | ● |
| Total par station | | 2 | 3 |

Tableau 3: Diversité des poissons par station

| Espèces | Famille | Station 1 (Raikavo) | Station 2 (Sanatry) |
|-------------------------------|----------------|---------------------|---------------------|
| <i>Ctenochaetus striatus</i> | Acanthuridae | ● | |
| <i>Zebrasoma scopas</i> | Acanthuridae | ● | |
| <i>Zebrasoma veliferum</i> | Acanthuridae | ● | |
| <i>Apogon cyanosoma</i> | Apogonidae | | ● |
| <i>Apogon kallopterus</i> | Apogonidae | | ● |
| <i>Apogon sp</i> | Apogonidae | | ● |
| <i>Sufflamen chrysopteron</i> | Balistidae | ● | |
| <i>Ecsenius sp</i> | Blenniidae | | ● |
| <i>Caesio caeruleaurea</i> | Caesionidae | ● | |
| <i>Caesio teres</i> | Caesionidae | ● | |
| <i>Chaethodon melanotus</i> | Chaetodontidae | | ● |

| | | | |
|------------------------------------|--------------------|----|----|
| <i>Chaetodon auriga</i> | Chaetodontidae | | • |
| <i>Chaetodon guttatissimus</i> | Chaetodontidae | • | |
| <i>Chaetodon lineolatus</i> | Chaetodontidae | • | |
| <i>Chaetodon madagascariensis</i> | Chaetodontidae | • | |
| <i>Chaetodon trifascialis</i> | Chaetodontidae | • | |
| <i>Heniochus acuminatus</i> | Chaetodontidae | • | |
| <i>Cirrhitichthys oxycephalus</i> | Cirrhitidae | | • |
| <i>Halichoeres hortulanus</i> | Labridae | • | |
| <i>Halichoeres sp</i> | Labridae | | • |
| <i>Mulloidichthys vanicolensis</i> | Mullidae | • | |
| <i>Parapercis hexophthalma</i> | Pinguipedidae | • | |
| <i>Centropyge multispinis</i> | Pomacanthidae | • | |
| <i>Abudefduf sexfasciatus</i> | Pomacentridae | • | |
| <i>Abudefduf sparoides</i> | Pomacentridae | • | |
| <i>Chromis ternatensis</i> | Pomacentridae | • | |
| <i>Dascyllus trimaculatus</i> | Pomacentridae | • | • |
| <i>Pomacentrus baenschi</i> | Pomacentridae | • | |
| <i>Pomacentrus caeruleus</i> | Pomacentridae | | • |
| <i>Priacanthus hamrur</i> | Priacanthidae | • | |
| <i>Pterois volitans</i> | Scorpaenidae | | • |
| <i>Canthigaster solandri</i> | Tetraodontidae | • | • |
| <i>Canthigaster valentini</i> | Tetraodontidae | • | • |
| Total espèces : 33 | Total famille : 15 | 23 | 13 |

DISCUSSION

La majorité des études concernant la restauration écologique des récifs se basent sur des méthodes dispendieuses, ce qui limite leur utilisation dans les pays en développement (Lindahl, 1998). Par ailleurs, la présence de débris de coraux morts est l'un des principaux indicateurs de destruction de récif corallien à cause des effets du changement climatique et des pressions anthropiques directes. La technologie inventée permet de valoriser les débris de coraux morts comme habitats (artificiels) marins pour favoriser la résilience de l'écosystème. Cette innovation a été brevetée et a été enregistrée en mai 2018 sous le titre « récif artificiel à base de débris de coraux morts ». Douze modèles/dessins industriels sont techniquement réalisables. Ces modèles ayant fait l'objet de dépôt de protection sont de forme distincte l'un de l'autre: pyramide, parallélépipède, demi-sphère, cube et prisme. Certains sont destinés à accroître la production

biologique et d'autres servent à atténuer l'hydrodynamisme marin pour accroître la capacité de protection de la côte contre l'érosion marine. La marque de fabrication de tous ces modèles a été déposée sous le nom de Fishes Banking ecotechnology®.

Grâce à la Fishes Banking ecotechnology®, on peut restaurer et créer les habitats récifaux pour les espèces marines. D'après les résultats préliminaires de la production biologique, la faculté de colonisation est rapide et les espèces sont diversifiées. Les structures sont devenues de véritables habitats écologiques pour la faune et la flore marines de la zone d'immersion. Les habitats artificiels fabriqués suivant la Fishes Banking ecotechnology® pourraient être utilisés pour renforcer les stratégies d'adaptation aux effets du changement climatique au profit de l'écosystème récifal.

Toutes les étapes de fabrication de récif artificiel suivant la Fishes Banking ecotechnology® se fait

à la main et avec du matériel de maçonnerie artisanal en utilisant de débris de coraux morts comme matériaux de base. Les structures sont rapidement et facilement attirées par des espèces d'invertébrés et de vertébrés. Cette faculté est favorisée par la texture de la matière première de base (débris de coraux morts) qui ne sont que les éléments naturels constitutifs d'un corail dur vivant permettant le recrutement des espèces cryptiques microscopiques, qui favorisent à leur tour la colonisation des espèces macroscopiques à travers le réseau trophique complexe des récifs coralliens.

Pour la plupart des autres modèles de récif artificiels (e.g., bio rock, reef ball, eco reef), leur opération de manutention nécessite des moyens techniques souvent inaccessibles aux communautés côtières (bateau, élévateur, parachutes, orins,...) et des moyens humains coûteux (Guyomard, 2007). Cependant, la Fishes Banking ecotechnology® est conçue pour permettre une technique d'immersion appropriée pour l'embarcation artisanale. Elle est parfaitement adaptée au contexte des pays en voie de développement tels que Madagascar, compte tenu de l'importance de la pêche récifale.

Il existe un besoin croissant de coopération internationale entre les pays en voie de développement afin d'accroître la contribution des récifs artificiels et d'inverser la tendance de l'épuisement des ressources des pêcheries (Watanuki and Gonzales, 2006). Avec les problématiques environnementales qui pèsent sur les récifs coralliens, la Fishes Banking ecotechnology® est l'une des solutions qui pourrait inverser la tendance de dégradation des habitats récifaux.

Les débris de coraux morts constituent des matières premières par excellence pour la fabrication d'habitats artificiels au profit de l'écosystème récifal en danger. Cette invention peut être utilisée pour la recherche-application sur la restauration récifale dans le monde.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les pêcheurs du sud-ouest de Madagascar qui ont apporté leurs conseils à la réalisation du projet de recherche VALDECOR ou Valorisation de débris de coraux morts. Une attention particulière s'adresse à l'OMAPI (Office Malgache de Propriété Industrielle) pour leur assistance à la procédure de dépôt de brevet

d'invention. Nous remercions également l'Ambassade de Suisse à Madagascar pour son appui financier à travers le programme des petites actions. Les auteurs remercient également l'association VOIZO pour son appui technique, YSO-Madagascar et l'IH.SM pour leur appui logistique.

REFERENCES

- Andréfouët, S., Guillaume, M.M.M., Delval, A., Rasoamanendrika, F.M.A., Blanchot, J., Bruggemann, J.H., 2013. Fifty years of changes in reef flat habitats of the Grand Récif of Toliara (SW Madagascar) and the impact of gleaning. *Coral Reefs* 32, 757–768. <https://doi.org/10.1007/s00338-013-1026-0>
- Aronson, R.B., Macintyre, I.G., Wapnick, C.M., O'Neill, M.W., 2004. Phase shifts, alternative states, and the unprecedented convergence of two reef systems. *Ecology* 85, 1876–1891. <https://doi.org/10.1890/03-0108>
- Bruggemann, J.H., Rodier, M., Guillaume, M.M.M., Andréfouët, S., Arfi, R., Cinner, J.E., Pichon, M., Ramahatratra, F., Rasoamanendrika, F., Zinke, J., McClanahan, T.R., 2012. Wicked Social-Ecological Problems Forcing Unprecedented Change on the Latitudinal Margins of Coral Reefs: the Case of Southwest Madagascar. *Ecology and Society* 17. <https://doi.org/10.5751/ES-05300-170447>
- Burke, L., Reytar, K., Spalding, M., Perry, A., 2012. Récifs Coralliens en Péril Revisité - Synthèse à l'intention des décideurs. World Resources Institute 58.
- Conand C, Chabanet P, Quod JP, Bigot L, deGrissac AJ 1997. Manuel méthodologique pour le suivi de l'état de santé des récifs coralliens du Sudouest de l'Océan Indien. Programme regional environnement, COI, p 33
- Charbonnel, E., 2007. Les récifs artificiels aux secours des poissons, Futura Sciences Dossier. ed.
- Douglas, A.E., 2003. Coral bleaching -how and why? *Marine Pollution Bulletin* 46, 385–392. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(03\)00037-7](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(03)00037-7)
- Guyomard, D., 2007. Etude de faisabilité et fabrication de prototypes de récifs artificiels. <https://doi.org/10.13140/2.1.3471.0084>

- Lindhal, U. (1998). Low-tech rehabilitation of degraded coral reefs through transplantation of Staghorn corals. *Ambio*. 27, 645-650.
- Maharavo, J., 2009. Amélioration des connaissances sur les récifs coralliens de Madagascar. HDR en Océanologie appliquée. IH.SM - Université de Toliara. 202 p.
- Obura, D., 2009. Coral Reef Resilience Assessment of the Nosy Hara Marine Protected Area, Northwest Madagascar. IUCN, Gland, Switzerland.
- Pandolfi, J.M., Connolly, S.R., Marshall, D.J., Cohen, A.L., 2011. Projecting Coral Reef Futures Under Global Warming and Ocean Acidification. *Science* 333, 418–422. <https://doi.org/10.1126/science.1204794>
- Polak, O., Shashar, N., 2012. Can a small artificial reef reduce diving pressure from a natural coral reef? Lessons learned from Eilat, Red Sea. *Ocean & Coastal Management* 55, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.10.006>
- Watanuki, N., Gonzales, B.J., 2006. The potential of artificial reefs as fisheries management tools in developing countries. *Bulletin of marine science* 78, 12.

PROPRIETES INTELLECTUELLES

Brevet : Récif artificiel à base de débris de coraux morts, BEHIVOKÉ Faustinato, mai 2018.

Dépôt de modèle : Douze dessins de récif artificiel, BEHIVOKÉ Faustinato, juin 2018.

Dépôt de marque: Fishes Banking ecotechnology®, BEHIVOKÉ Faustinato, août 2018.