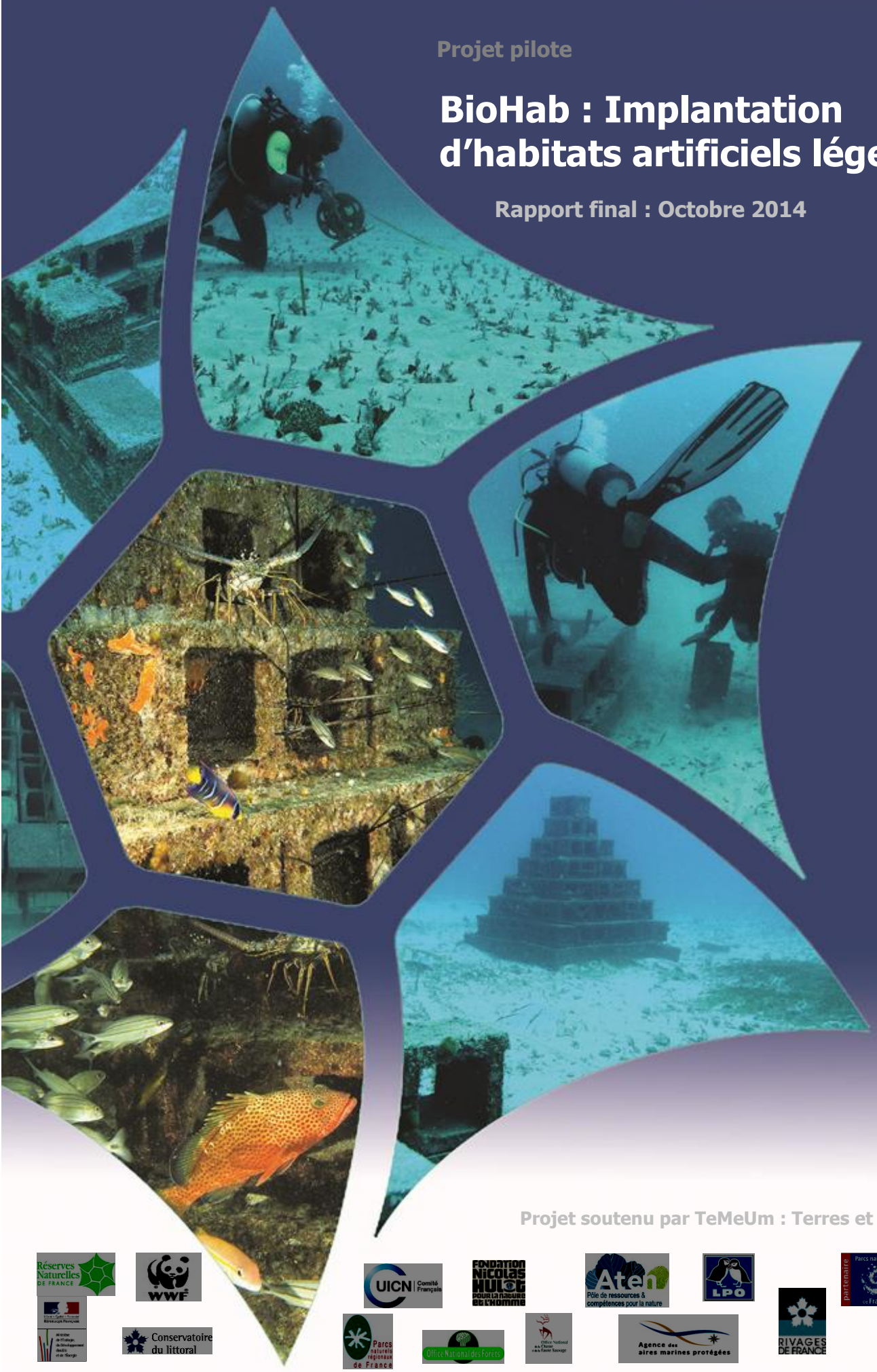
Réserve Naturelle Nationale de Saint-Martin

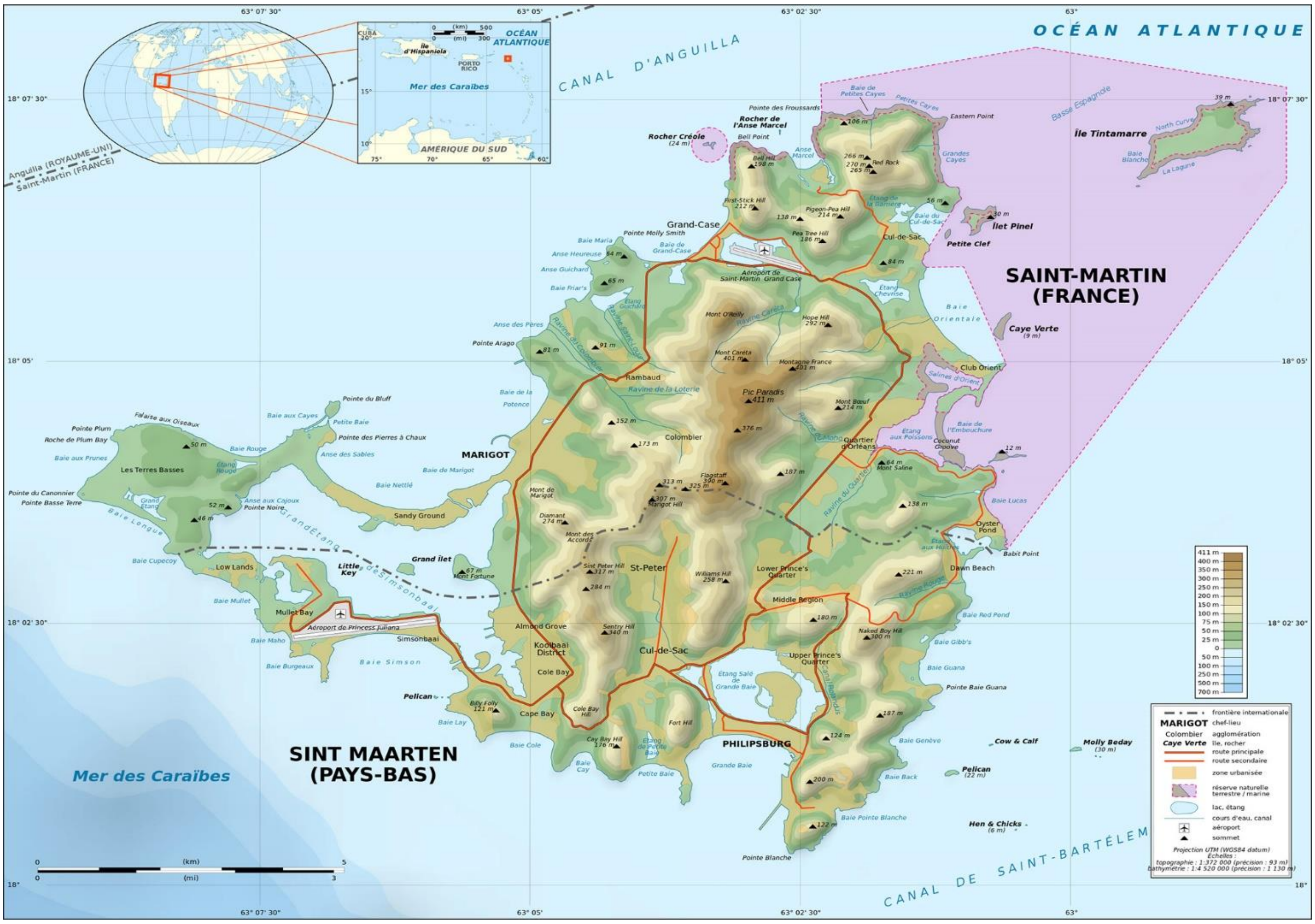
Projet pilote

BioHab : Implantation d'habitats artificiels légers.

Rapport final : Octobre 2014



Projet soutenu par TeMeUm : Terres et Mers UltraMarines



L'ile de Saint-Martin (18°5'N, 63°5'O) est située au Nord de l'arc des Petites-Antilles, entre Anguilla au Nord et Saint-Barthélemy au Sud-Est. Ces 3 iles forment le Banc d'Anguilla, une plate-forme insulaire peu profonde (max. 30 m). Cette ile de 93 km² (15 km de long, 13 km de large) se singularise par sa division administrative entre la Collectivité française d'Outre-Mer (Saint-Martin) au Nord et un pays du royaume des Pays-Bas (Sint-Maarten) au Sud. L'IEDOM y recensait une population française de 36 992 habitants pour un PIB moyen de 14 700 €/Hab. en 2014 (économie reposant principalement sur le tourisme et les services associés : l'hôtellerie, la restauration…).

Cette ile bénéficie d'un climat tropical chaud (moyenne de 26,9°C), de précipitations annuelles de l'ordre de 1 159,6 mm et d'une exposition aux alizés de secteur Est. Ce territoire ne possède aucun cours d'eau pérenne d'importance autres que 2 principales ravines aboutissant dans divers étangs bordés de mangroves ou directement en mer. Si initialement, le littoral de Saint-Martin est composé à 26% de falaises, de 32% de plages de sable corallien, de 32% d'affleurement rocheux et de 10% de mangroves, dès 2009, près de 12% de ces surfaces étaient urbanisées.

En 1998, un Décret ministériel instaurait la création de la Réserve Naturelle Nationale de Saint-Martin sur près de 3 054 ha : des espaces à 95% marins, 3% lacustres et 2% terrestres. La gestion de ces espaces naturels fut confiée à l'Association de Gestion de la Réserve Naturelle de Saint Martin, qui emploie aujourd'hui 8 salariés répartis au sein du pôle Aménagement et Police de la nature, du pôle scientifique et du pôle Coopération régional et éducation à l'Environnement. En plus des espaces classés en réserve, l'AGRNSM gère par convention l'ensemble du foncier acquis par le Conservatoire du Littoral à Saint-Martin (12 étangs classés en APB et des espaces terrestres non-classés). Les actions mises en œuvre par ce gestionnaire s'inscrivent dans la stratégie pluriannuelle fixée par un Plan de Gestion quinquennal. Ces espaces gérés furent labélisés RAMSAR en 2011 et SPAW en 2013.

La RNN de Saint-Martin abrite aujourd'hui une grande diversité d'écosystèmes garants d'une importante biodiversité (1 126 espèces recensées) : récifs coralliens, herbiers de phanérogames marines, mangroves, prairie aérohalines, foret littorale xéromorphe et végétation forestière semi-décidue. Ces habitats abritent près de 21 espèces menacées, 7 espèces endémiques de l'ile et 25 à l'échelle des Petites Antilles.

Résumé :

Rapport à citer sous la forme suivante :
CHALIFOUR J. (2014) : BioHab : Implantation d'habitats artificiels légers., Rapport final, 29 pages + Annexes.

Résumé…

Crée en 1998, la Réserve Naturelle Nationale de Saint-Martin œuvre pour la protection des écosystèmes marins et terrestre classés. Le suivi de l'état de santé des communautés benthiques et de l'ichtyfaune initié en 2007 dans le cadre du réseau de réserves impulsé par la DEAL Guadeloupe, constate une lente mais continue érosion des communautés coralliennes. Crustacés et de ichtyofaune sont en effet les premières victimes de cette simplification de leur habitat. Cette érosion de la biodiversité impacte également le tissu économique de cette ile hautement touristique.

Dans le cadre du projet pilote BioHab, le gestionnaire de la RNN a souhaité tester l'efficacité de l'implantation d'habitats artificiels légers pour la création de nouveaux réservoirs de biodiversité dans l'amélioration de la résilience des communautés coralliennes. Des structures constituées de parpaings ont été immergées et assemblées en interne par l'équipe de plongeurs de la RNN, afin d'en tester la faisabilité, de documenter l'évolution de leur intégrité et de suivre leur colonisation par la faune vagile (biodiversité et biomasse).

435 parpaings furent immergés par 21 mètres de fond pour aménager une surface de 225m² avec 9 structures de 7 formes distinctes, entre Janvier et Septembre 2014. Un comptage mensuel des individus par espèce avant et après début des opérations d'immersion a été opéré par les plongeurs. Sur cette durée, la biodiversité a été multipliée par 12,4 (49 espèces en Ocotbre, mais une successionde 75 espèces observées en 9 mois). Des espèces emblématiques furent observées : poisson ange royale et caraïbe, poisson papillon à quatre yeux et sédentaire. Des espèces d'intérêt commercial sont également présentes : gorettes et langoustes royales. Aucun poisson lion n'a pour l'heure été observé sur les structures.

Après 9 mois d'immersion, les densités observées sur le site sont multipliées par 86,7 (520 indiv./100 m²). Cette augmentation de la population est initialement due aux des langoustes royales (densité maximale observée de 63 indiv./100 m²). Par la suite, ce peuplement est principalement composé de gorettes (H. aurolineatum ; 321 indiv. /100m²) et de mombins (M. jacobus ; 41 indiv. /100m²). La biomasse commerciale présente sur le récif au bout de 9 mois est estimée à 29,36 kg/100m², mais elle a atteint 69,76 kg/100m² avant l'épisode de braconnage de Septembre 2014.

Ce pilote ayant contribué à la production de résultats encourageant, un second site sera aménagé et suivi avec le matériel déjà acquis.

Dossier suivi par :

Réserve Naturelle Nationale de Saint-Martin
Conservatoire du littoral

CHALIFOUR Julien,
Resp. pôle scientifique

Réserve Naturelle Nationale de Saint-Martin
Antenne du Conservatoire du Littoral
803 Rés. Les Acacias, Anse Marcel
97150 Saint-Martin
Email : science@rnsm.org
Tel : 05 90290972 / 06 90347710

- SOMMAIRE -

I. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PILOTE BIOHAB : 1

1. CONTEXTE 1
2. OBJECTIFS 2

II. LES HABITATS ARTIFICIELS UN OUTIL, POUR QUEL OBJECTIF ? 3

1. LES HABITATS ARTIFICIELS 3
   A. Structures à rôle de protection physique : 3
   B. Structures exploitées pour leur pouvoir agrégatif : 4
   C. Structures à vocation de restauration du milieu naturel : 4
   D. Structures à vocation récréative et paysagère : 4
2. L'HABITAT ARTIFICIEL COMME OUTIL DE GESTION INTERVENTIONNISTE EN AMP : 5

III. PILOTE BIOHAB A SAINT MARTIN : 5

1. L'HABITAT ARTIFICIEL LEGER : CHOIX TECHNIQUES 5
   A. Site d'immersion : 5
   B. Matériel : 6
   C. Architecture et formes des modules : 6
   D. Suivi de la colonisation de l'habitat artificiel : 14
2. PREMIERS RESULTATS : 14
   A. Chronogramme de réalisation : 14
   B. Plannification, pré-assemblage et immersion des modules : 16
   C. Habitat artificiel immergé sur le site n°1 : 17
   D. Evolution de l'intégrité structurelle : 17
   E. Evolution de la colonisation : 18
3. PLANNING PREVISIONNEL : 26

IV. BILAN ET PERSPECTIVES : 27

V. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : 28

Sigles et abréviations :

AGRNSM	Association de Gestion de la Réserve Naturelle de Saint-Martin
GPS	Global Positioning System (Positionnement par Satellite)
PG	Plan de Gestion
RA	Récif artificiel
RNMR	Réserve Naturelle Marine de la Réunion
RNN	Réserve Naturelle Nationale
SE	Suivis, Etudes et Inventaires

Table des Figures :

FIGURE 1: PLAN DU MODULE EN PYRAMIDE (92 PARPAINGS ; RNNSM).....7
FIGURE 2 : MODULE N°5 LORS DE SON IMPLANTATION (20/01/14) ET UNE FOIS COLONISE (09/10/14) SUR LE SITE N°1. 7
FIGURE 3: PLAN DU MODULE EN CROIX (22 PARPAINGS ; RNNSM).....8
FIGURE 4 : MODULE EN FORME DE CROIX LORS DE SON IMMERSION (26/06/14) ET UNE FOIS COLONISE (09/10/14) ...8
FIGURE 5: PLAN DU MODULE EN TOUR (34 PARPAINGS ; RNNSM).....9
FIGURE 6 : MODULES EN FORME DE TOUR LORS DE SON IMMERSION (03/07/14) ET UNE FOIS COLONISE (09/10/14)...9
FIGURE 7: PLAN DU MODULE EN GRATTE-CIEL (33 PARPAINGS ; RNNSM).....10
FIGURE 8 : MODULE EN FORME DE GRATTE-CIEL LORS DE SON IMMERSION (03/07/14) ET UNE FOIS COLONISE (09/10/14).....10
FIGURE 9 : PLAN DU MODULE EN TEMPLE (54 PARPAINGS ; RNNSM).....11
FIGURE 10 : MODULE EN FORME DE TEMPLE LORS DE SON IMMERSION (10/09/14) ET UNE FOIS COLONISE (09/10/14). 11
FIGURE 11 : PLAN DU MODULE EN MIKADOS (48 PARPAINGS ; RNNSM).....12
FIGURE 12 : MODULE EN FORME DE MIKADOS LORS DE SON IMMERSION (09/09/14) ET UNE FOIS COLONISE (09/10/14) 12
FIGURE 13 : PLAN DU MODULE EN CUBES (64 PARPAINGS ; RNNSM).....13
FIGURE 14 : MODULE EN FORME DE CUBES LORS DE SON IMMERSION (16/09/14) ET UNE FOIS COLONISE (09/10/14) .13
FIGURE 15 : PLAN DE LA STRUCTURE DU RECIF ARTIFICIEL IMPLANTE SUR LE SITE N°1 AU 11/09/14 (RNNSM).....17
FIGURE 16: ILLUSTRATION DES CONSEQUENCE DE L'EROSION DU SEDIMENT A LA BASE DU MODULE N°5 (19/05/14 ; RNNSM).....17
FIGURE 17 : INDICES DE DESTABILISATION STRUCTURELLE DES MODULES N°9 ET 7 SUITE A L'EROSION DU SEDIMENT PAR LE COURANT (RNNSM).....18
FIGURE 18: PHENOMENE DE BIOLOGISATION DES SURFACES, OBSERVABLE APRES 1 A 2 MOIS D'IMMERSION (12/03/14 ; RNNSM).....18
FIGURE 19: EVOLUTION MENSUELLE DE LA BIODIVERSITE SPECIFIQUE SUR LE SITE N°1 (NB. D'ESPECES OBSERVEES AU COURS DU TEMPS).....19
FIGURE 20 : EVOLUTION MENSUELLE DES PROPORTIONS D'ESPECES PAR TYPE DE REGIME TROPHIQUE SUR LE SITE N°1 (POURCENTAGE D'ESPECES PAR GROUPE TROPHIQUE).....20
FIGURE 21: FORTES DENSITES DE LANGOUSTES ROYALES OBSERVABLES SUR LE MODULE N°5 (23/05/14 ; RNNSM)..20
FIGURE 22 : PARPAINGS DECHAUSSES LORS DU BRACONNAGE PERPETRE EN SEPTEMBRE 2014, SUR LE SITE N°1 (RNNSM).....21
FIGURE 23: EVOLUTION MENSUELLE DES DENSITES SPECIFIQUES PAR GROUPE TROPHIQUE SUR LE SITE N°1 (INDIVIDUS/100 M²).....22
FIGURE 24: EVOLUTION MENSUELLE DU RESEAU TROPHIQUE SUR LE SITE N°1 (PROPORTION D'INDIVIDUS PAR GROUPE TROPHIQUE).....22
FIGURE 25 : PREDOMINANCE DES CARNIVORES SECONDAIRES EN TERMES DE BIOMASSES ESTIMEE SUR LES MODULES IMMERGES, AU COURS DES PREMIERS MOIS DE COLONISATION (23/05/14 ; RNNSM).....23
FIGURE 26 : EVOLUTION DE LA BIOMASSE ESTIMEE SUR LE SITE N°1, LORS DES 5 PREMIERS MOIS DE SUIVI DE COLONISATION.....24
FIGURE 27 : EVOLUTION DE LA PROPORTION DE BIOMASSE ESTIMEE PAR GROUPE TROPHIQUE SUR LE RECIF ARTIFICIEL, LORS DES 10 MOIS DE SUIVI DE LA COLONISATION.....24
FIGURE 28 : EVOLUTION DE LA COLONISATION DU MODULE N°5 AU COURS DES 5 MOIS D'IMMERSION SUR LE SITE N°1 (RNNSM).....25

Tableaux :

TABLEAU 1: CHRONOGRAMME SYNTHETIQUE DES OPERATIONS D'AMENAGEMENT DU RECIF ARTIFICIEL N°1. 15
TABLEAU 2: CHRONOGRAMME SYNTHETIQUE DU SUIVI DE LA COLONISATION DU RECIF ARTIFICIEL N°1. 15

I. Contexte et objectifs du pilote BioHab :

1. Contexte

Par 18°05' Nord et 63°05' Ouest, l'île de Saint-Martin se positionne sur l'arc antillais et est intercalée entre Anguilla, au Nord, et Saint-Barthélemy, au Sud. D'une superficie de 93 km^2, l'île se singularise par sa division administrative en deux régions : une partie hollandaise, au Sud « Sint-Maarten », et une partie française, au Nord. La Réserve Naturelle Nationale y occupe depuis le 3 septembre 1998, une superficie totale de 3 054 hectares.

Dans le cadre de sa mission de maintien de la biodiversité et de préservation des différents écosystèmes marins et terrestres, en accord avec la mise en valeur économique et sociale de l'île de Saint-Martin, L'Association de Gestion de la Réserve Naturelle de Saint-Martin gérante de la RNN met en œuvre depuis 2009 un Plan de Gestion. Ce dernier se décline en 7 axes, dont l'Objectif 1 vise à Améliorer les connaissances sur les espaces et les espèces protégées, via divers travaux scientifiques.

Dans un contexte de raréfaction du couvert corallien dans les Antilles françaises et de montée en puissance des activités touristiques comme la plongée sous-marine ; les communautés coralliennes caribéennes apparaissent de plus en plus menacées. Ces dernières sont le support indispensable de la vie marine, offrant toute une gamme d'habitats nécessaires au développement et au maintien de la biodiversité marine tropicale. Elles contribuent également au développement économique régional en étant le support d'un grand nombre d'activités commerciales (plongée, randonnée palmée, charter…).

L'implantation de structures artificielles sous-marines peut permettre d'augmenter la disponibilité en habitats et ainsi augmenter le taux de survie lors du recrutement larvaire de la faune sous-marine corallienne (Steele, 1998). Ces structures peuvent également accueillir des boutures de coraux collectées suite à des évènements climatiques propices à la fragmentation des colonies naturelles ou provenant d'élevage expérimentaux en bassins artificiels. Le dernier compagnonnage inter-gestionnaires organisé à Saint-Martin, a permis l'accueil d'une délégation de la RNMR. Ces derniers nous ont fait part de leur savoir-faire en termes d'implantation de récifs artificiels et de bouturages coralliens. Suite à ces échanges, la RNN de Saint-Martin souhaite à son tour aujourd'hui initier un projet pilote de récif artificiel.

L'objectif identifié est d'implanter des structures légères immergées sur des zones aujourd'hui dépourvues de communautés coralliennes faute de disponibilité en substrat dur. Cette opération aura pour finalité de rendre de nouveaux habitats disponibles à la colonisation. Un suivi mensuel de cette colonisation sera opéré en plongée sur 1 an. Ce support artificiel pourra également permettre par la suite de réaliser des tests de bouturages coralliens. Un inventaire mensuel de la macrofaune sera ainsi réalisé pendant 1 an. Ce projet pilote aura également pour but d'évaluer la faisabilité et les contraintes liées à la mise en œuvre de ce type de projet, pour une structure gestionnaire à capacités logistiques limitées. Ce type de projet pilote a de fait vocation à être répliqué dans d'autre AMP et impliquera une diffusion des résultats des manipulations réalisées.

Le présent rapport concerne la mise en œuvre de ce projet au cours des 10 premiers mois, ainsi que les résultats collectés au cours des plongées.

2. Objectifs

L'objectif principal est le développement de la biomasse et de la biodiversité marine par la création de nouveaux habitats artificiels, améliorant la survie des poissons et crustacés lors du recrutement.

Les objectifs spécifiques sont :

- Déterminer les caractéristiques d'un site d'accueil adapté,
- Sélectionner le matériel adapté à l'édification du récif artificiel,
- Déterminer les modèles de structures les mieux adaptées à tels ou tels groupe d'espèces,
- Sélectionner 2 sites d'immersion test devant accueillir 9 modules/structures chacun,
- Suivre l'évolution du comportement des structures immergées sur 1 an,
- Suivre la colonisation des modules sur 1 an (biodiversité, densité, biomasse),
- Elaborer des une notice technique à destination des gestionnaires d'AMP pour la mise en place de récifs artificiels légers (faible coût financier et capacités logistiques limitées).

II. Les habitats artificiels un outil, pour quel objectif ?

En milieu marin tropical peu profond, les récifs coralliens sont le support indispensable de la vie marine, offrant par la complexité des structures qu'ils contribuent à édifier, toute une gamme d'habitats indispensables au maintien de la biodiversité. Le récif est à la fois à l'origine de la création permanente d'habitats variés représentant un écosystème à part entière, mais également un élément indispensable à l'existence d'autre écosystèmes (herbiers de phanérogames, mangrove, végétation littorale), de par son rôle de barrière physique protectrice face à la houle marine.

Ainsi, de nombreuses espèces marines tropicales ont adopté des modes de reproduction par émission massive de gamètes et dispersion passive des larves par les courants marins, via des durées de phases larvaires relativement longues. Un grand nombre d'espèces voient ainsi leurs juvéniles ayant atteint le stade de post-larve, rechercher un habitat récifal pour s'y installer et y grandir en toute sécurité. Un grand nombre de ces juvéniles ne trouvant pas d'habitat disponible sont ainsi consommés ou meurent faute de disponibilité en habitat favorable.

Les récifs coralliens remplissent également un rôle économique en contribuant au développement local en tant que support d'un grand nombre d'activités commerciales comme la pêche, la plongée ou la randonnée palmée ou snorkeling (Sutton *et* Bushnell, 2007).

Dans un contexte de changement climatique global, d'augmentation de la population, de raréfaction du couvert corallien dans les Antilles françaises et de montée en puissance des activités touristiques comme la plongée sous-marine (Baker *et al.*, 2008) ; il devient urgent de mettre en œuvre des actions de gestion ambitieuses et plus interventionnistes, pour lutter contre l'érosion de la biodiversité, touchant les écosystème côtiers.

1. Les habitats artificiels

Toute action d'immersion volontaire de structures artificielles dans l'objectif de créer, de protéger ou de restaurer des écosystèmes sous-marins, peut être assimilée à une implantation de récif artificiel. Ces derniers peuvent induire des réponses d'attraction, de concentration et de production pouvant conduire à une augmentation de la biomasse et de la reproduction de certaines espèces (Fourrier *et al.*, 2009).

Depuis longtemps connu et utilisé par divers pays comme le Japon, qui fait office de pionnier en la matière, le récif artificiel s'est véritablement démocratisé au début des années 2000. Cette solution technique est aujourd'hui utilisée dans plus de 35 pays (Japon, Etats Unis, Europe…). Depuis 1968, le territoire français abrite d'ailleurs un certain nombre de projets dans le domaine, avec pas moins de 100 000m3 de structures partiellement immergées dans des régions comme le Languedoc-Roussillon (35 000m3) ; la Provence-Alpes-Côte d'Azur (55 000m3, dont 32 000m3 à Marseille), les Landes, les Pays de Loire, mais également en Outre-Mer (La Réunion, les Antilles, la Polynésie et la Nouvelle Calédonie).

En fonction de la forme, de la nature des matériaux le composant, du choix du lieu d'implantation et des activités humaines autorisées aux abords de ces structures, le récif artificiel remplira différents rôles. Ces rôles et objectifs définis en amont de l'implantation en milieu naturel, permettent de distinguer diverses catégories de récifs artificiels, pouvant induire des réponses d'attraction, de concentration, de protection, d'augmentation de la biomasse de certaines espèces (Lacroix, 2001).

A. Structures à rôle de protection physique :

Comme de véritables récifs naturels, ces structures peuvent tout d'abord jouer un rôle de protecteur des littoraux face à la houle marine, en constituant une véritable barrière physique (Charbonnel, 2000). Telle une digue immergée, cette élévation artificielle du fond obligera ainsi la houle à dissiper son énergie emmagasinée au large dans la mer des vents, en provoquant un déferlement anticipé de la houle, avant que cette dernière n'atteigne le littoral.

Ces dispositifs peuvent ainsi contribuer à garantir le calme des eaux côtière pour la baignade, à stabiliser les littoraux sableux exposés à l'érosion marine, à protéger des infrastructures littorales (ports, hôtels…), mais également créer des sites dédiés à certaines activités sportives comme le surf.

Cette barrière physique peut également jouer un rôle protecteur de la ressource naturelle, en rendant impossible l'utilisation de certaines technique de pêche comme le chalutage. Ce type de récif généralement déployé dans la bande côtière des 3 miles nautiques, peut ainsi contribuer à protéger certains écosystèmes

sensibles comme les herbiers, les nurseries et zones d'alimentation spécifiques à certaines espèces (Parc Marin de la Côte Bleue, 2007).

De tels aménagements nécessitent en amont la mise en œuvre d'études rigoureuses du profile de plage, de la courantologie locale et des risques liés aux aléas climatiques comme les tempêtes tropicales. Car ils pourraient également avoir des conséquences néfastes en modifiant radicalement la courantologie locale.

B. Structures exploitées pour leur pouvoir agrégatif :

Si historiquement les japonais se sont très tôt intéressés à l'immersion de structures pour créer des récifs artificiels ; c'est que comme pour les dispositifs de concentration de poissons (DCP), ces derniers démontrent un important pouvoir d'attraction des espèces mobiles. Ainsi, les individus habituellement dispersés au sein de leur milieu naturel (fonds sableux, colonne d'eau), vont adopter des comportements agrégatifs aux abords des récifs artificiels, rendant plus aisée leur exploitation. Les méditerranéens pêche ainsi depuis des siècles les pieuvres à l'aide de filières munies d'amphores immergées.

L'immersion de récifs artificiels peut ainsi faciliter l'exploitation d'une ressource identifiée et donc augmenter sa rentabilité pour les professionnels de la pêche. De tels dispositifs sont actuellement immergés à la Réunion, dans le cadre de programmes développés par le Comité Régional des Pêches de La Réunion en collaboration avec la ville, le port et EDF, grâce au soutien financier du Fond Européen pour la Pêche, de la Région et du Département de La Réunion. Les professionnels peuvent ainsi venir prélever des appâts autour des récifs artificiels, pour pêcher des grands pélagiques.

Cependant, la facilitation de l'accès et de l'exploitation de cette ressource peut également conduire à sa surexploitation. La ressource ciblée doit donc faire l'objet de suivis pour élaborer une gestion adaptée et durable, afin que le récif artificiel ne devienne pas un puit voir un piège écologique.

Le pouvoir agrégatif de ces dispositifs est aujourd'hui bien connu est mis à contribution pour la gestion de la ressource et la réalisation de suivis scientifiques. Des projets tels que SMURFS (Standard Monitoring Units for the Recruitment of Fiches ; AMMANN, 2004) et ARMS (Artificial Reef Matrix Structures ; Zimmerman *et* Martin, 2004) préconisent ainsi le recours à des dispositifs jouant le rôle de récif artificiel, pour réaliser des inventaires faunistiques sous-marins de l'ichtyofaune ou des invertébrés cryptiques. Ces dispositifs deviennent alors de véritables collecteurs passifs de la faune à étudier. Dans le cas d'inventaire de l'ichtyofaune, ces dispositifs permettent en effet de collecter les post-larves lors de leur installation sur les fonds ou récifs, en offrant des niches ou habitats vacant et donc disponibles pour le recrutement.

C. Structures à vocation de restauration du milieu naturel :

La combinaison sur un même site de divers types de récifs artificiels peut également servir un objectif global de restauration de certains milieux dégradés.

Certain projets ont ainsi combinés différentes solution technologique pour implanter des réseaux de récifs artificiels protecteurs abritant des structures à vocation d'agrégation des géniteurs et d'accueil des juvéniles, pour une meilleur conservation de certaines espèces. C'est le cas de certains récifs méditerranéen favorisant la restauration des populations de mérous précédemment surexploitées.

Dans le cas de mise en œuvre de projets d'aménagement côtiers impliquant la destruction d'habitats récifaux, il arrive également que les mesures compensatoires fixées impliquent l'immersion de récifs artificiels. Ces derniers sont alors voués à remplacer les habitats détruits, voir à accueillir certaines espèces transplantables comme les coraux, originellement implantées sur le récif destiné à disparaitre.

Le développement d'un écosystème récifal équilibré prend cependant des années et ces solutions ne compensent généralement que partiellement les préjudices subis par l'environnement et ses usagers.

D. Structures à vocation récréative et paysagère :

Enfin, l'immersion de structures artificielles peut également être réalisée dans l'objectif de créer un paysage sous-marin à but récréatif.

Les récifs artificiels paysagers ont en effet pour objectif premier de mettre à disposition des plongeurs ou randonneurs sous-marins, un relief, une architecture ou un spectacle paysager artificiel. L'immersion a ici vocation à modifier le paysage sous-marin pour proposer une expérience ludique et récréative originale.

Le but est de créer un nouveau site attractif pour dynamiser l'activité économique touristique sur des sites sous-exploités. L'implantation de tels sites de plongées ou de randonnée palmée permet également une

canalisation et un redéploiement de la fréquentation touristique, afin de protéger certains sites se dégradant du fait d'une sur-fréquentation par le public.

Divers projets ont vu le jour, avec l'immersion de statues ou de structures élaborées pour être esthétiques : Reef ball, Khéops, Hexapora, Fractal…

2. L'habitat artificiel comme outil de gestion interventionniste en AMP :

Il apparait que le récif artificiel constitue un formidable outil, impliquant au préalable une définition précise des besoins et objectifs d'un projet d'immersion, afin d'identifier le ou les type de récifs à utiliser.

Ces aménagements sous-marins apparaissent aujourd'hui suffisamment aboutis et maitrisé pour entrevoir une utilisation appliquée en matière de gestion et de protection des espaces naturels marins. Cette démarche interventionniste qui a pu par le passé susciter des réticences, apparait aujourd'hui indispensable pour faire face aux enjeux de conservation actuels et futurs.

La production de biomasse et de diversité impulsée par ces dispositifs offre en effet aux gestionnaires un outil de renforcement des peuplements marins naturels pouvant offrir une meilleure inertie des écosystèmes face à l'érosion continue de la biodiversité dans un contexte de dégradation lente, mais continue des milieux. En milieu tropical plus qu'ailleurs, l'artificialisation des littoraux, le développement de la population et de la pression touristique et l'augmentation des rejets en eaux usées, contribuent au recule du couvert corallien, au développement des macroalgues et à la raréfaction de l'ichtyofaune.

L'implantation de récifs artificiels en Aire Marines Protégée (AMP) pourrait à terme constituer une solution innovante pour le renforcement des populations marines, la réhabilitation des sites dégradés et *in fine* la protection durable des écosystèmes littoraux menacés (mangroves, herbiers de phanérogames marines et récifs coralliens).

C'est dans cet objectif que la Réserve Naturelle Nationale de Saint-Martin a souhaité mettre en œuvre le projet innovant dont traite ce rapport, grâce au soutien financier du programme TeMeUM.

III. Pilote BioHab à Saint Martin :

La gestion des 30 km2 d'espaces terrestres, marins et lacustres de la RNN de Saint-Martin fut confiée par l'Etat à l'Association de Gestion de la RNN de Saint-Martin suite à sa création en 1998. Cette dernière emploie actuellement 7 salariés et dispose de moyens logistiques réduits sur un territoire de taille réduite et souffrant d'une double insularité, pour cette ancienne dépendance de la Guadeloupe.

Les suivis scientifiques de l'évolution de l'état de santé des peuplements sous-marins opérés ces 7 dernières années démontrent un recul du couvert corallien et donc des récifs principaux supports de la faune marine. De plus, le développement de la population locale et le fort développement de l'économie touristique contribuent à une lente érosion de la biodiversité locale pourtant soumise à une très faible pression de pêche.

C'est donc sur la base de ce constat et avec le soutien financier du programme TeMeUM, qu'il a été décidé d'initier un projet innovant d'immersion de récif artificiel léger, en adéquation avec les capacités financières et logistiques du porteur de projet. Ce programme se prénomme BioHab et sa phase 1 a pour objet de tester différents choix techniques qui seront évalués au regard du confort de mise en œuvre, de la résistance dans le temps des structures immergées et des peuplements hébergés (biomasse et biodiversité).

1. L'habitat artificiel léger : choix techniques

L'objectif du programme BioHab étant ici clairement énoncé, il convient de préciser les choix techniques opérés en cohérence avec ce dernier.

La réussite biologique d'un récif artificiel est en effet directement liée au choix opérés quant au site d'immersion, à l'architecture et l'urbanisme des structures, ainsi qu'aux matériaux le composant.

A. Site d'immersion :

L'objectif étant de tester l'efficacité des structures immergées en suivant leur colonisation par la faune, il convient de sélectionner des sites ne bénéficiant pas initialement d'habitats rocheux ou récifaux naturels.

Cependant, les sites doivent bénéficier d'un bon renouvellement de l'eau, donc être exposés aux courants, sans pour autant souffrir d'une trop importante exposition aux houles qui pourraient porter atteinte à l'intégrité des structures. Ils doivent également se situer à une profondeur assurant une disponibilité en lumière suffisante pour l'installation des communautés coralliennes.

De plus, ces sites ne devront pas souffrir d'une exposition à des sources de perturbations pouvant biaiser les résultats des suivis à opérer : fréquentation par le public, pêche, rejets d'eaux usées et autres pollutions.

Enfin, le choix des sites devra prendre en compte les contraintes logistiques liées au déploiement des structures en mer, par une équipe de 4 plongeurs professionnels à l'aide des moyens nautique propres de la RNN de Saint-Martin (2 navires hors-bord de moins de 10 mètres).

Il a donc été décidé de retenir 2 sites d'immersion situés au sein de la réserve où toute pêche est proscrite et toute nouvelle activité commerciale soumise à autorisation. L'un se trouve par 21 mètre de fond, dans la zone dite du canal d'Anguille (entre Saint-Martin et Anguilla) et le second par 15 mètres de fond dans la partie Nord-Ouest de la RNN. Ces deux sites bénéficient d'une bonne exposition aux courants marins assurant un apport de post-larves, sans pour autant souffrir d'une trop grande exposition à la houle. Ils sont composés d'un fond sableux grossier à faible couverture végétale ou algale. Ils sont tous deux situés à plus de 300 mètres de toute formation rocheuse ou récifales. De plus, aucun de ces sites n'est pour l'heure fréquenté par le public ou ne présente d'indice de braconnage régulier.

Aucune matérialisation physique ou visuelle des sites ne sera implantée au cours de cette expérimentation d'un an, pour ne pas susciter l'intérêt de personnes extérieurs au programme.

B. Matériel :

Divers matériaux sont utilisés pour l'édification de récifs artificiels dans le monde. Si certains choisissent de recycler du matériel disponible, d'autre n'utilise que du matériel neuf spécialement élaboré dans ce but. Si un grand nombre de matériaux peuvent ainsi être employés, il convient de s'assurer que ces derniers ne seront pas responsables de l'émission de polluants diffus pouvant nuire à l'efficacité du projet.

Les matériaux à employer doivent être stables dans l'eau de mer, assurer l'intégrité et la cohésion des structures et être biologisables et colonisables par la vie, tout en étant disponibles et à prix abordable pour le concepteur. Les éléments doivent pouvoir être transportés, immergés et assemblés aisément, pour offrir toute une gamme d'habitats variés en formes et tailles.

Dans cette optique et en s'inspirant de divers projets existant, il fut décidé de recourir à l'utilisation de parpaings et plus particulièrement à celle de blocs à bancher : parpaings creux sans fond, disposant d'alvéoles internes. Ils sont aisément disponibles dans le commerce, pour un faible coût et sont assemblés à l'aide mortier et de scellement sous-marin. Des fers à béton seront également utilisés au sein des premiers rangs constituant la base de chaque structure, pour renforcer l'encrage au sol et la cohésion entre blocs. Ces matériaux présentent l'avantage d'une grande rugosité de surface, ainsi que d'une grande porosité interne, qui est le garant d'une bonne colonisation par le vivant. L'assemblage des éléments constitutifs des modules élaborés, se fera à l'aide de scellement sous-marin chimique bi-composant HIT-RE 500-SD de la marque HILTI, offrant une très bonne résistance en immersion en mer et classé A+ pour l'émission de composés organiques volatiles (COV).

Certaines parties de structures pourront être préassemblée à terre avant immersion. Ces dernières nécessitent alors l'utilisation de parachutes sous-marins, afin d'assurer leur intégrité par une descente contrôlée, lors de l'immersion. Ces derniers pourront également être utilisés pour le déplacement des blocs et éléments au fond de l'eau.

C. Architecture et formes des modules :

Afin d'offrir la gamme la plus variée d'habitats possibles pour favoriser le développement de crustacés et de l'ichtyofaune sur les 2 récifs artificiels, diverses formes de structures seront testées. Les résultats obtenus au terme de l'expérimentation permettront d'identifier les formes les plus productives et les plus résistantes.

Ainsi, 6 formes de structures ou modules composant un récif artificiel seront testées sur chacun des 2 sites d'immersion. Le choix des matériaux retenus permet une grande liberté en termes de création de modules différents pouvant correspondre à des besoins plus ou moins spécifiques à certaines espèces (langoustes, mérous, gorettes…).

Des plans et maquettes virtuelles en 3 dimensions sont préalablement réalisées à l'aide du logiciel SketchUp, afin de visualiser les modules, de prévoir le matériel nécessaire à leur construction et de proposer des plans d'assemblage pour les plongeurs.

a. Module de type pyramide :

L'objectif de ce type de module est d'offrir une structure interne relativement creuse et sombre. Il est ainsi constitué d'une multitude de caches de formes et de tailles variées, tout en assurant une assise importante sur le sédiment.

Il devrait particulièrement convenir à la faune cryptique : poissons et crustacés à tendances nocturnes, se réfugiant habituellement au plus profond du récif ; tout en offrant refuge au reste de la faune récifale (Figure 2).

Le plan de ce module qui est le plus imposant élaboré dans le cadre de ce projet, implique l'utilisation de 92 parpaings (40 x 20 x 20 cm), formant une large base (160 x 160 cm), pour une hauteur de 160 cm (Figure 1).

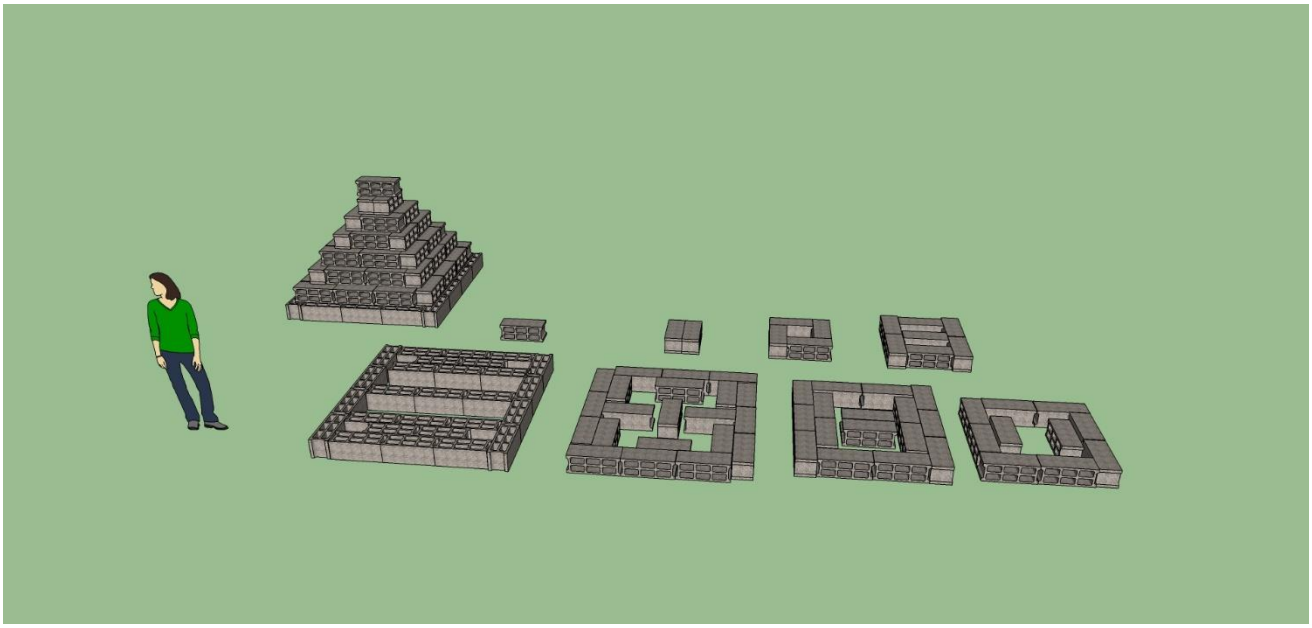


Figure 1: Plan du module en pyramide (92 parpaings ; RNNSM).

Figure 2 : Module n°5 lors de son implantation (20/01/14) et une fois colonisé (09/10/14) sur le site n°1.

b. Module de type croix :

La forme de ce module a été élaborée pour offrir des zones abritées du courant, des coupures de vis-à-vis pour que les animaux puisse se cacher, tout en utilisant un minimum de parpaings. De fait le comptage des animaux est rendu plus difficile sur ce module, que sur les autres.

Ce module présente une structure ramassée en forme de croix à plusieurs étages, comme une pyramide. Ce module est extrêmement aéré, permettant les déplacements d'une face à l'autre. Il devrait également particulièrement plaire à l'ichtyofaune (Figure 4).

Selon les plans établis, ce module fait appel à 22 parpaings (40 x 20 x 20 cm), formant une base large (180 x 160 cm), pour une hauteur de 120 cm (Figure 3).

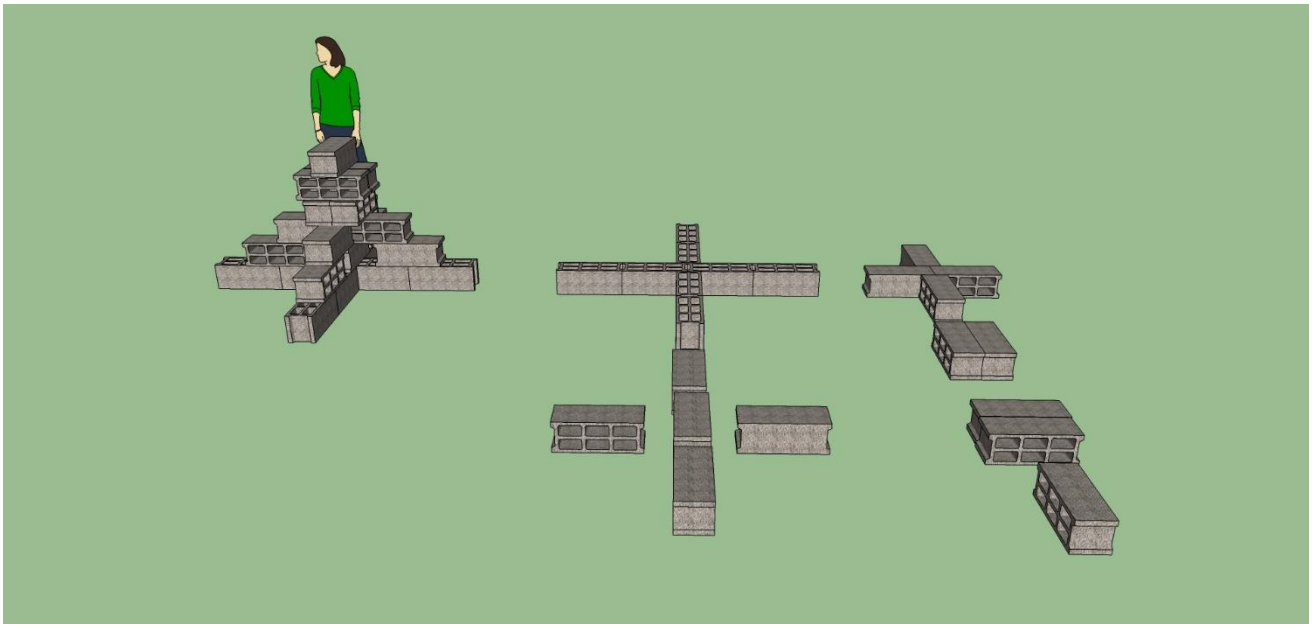


Figure 3: Plan du module en croix (22 parpaings ; RNNSM).

Figure 4 : Module en forme de croix lors de son immersion (26/06/14) et une fois colonisé (09/10/14)

c. Module en forme de tour :

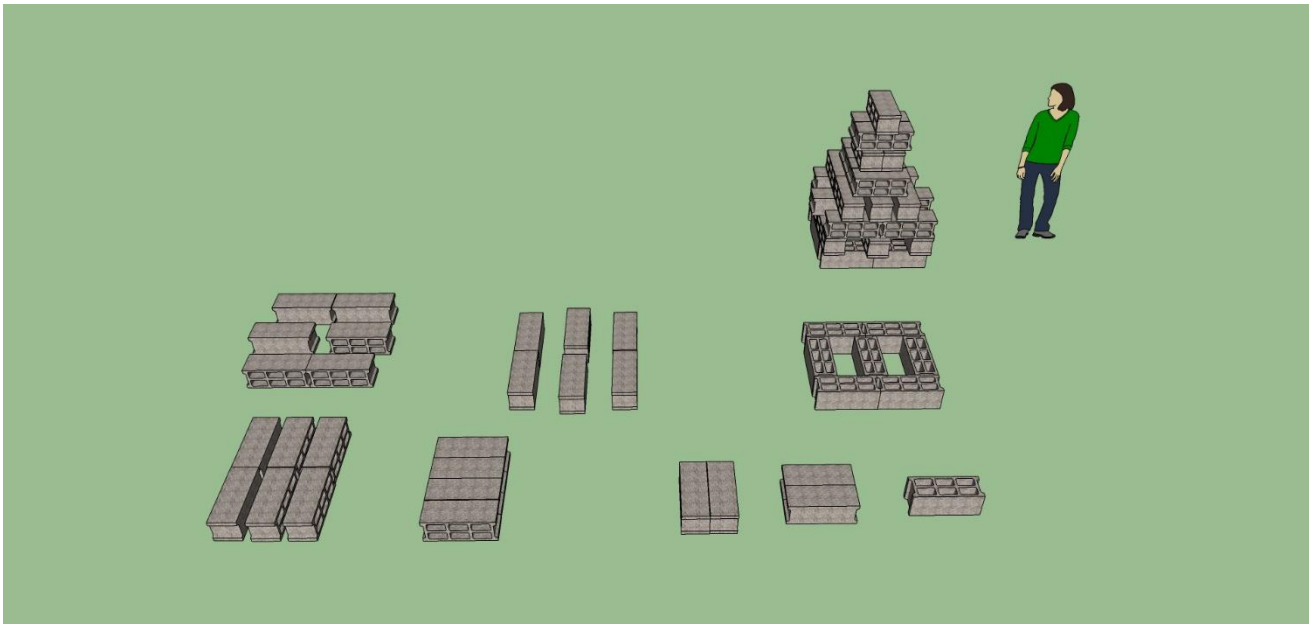


Figure 5: Plan du module en tour (34 parpaings ; RNNSM).

L'objectif de ce modèle de module est d'obtenir une forme plus verticale et plus compacte que dans le cas de la pyramide. Cette dernière dispose également d'un plus grand nombre d'ouvertures transversales, amenant plus de lumière dans les cavités internes du module. La faune devrait donc y trouver une plus grande liberté de déplacement, plus de luminosité et une meilleure circulation d'eau.

Cette forme est composée de 34 parpaings (40 x 20 x 20 cm), formant une base étroite (80 x 80 cm), pour une hauteur de 160 cm (Figure 5). Cette forme plus ajourée est ainsi composée de 2.7 fois moins de parpaings que dans le cas de la pyramide.

Les ouvertures présentes sur les faces de ce module devraient faciliter la pénétration des animaux souhaitant se réfugier à l'intérieur du module (Figure 6). Deux modules de ce type seront implantés sur chaque site.

Figure 6 : Modules en forme de tour lors de son immersion (03/07/14) et une fois colonisé (09/10/14).

d. Module en forme de gratte-ciel :

L'objectif est ici de créer une forme offrant une large base compacte et des structures longues et fines, offrant une grande verticalité à l'édifice pour un minimum de parpaings utilisés. Cette structure verticale très aérée, peut ainsi rappeler celle de gratte-ciels.

Cette forme constitue une véritable barrière ralentissant le courant, tout en permettant la circulation de la faune nageuse. Ce module devrait particulièrement convenir à l'ichtyofaune récifale (Figure 8) lors de son implantation au sein de la case n°7 du site d'immersion n°1.

Selon les plans élaborés, elle se compose de 33 parpaings (40 x 20 x 20 cm), formant une base large (140 x 80 cm), pour une hauteur de 120 cm. Cette structure pourrait cependant s'avérer plus fragile que les précédentes (Figure 7).

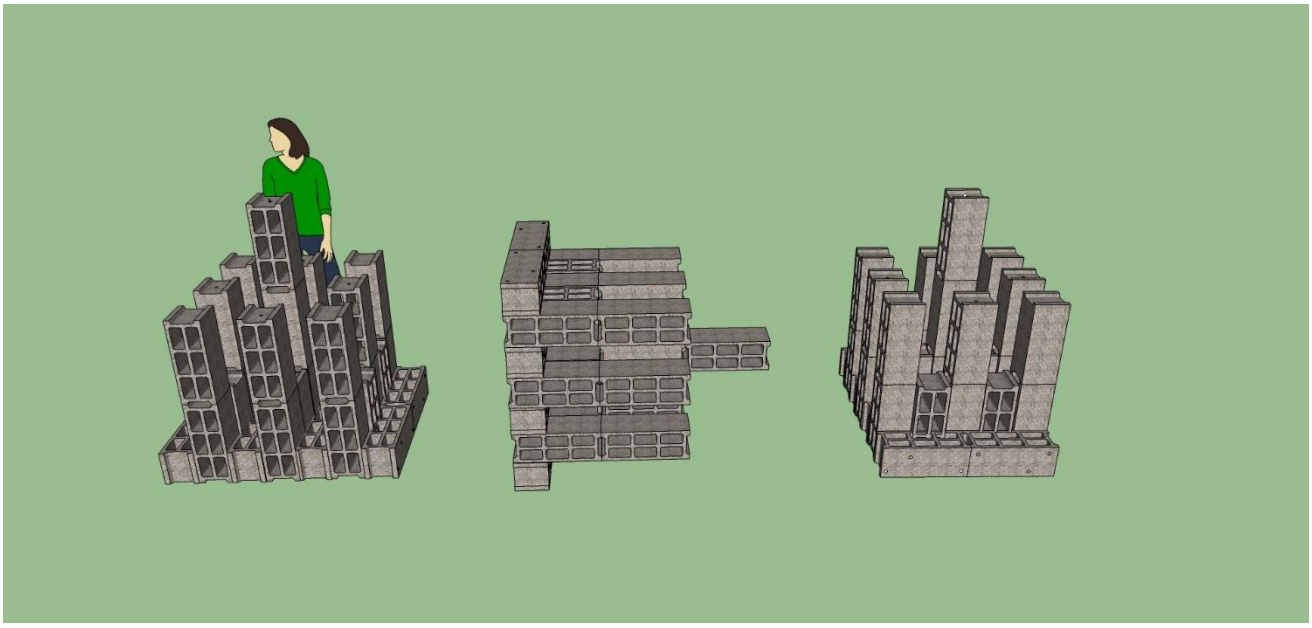


Figure 7: Plan du module en gratte-ciel (33 parpaings ; RNNSM).

Figure 8 : Module en forme de gratte-ciel lors de son immersion (03/07/14) et une fois colonisé (09/10/14).

e. Module en forme de temple :

L'objectif de ce modèle de module est d'obtenir une forme proche de celle de la pyramide, mais de taille réduite et plus aérée. Cette dernière dispose ainsi d'un plus grand nombre d'ouvertures transversales, amenant plus de lumière dans les cavités internes du module. La faune devrait donc y trouver une plus grande liberté de déplacement, plus de luminosité et une meilleure circulation d'eau.

Cette forme est composée de 54 parpaings (40 x 20 x 20 cm), formant une base relativement large (160 x 120 cm), pour une hauteur de 140 cm (Figure 5). Cette forme plus ajourée est ainsi composée de presque moitié moins de parpaings que dans le cas de la pyramide, mais plus que la tour (Figure 9).

Composée d'un plus grand nombre d'éléments, ce module est donc plus volumineux et d'une structure plus complexe que le module précédent. Les ouvertures présentes à sa base devraient également faciliter la pénétration des animaux benthiques, souhaitant se réfugier à l'intérieur du module en arrivant par sa base (Figure 10). Deux modules de ce type seront implantés sur chaque site.

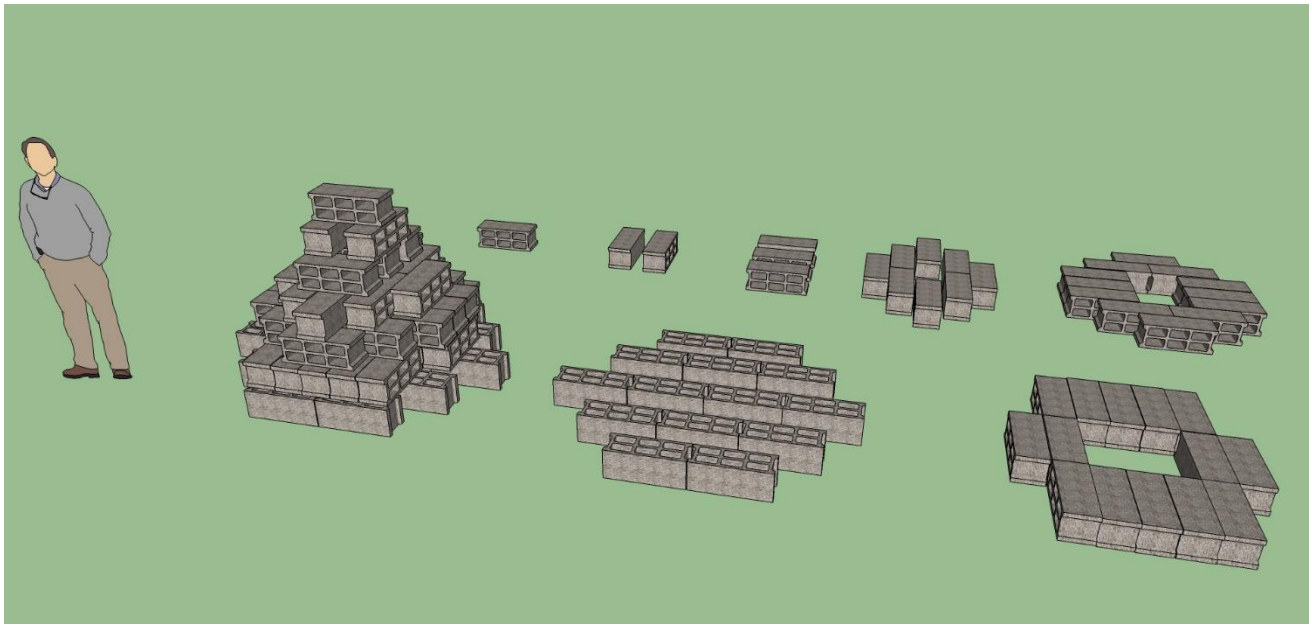


Figure 9 : Plan du module en temple (54 parpaings ; RNNSM).

Figure 10 : Module en forme de temple lors de son immersion (10/09/14) et une fois colonisé (09/10/14).

f. Module en forme de mikados :

L'objectif de cette forme est de proposer une structure très minimaliste et aérée, composée d'un faible nombre d'éléments, mais faisant barrière au courant, tout en permettant la circulation des animaux.

Selon les plans élaborés, elle se compose de 48 parpaings (40 x 20 x 20 cm), formant une base large (120 x 120 cm), pour une hauteur de 160 cm. Elle se compose de 8 étages de 2 traverses formées de 3 parpaings fixés bout-à-bout (Figure 11).

Elle attirera très certainement des bancs de poissons récifaux profitant de cette structure pour s'abriter du courant et des prédateurs (Figure 12).

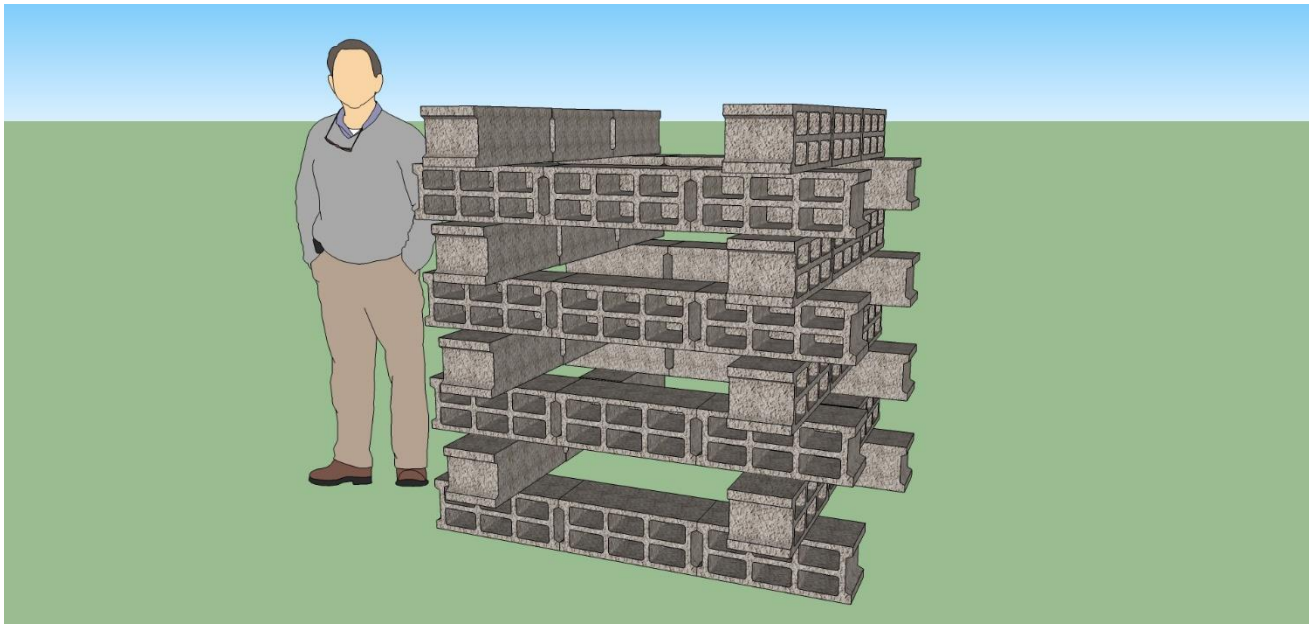


Figure 11 : Plan du module en mikados (48 parpaings ; RNNSM).

Figure 12 : Module en forme de mikados lors de son immersion (09/09/14) et une fois colonisé (09/10/14)

g. Module en forme de cube :

L'objectif de cette forme est de proposer une structure très minimaliste et aérée, composée d'un faible nombre d'éléments, mais faisant barrière au courant, tout en permettant la circulation des animaux.

Selon les plans élaborés, elle se compose de 64 parpaings (40 x 20 x 20 cm), formant une base large (185 x 215 cm), pour une hauteur de 160 cm. Elle se compose de 2 étages formés par un empilement de 4 cubes (Figure 13).

Elle attirera très certainement des bancs de poissons récifaux profitant de cette structure pour s'abriter du courant et des prédateurs (Figure 14).

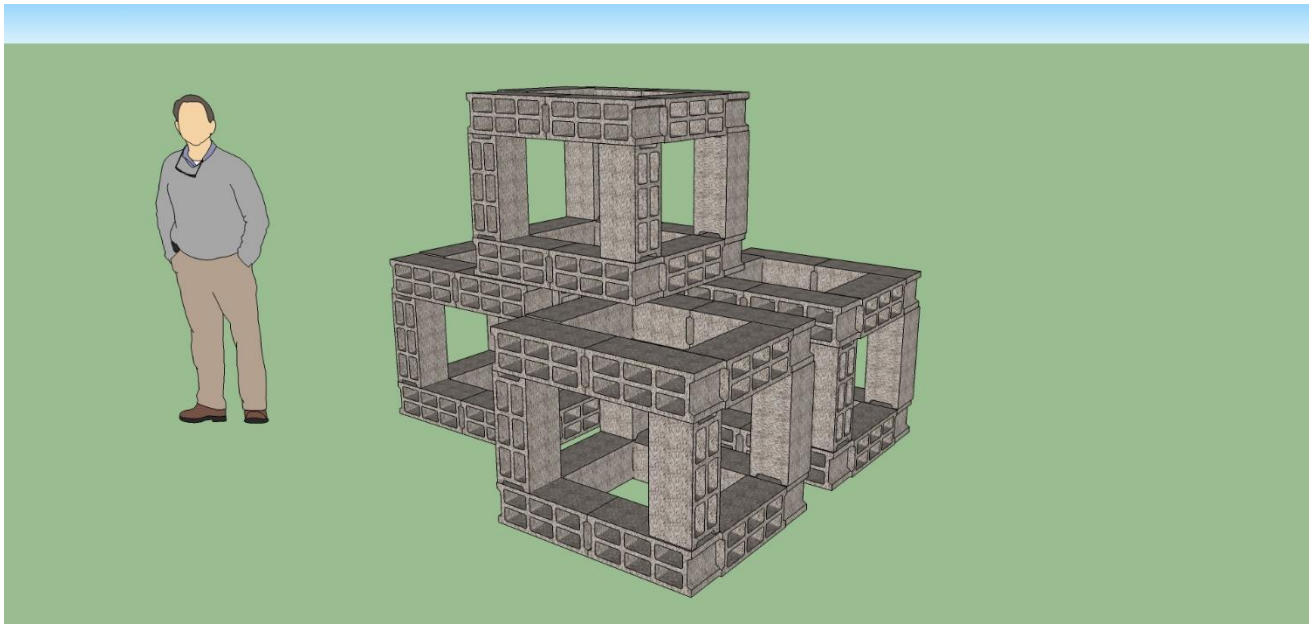


Figure 13 : Plan du module en cubes (64 parpaings ; RNNSM).

Figure 14 : Module en forme de cubes lors de son immersion (16/09/14) et une fois colonisé (09/10/14)

D. Suivi de la colonisation de l'habitat artificiel :

Afin de suivre et d'évaluer l'efficacité des dispositifs conçus, un suivi mensuel a été programmé sur un an. L'objectif de ce suivi visuel réalisé en immersion par des plongeurs professionnels, est de suivre et de documenter la colonisation des modules par certains types d'organismes.

Chaque mois, les plongeurs enregistreront le nombre d'individus par espèce et estimeront leurs tailles, afin d'évaluer l'évolution de la richesse spécifique, des densités et de la biomasse estimée aux abords des structures implantées. Ces relevés *in situ* seront complétés à postériori par le dépouillement à terre, des vidéos et images réalisées lors des immersions. Les animaux pris en compte appartiennent à l'ichtyofaune, aux crustacés, aux échinodermes et mollusques macroscopiques (visible à l'œil nu et d'au moins 0,5 cm).

Aucun suivi de la colonisation surfacique des modules ne sera effectué. Le développement des espèces fixées sera cependant documenté par des photographies et des vidéos réalisées mensuellement. Ce type de suivi s'avère très chronophage et peu pertinent au regard des objectifs de ce projet.

Lors de ces relevés, l'intégrité des différents modules immergés sera également suivie qualitativement.

L'ensemble des relevés sont réalisés et retranscrits pas case de 5 mètres sur 5 mètres, numérotée de 1 à 9, et seront donc analysables par la suite pour chaque type de module.

2. Premiers résultats :

Le présent rapport final restitue l'ensemble des résultats du suivi opéré de Janvier à Octobre 2014, soit au cours des 10 mois attribués pour la réalisation du programme pilote financé par TeMeUM. Cependant, le projet sera poursuivi au-delà de cette période, afin de permettre la finalisation de l'installation du site n°2 et de permettre la réalisation du suivi de colonisation sur une année entière sur les 2 sites.

A. Chronogramme de réalisation :

Au cours des 10 premiers mois de réalisation de ce projet (Janvier à Octobre 2014), différentes opérations ont eu lieu : implantations de modules et suivis de colonisation.

Le chronogramme des réalisations est ici synthétisé dans 2 tableaux synthétiques représentant le planning d'immersion des modules sur le site n°1 et le planning des opérations de suivi sur le site n°1 (cf Tableau 1 et Tableau 2).

Il n'a en effet pas été possible de terminer l'aménagement du site n°2 lors des 10 premiers mois de réalisation de ce projet. Cependant, le matériel nécessaire à l'aménagement du site n°2 a bien été acquis et stocké en prévision de cette réalisation. Le teste d'immersion d'un habitat artificiel identique à celui du site n°1, mais à une profondeur moins importante, de l'ordre de 15 mètres, sera donc bien testé par la suite.

Tableau 1: Chronogramme synthétique des opérations d'aménagement du récif artificiel n°1.

	14/01/2014	16/01/2014	20/01/2014	19/05/2014	19/06/2014	26/06/2014	03/07/2014	09/09/2014	10/09/2014	11/09/2014	Durée d'immersion
Case n°1								Mikados			53
Case n°2						Tour					128
Case n°3										Cubes	51
Case n°4									Temple		52
Case n°5			Pyramide								285
Case n°6									Temple		52
Case n°7							Gratte-ciel				121
Case n°8							Tour				121
Case n°9				Croix							166

Piquettage du site : délimitation des 9 cases.
Immersion du matériel destiné à l'assemblage des modules.
Finalisation du module.

Tableau 2: Chronogramme synthétique du suivi de la colonisation du récif artificiel n°1.

	15/01/2014	06/02/2014	12/03/2014	09/04/2014	19/05/2014	18/06/2014	17/07/2014	31/07/2014	04/09/2014	09/10/2014
Etat initial	0 module									
Suivi		1 module	1 module	1 module	2 modules	2 modules	5 modules	5 modules	5 modules	9 modules

Evaluation de l'état initial
Suivi de la colonisation post-immersion

B. Plannification, pré-assemblage et immersion des modules :

Cette première étape dans le déploiement de ces 2 habitats artificiels légers a déjà permis d'identifier des points clés dans la réalisation qui permettent d'optimiser la durée de déploiement et principalement le passé en immersion.

a. Avant immersion :

Il est prépondérant de bien planifier chaque étape à terre pour maximiser l'efficacité des moyens humains lors de l'immersion, l'autonomie sous l'eau étant limitante. Pour faciliter, l'immersion, des solutions simples ont été mises au point et testées.

A terre, un premier montage de chaque module permet à chacun des intervenants de comprendre et de mieux appréhender la structure à assembler en immersion. Cette étape permet également de se rendre compte d'éventuelles erreurs de conception ou fragilités structurelles des formes élaborées.

Afin de limiter le temps nécessaire à l'assemblage par les plongeurs et pour limiter les éventuelles erreurs, des plans détaillés de chaque niveau des modules sont imprimés sur papier immergeable, afin d'être emportés par les plongeurs.

b. Pré-assemblage des éléments :

Pour faciliter l'assemblage en immersion, limité le temps d'assemblage et de manutention au transport, au largage et en immersion, le pré-assemblage des composant de chaque modules apparait une solution payante.

Ainsi, des groupes de 2 à 3 parpaings ont été assemblés et collés à terre, avant d'être chargés et largués pour l'assemblage final des modules sur le fond. Le gain de temps est apparu très conséquent entre l'assemblage des premiers modules du site n°1 effectué parpaings par parpaing et l'assemblage des derniers modules utilisant le pré-assemblage. Cette méthode contribue également à garantir une plus grande solidité structurelle des futurs modules, les intervenants disposant de meilleures conditions pour appliquer le scellement chimique et pouvant vérifier la solidité des éléments avant immersion.

Le positionnement des éléments préassemblés doit ainsi également figurer sur les plans détaillés fournis aux plongeurs.

c. Immersion des éléments :

Le largage des éléments est aussi une étape prépondérante pour limiter la manutention lors de l'immersion.

Il est important d'effectuer préalablement un balisage de la zone de largage, pour que les éléments descendent au plus près de la zone d'implantation finale. Des bouées de surface sont donc disposées avant chaque opération de largage, afin de délimiter la zone d'immersion des éléments, permettant à ceux-ci d'atteindre le fond à proximité directe de la future zone d'assemblage, tout en limitant les risque de casse entre éléments largués et vis-à-vis des modules déjà présents au fond.

Pour se faire, il peut être utile qu'une personne se mette à l'eau à proximité de la zone de largage, pour observer, guider et suivre la descente des éléments dans la colonne d'eau, en donnant des indications en temps réel aux personnes effectuant le largage. Toutes les mesures de sécurité nécessaires doivent alors être prises vis-à-vis cette personne lors des opérations.

Enfin, pour faciliter la manutention et l'assemblage des parpaings en immersion, les plongeurs peuvent avoir recours à un complément de lestage, ainsi qu'à l'utilisation de chaussure en lieu et place de leurs palmes. Le fait de marcher sur le fond, permet en effet de limiter les efforts, de faciliter le positionnement précis des éléments, tout en limitant grandement la consommation en air.

Lors des opérations d'assemblage des modules, les parpaings employés furent scellés les uns aux autres par du scellement chimique (HILTI HIT-RE 500-SD), résine époxy bi-éléments, haute résistance, utilisable en immersion. De plus, les alvéoles des parpaings composant la base de chaque module, furent remplies de sédiments et des fers à béton furent également utilisés pour renforcer leur encrage au sol.

C. Habitat artificiel immergé sur le site n°1 :

Au terme de 9 mois de travail, l'aménagement du site n°1 par 21 mètres de fond, a abouti à l'édification d'un récif artificiel léger composé de 9 modules répartis sur une surface de 225 m^2, représenté dans la figure suivante (Figure 15).

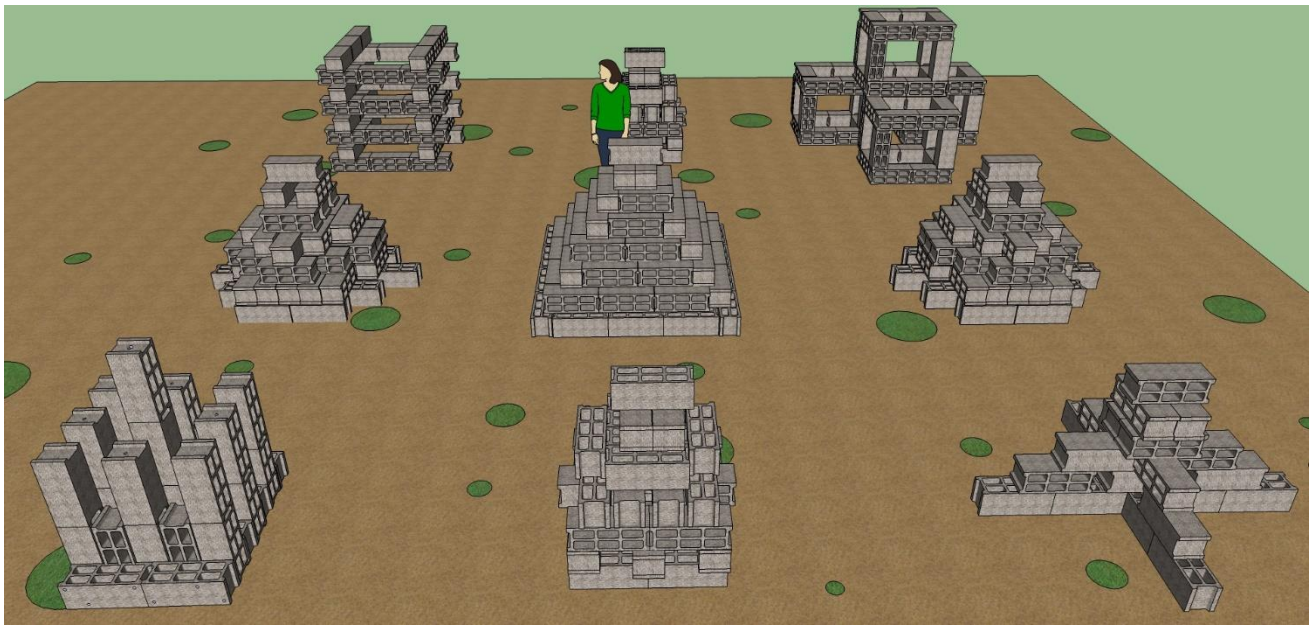


Figure 15 : Plan de la structure du récif artificiel implanté sur le site n°1 au 11/09/14 (RNNSM).

D. Evolution de l'intégrité structurelle :

Lors des 9 plongées de suivi post-immersion, les relevés réalisés n'ont pas permis d'observer de dégradation notable de la structures des modules implantés.

Seule une légère érosion du sédiment situé à la base du module n°5 (pyramide), a pu être observée sur la face exposée au courant. Ainsi, 2 parpaings du premier rang constituant la base de la pyramide, se sont très légèrement déplacés (Figure 16).

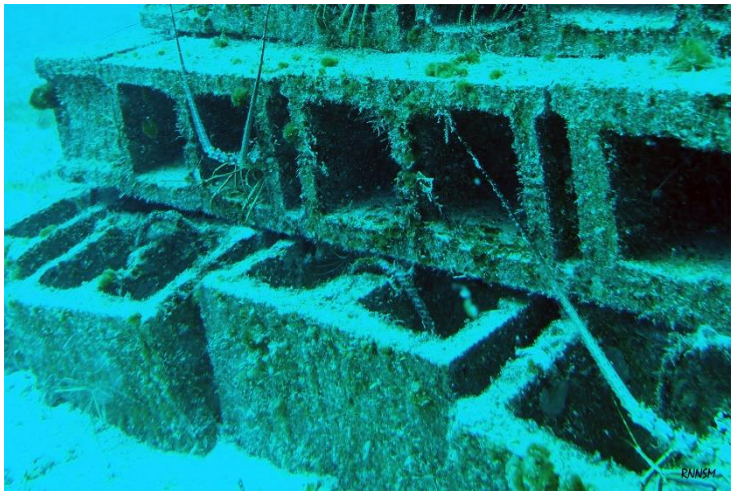


Figure 16: Illustration des conséquence de l'érosion du sédiment à la base du module n°5 (19/05/14 ; RNNSM).

Cependant, ce déplacement ne semble pas avoir déstabilisé les rangs supérieurs. En effet, chaque élément repose sur 2 à 3 éléments de rang inférieur, excepté ceux du premier rang. Ces éléments sont de plus solidarisés aux autres par du scellement chimique sous-marin à haute résistance. Le déplacement des 2 éléments de la base est quant à lui stoppé par les sardines en fer-à-béton implantées au sein du rang constituant la base.

Ce phénomène semble aujourd'hui stabilisé et n'a pour l'heure pas pris d'ampleur. L'intégrité du module n°5 ne semble donc pas compromise. Ce constat fut pris en compte lors de l'implantation des modules suivants.

Les modules n°9 et 7, respectivement en forme de croix et de gratte-ciel, ont quant à eux commencé à donner des signes de déstabilisation de leur structure. Il a donc été nécessaire de repositionner les parpaings et de remettre un peu de sédiments à leur pied (Figure 17).

La majorité des modules n'a donc pas donnée signe de dégradation au cours des 9 mois de suivi. Le recours à plus de scellement pour renforcer l'assemblage de l'ensemble des parpaings, devrait limiter la survenue de nouveaux évènements de ce type dans le futur.

Figure 17 : Indices de déstabilisation structurelle des modules n°9 et 7 suite à l'érosion du sédiment par le courant (RNNSM).

E. Evolution de la colonisation :

De Janvier à Octobre 2014, 9 plongées de suivi post-immersion ont été réalisées, pour suivre et comparer l'évolution des peuplements observés sur le site n°1, par rapport à l'état initial documenté en Janvier 2014.

a. Evolution de la biodiversité observée :

Initialement, ce site principalement constitué de sable grossier colonisé par des algueraies diffuses, n'abritait qu'une très faible diversité faunistique (4 espèces observées, dont 3 omnivores). De plus, l'ichtyofaune y était très faiblement représentée.

Suite à l'immersion des premiers modules, l'évolution de la biodiversité représentée par la macrofaune observée sur le site n°1 a commencé à évoluer selon différentes phases. Cette évolution de la biodiversité est à analyser au regard du phasage de l'implantation des 9 modules entre Janvier et sur le site.

Au terme du premier mois d'immersion du module centrale (en pyramide), le nombre d'espèces observées n'a que peu évolué, passant de 4 à l'étal initial à 5. La colonisation du module au cours de cette période apparait très réduite. Toute structure immergée doit en effet suivre un processus dit de biologisation des surfaces avant d'être investi par la faune et la flore : colonisation du substrat artificiel par un biofilm bactérien et microalgal. Une importante poussée d'algues filamenteuses brunâtres fut observable sur l'ensemble des structures, après 1 à 2 mois d'immersion (Figure 18). Ce film algal a par la suite totalement disparu pour laisser la place à des macroalgues, des ascidies et des éponges colonisant les surfaces nouvellement biologisées.

Figure 18: Phénomène de biologisation des surfaces, observable après 1 à 2 mois d'immersion (12/03/14 ; RNNSM)

Dans un second temps (de Février à Mai 2014), alors qu'il n'y a toujours qu'un seul module immergé, la biodiversité augmente très rapidement, passant de 5 à 33 espèces observées. Sur le plan trophique, ces dernières sont principalement composées par des carnivores primaires (27%) et secondaires (27%), suivi des herbivores (21%) et des omnivores (15%), les piscivores en représentant qu'un peu plus de 9% des espèces relevées. Ces derniers faiblement représentés ne s'installe que tardivement sur la structure, au cours du 5ème mois d'immersion.

L'évolution de la biodiversité aux abords du récif artificiel n°1 entre alors dans une 3ème phase, marquée par une stabilisation du nombre d'espèces observées au cours des 2 mois suivant (de Mai à Juillet 2014). Le nombre d'espèces relevées au cours de cette période ne passera que de 33 à 36, alors que 3 modules sont immergés et que 2 de plus le seront en fin de cette phase (Juillet 2014). Au terme de cette phase, les espèces présentes sont composées de 30% de carnivores secondaires, de 25% de carnivores primaires, de 19% d'herbivores, 17% d'omnivores et 8% de piscivores.

Enfin, la dernière phase d'évolution de la biodiversité observée au cours de ce suivi de 10 mois, est marquée par une reprise de la hausse du nombre d'espèces relevées. Lors des 2 derniers mois suivis, la biodiversité observée progresse de manière plus lente que lors de la seconde phase déjà évoquée. Le nombre d'espèces progresse ainsi de 36 à 49 en 2 mois, alors que les 9 modules sont implantés depuis Aout 2014. La répartition par groupe trophique de ces espèces observées traduit la prédominance des carnivores primaires (29%), suivi par les carnivores secondaires (27%), les herbivores (18%), les omnivores (16%) et les piscivores (10%).

Cette évolution de la diversité spécifique observée au cours des 10 mois d'immersion, est synthétisée par les graphiques suivants (Figure 19 et Figure 20).

Parmi les 49 espèces relevées lors des suivis, certaines sont emblématiques comme le poisson ange royal (*H. ciliaris*), le poisson ange caraïbe (*H. tricolor*), le papillon sédentaire (*C. sedentarius*), le poisson papillon 4 yeux (*C. capistratus*), le dragonnet (*P. acuminatus*), la langouste royale (*P. argus*), la crevette nettoyeuse (*S. hispidus*), l'oursin diadème (*D. antillarum*)… Par ailleurs, aucun poisson lion invasif (*Pterois volitans*) n'a à ce jour, été observé sur le site n°1.

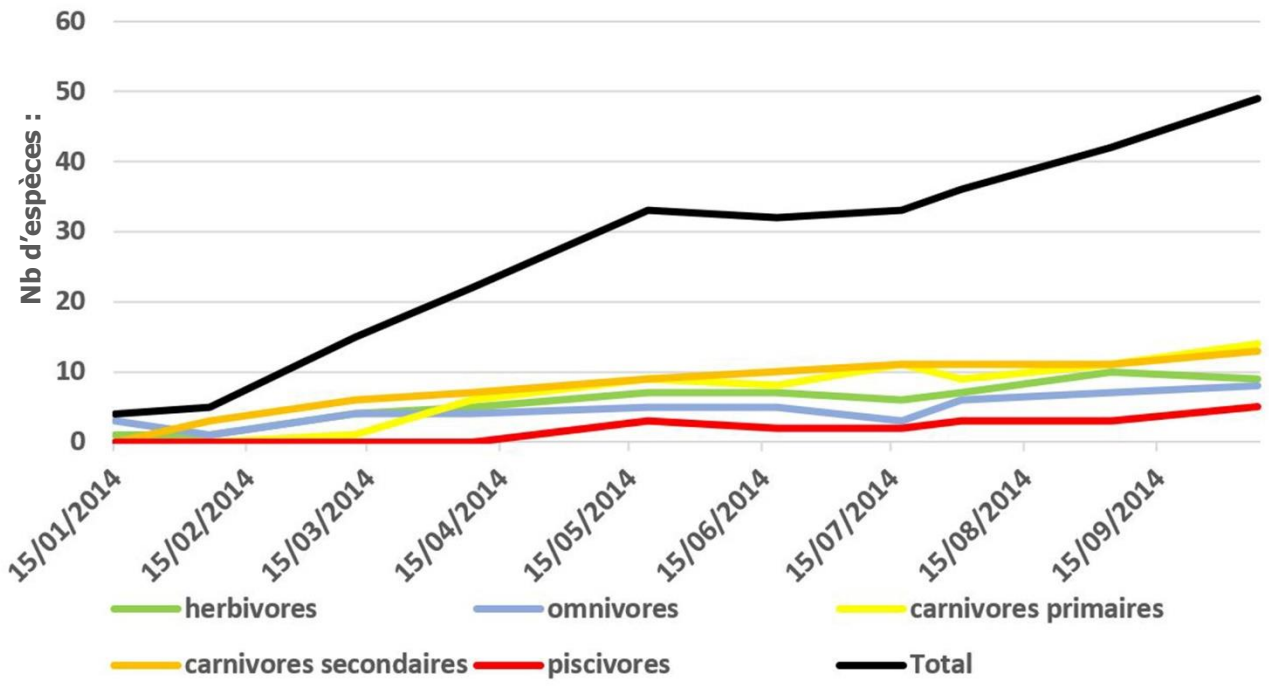


Figure 19: Evolution mensuelle de la biodiversité spécifique sur le site n°1 (nb. d'espèces observées au cours du temps).

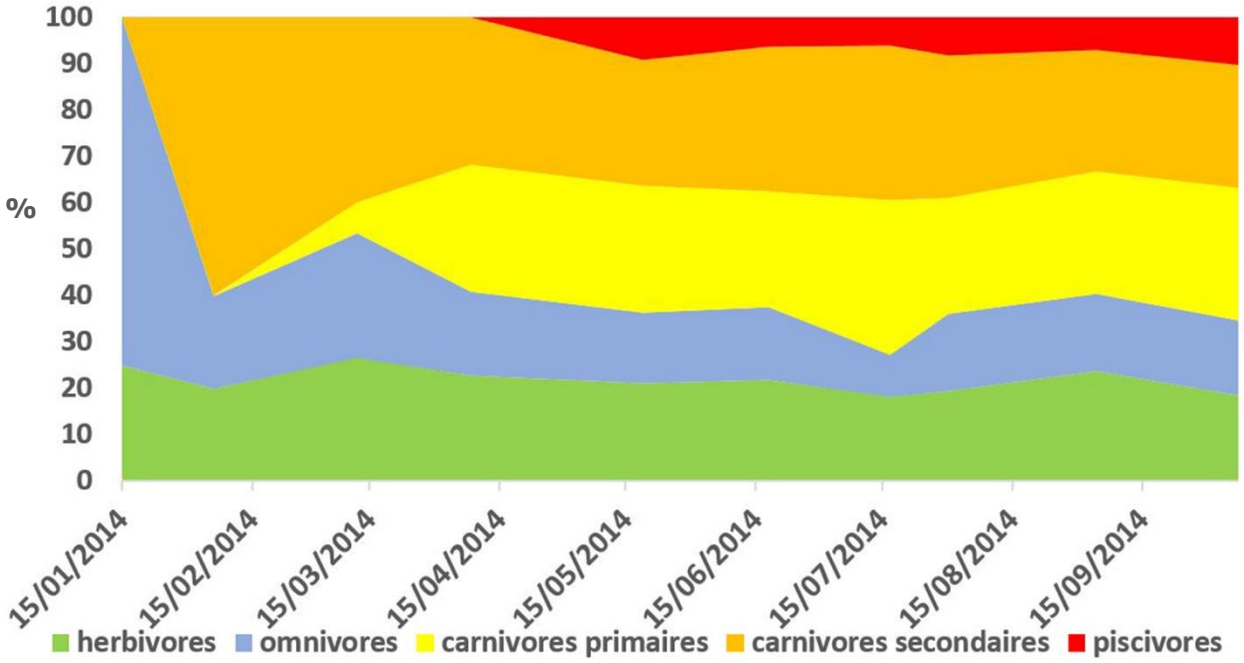


Figure 20 : Evolution mensuelle des proportions d'espèces par type de régime trophique sur le site n°1 (pourcentage d'espèces par groupe trophique).

b. Evolution des densités évaluées :

Les 10 premières plongées de suivi ont permis d'enregistrer la rapide évolution des densités de faune observée sur le site n°1.

Si initialement, seulement 6 individus/100m² toutes espèces confondues (principalement des oursins de sable irrégulier, *M. ventricosa*) étaient observables sur site, ce nombre a rapidement évolué les mois suivants, suite à l'immersion du premier module. Au terme de 10 mois de suivi, les densités comptabilisées sur le site n°1 atteignent un chiffre record de 520 individus/100m², soit 87 fois plus qu'initialement.

Au terme des 10 mois de suivi, les espèces les plus représentées sont les gorettes (321 *Haemulon aurolineatum*/100m²), les mombins (41 *Myripristis jacobus* /100m²), les langoustes royales (25 *Panulirus argus* /100m²), les crabes-araignées nez pointu (24 *Stenorhynchus seticornis* /100m²), les barbarins blancs (22 *Mulloidichthys martinicus* /100m²) et les crevettes nettoyeuses (12 *Stenopus hispidus* /100m²). Chronologiquement, c'est l'espèce *M. jacobus* s'installe de manière précoce sur l'habitat artificiel (Février 2014), suivis par *H. aurolineatum* et *P. argus* (Mars 2014), puis *S. seticornis* et *S. hispidus* (Avril 2014) et enfin *M. martinicus* (Juillet 2014). Ainsi, les espèces les plus représentées sont également parmi les premières colonisatrices du RA. Elles développent un comportement opportuniste en s'installant rapidement et massivement au sein de niches vacantes, mode de colonisation caractéristique des espèces pionnières. Mais dans le détail, l'évolution des densités spécifiques observées sur l'habitat artificiel s'est faite selon 5 phases.

Figure 21: Fortes densités de langoustes royales observables sur le module n°5 (23/05/14 ; RNNSM).

La phase initiale est caractérisée par une progression lente des effectifs, passant de 6 à 19 individus/100m². Cette période survient durant les 2 premiers mois d'immersion Janvier à Mars 2014) et sera principalement le fait des langoustes royales (*P. argus* ; 6 indiv. /100m²).

La seconde phase de colonisation se traduit quant à elle par une progression plus importante des densités de macrofaune observable, de Mars à Mai 2014 (Figure 21). Les densités comptabilisées passent alors de 19 à 126 individus/100m², principalement du fait des langoustes royales (*P. argus* ; 40 indiv. /100m²) et des gorettes (*H. aurolineatum* ; 27 indiv. /100m²).

La troisième phase de progression des densités observées sur l'habitat artificiel survient au cours du 5ème mois d'immersion (de Mai à Juin 2014). Elle se traduit par un ralentissement de l'évolution du nombre d'individus comptabilisés, passant de 126 à 151 individus/100m². Au cours de cette phase les espèces les plus représentées sont les langoustes royales (*P. argus* ; 63 indiv. /100m²), les gorettes (*H. aurolineatum* ; 18 indiv. /100m²) et les mombins (*M. jacobus* ; 13 indiv. /100m²).

Les 3 mois suivant sont marqués par une très importante progression des effectifs toutes espèces confondues. Ainsi, de Juin à Septembre 2014, les densités observées sont multipliées par 3 (passant de 151 à 470 individus/100m²). Cette progression est principalement imputable aux gorettes (*H. aurolineatum* ; 262 indiv. /100m²), ainsi qu'aux mombins (*M. jacobus* ; 56 indiv. /100m²). En effet, un évènement identifié comme un épisode de braconnage perpétré sur le site n°1, conduit à une subite diminution des densités en langoustes royales (*P. argus* ; 31 indiv. /100m²). En effet, les plongeurs effectuant le suivi ont pu constater la nette diminution du nombre d'individus au sein des modules, ainsi que la présence de 3 parpaings déchaussés de la pyramide (module n°5), certainement pour accéder plus facilement à certaine langoustes s'étant réfugiées au plus profond de la structure. Le module fut remis en état au terme du comptage. Il est apparu évident que ces éléments ne pouvaient pas être tombés au pied du module de manière naturelle et encore moins que l'un deux puisse se retrouver de la sorte, posé sur le fond sur sa tranche (Figure 22). Mais les densités en langoustes royales furent durablement impactées par cet évènement.

Figure 22 : Parpaings déchaussés lors du braconnage perpétré en Septembre 2014, sur le site n°1 (RNNSM).

Enfin, un ralentissement de la progression des densités observées sur l'habitat artificiel s'opère au cours du dernier mois de suivi (de Septembre à Octobre 2014). Le peuplement du site n°1 passe ainsi de 470 à 520 individus/100m². Les espèces les plus présentes sont une nouvelle fois les gorettes (*H. aurolineatum* ; 321 indiv. /100m²), ainsi que les mombins (*M. jacobus* ; 41 indiv. /100m²). Les langoustes royales (*P. argus*) quant à elles ne semblent pas parvenir à combler les pertes subies et seulement 25 individus/100m² sont ainsi observés lors de ce dernier comptage (Figure 23).

Contrairement à la diversité spécifique, le nombre d'individus observés se répartit de manière très hétérogène entre les différents niveaux trophiques (Figure 24). Ainsi, les carnivores de second ordre dominent le peuplement des structures dès le premier mois d'immersion, en représentant 65% des densités observées. Au terme de 9 mois d'immersion, ils représentent 79% de la population dénombrées, alors que les carnivores primaires en représentent 15%, les herbivore 3%, les piscivores 2% et les omnivores 1%. Ce déséquilibre dans la représentation des différents niveaux trophiques sur le site n°1 n'est pas le reflet de la situation naturelle observable sur les récifs en et hors réserve de Saint-Martin comme le révèlent les suivis opérés depuis 2009, où les herbivores et omnivores dominent les peuplements suivis. Ce phénomène est certainement lié au caractère récent de l'implantation des structures artificielles, privilégiant une colonisation rapide par des espèces opportunistes ou dites pionnières. Avec le temps, ces peuplements évolueront et tendront certainement vers un équilibre et une composition spécifique différente, plus proche de ce qui est actuellement observable sur les sites naturels. La composition trophique du peuplement du récif artificiel synthétisée sur les graphiques suivants reste cependant conforme à celle observé sur les récifs artificiels de La Réunion, affichant un déséquilibre trophique identique (Tessier, 2005).

Il est important de noter que jusqu'à ce que le site soit braconné en Septembre 2014, les densités de langoustes observées sur les modules du récif artificiel, étaient bien supérieures à celles observables en milieu récifale naturelle.

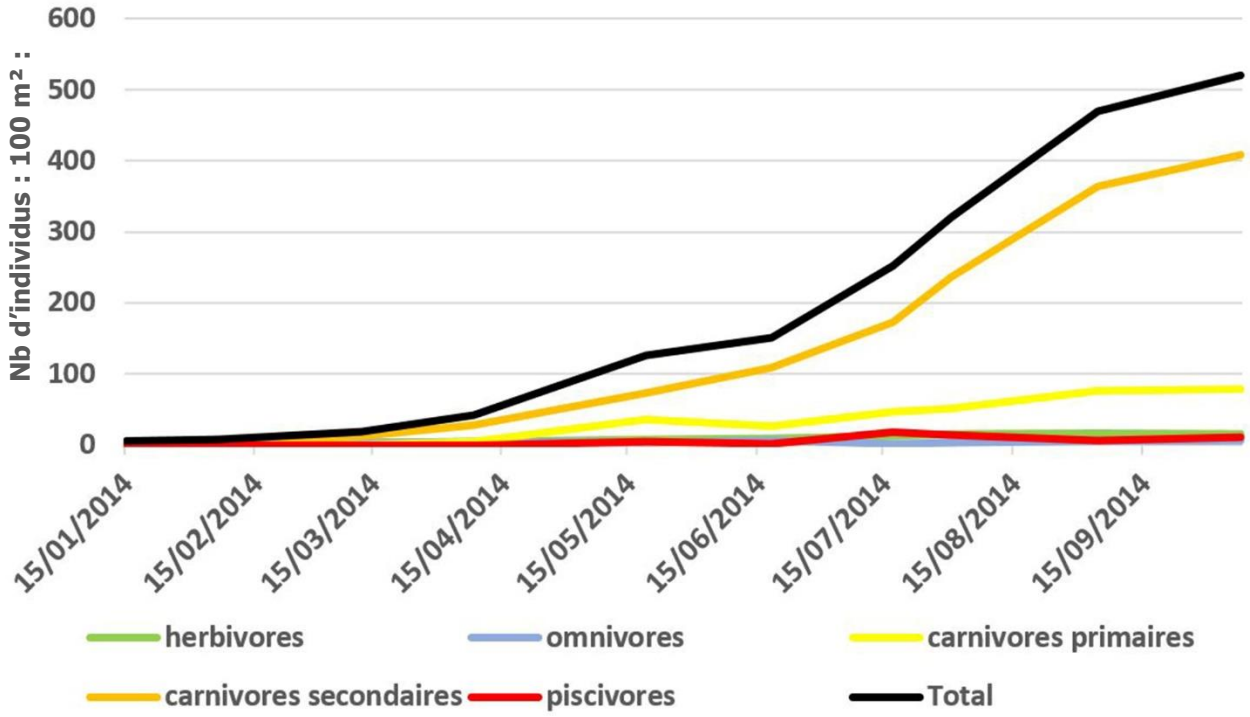


Figure 23: Evolution mensuelle des densités spécifiques par groupe trophique sur le site n°1 (individus/100 m²).

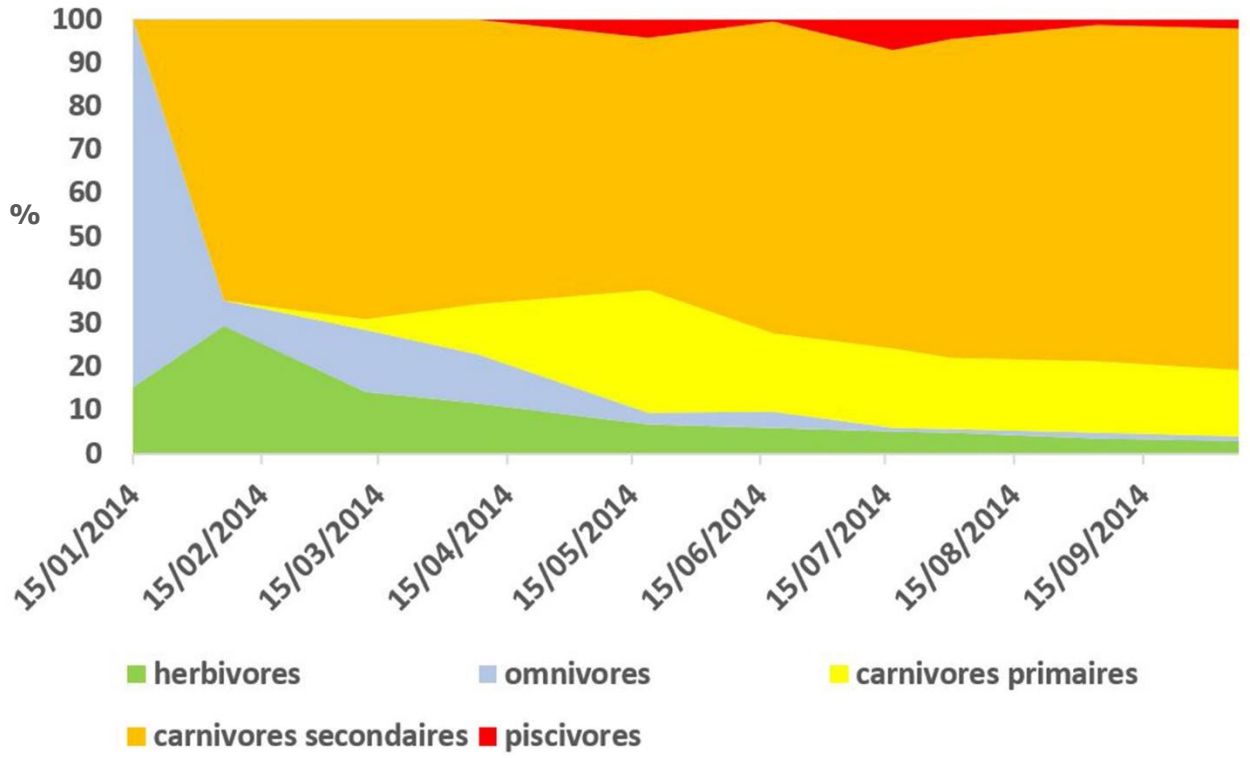


Figure 24: Evolution mensuelle du réseau trophique sur le site n°1 (proportion d'individus par groupe trophique).

c. Evolution de la biomasse commerciale estimée :

L'évaluation de la biomasse est basée sur une première estimation de la taille des individus observés lors des relevés. Ces données sont par la suite exploitées pour estimer une biomasse théorique au moyen d'une relation taille/poids standard établie par d'autres chercheurs, parfois dans des contextes environnementaux différents. De plus, ces relations ne sont pas toujours disponibles pour l'ensemble des espèces observées au cours de ce suivi. Ainsi, seules 35 des 75 espèces observées à différentes périodes de la colonisation du site sont ici utilisées pour fournir une évolution mensuelle de la biomasse estimée. Il convient donc de manipuler les chiffres qui vont suivre avec précaution. Les espèces ici utilisées sont principalement des poissons d'intérêt commercial et les langoustes royales (*P. argus*).

Comme observé précédemment au travers de l'évolution de la biodiversité et des densités, la biomasse commerciale estimée va progressivement évoluer selon différentes phases, au cours du déploiement et de la colonisation des modules (Figure 26).

Lors des 4 premiers mois (Janvier à Mai 2014), une première phase de lente progression de la biomasse s'opère. Celle-ci passe de 0 à 6,04 kg/100m². Cette progression de la biomasse commerciale estimée est principalement imputable à l'installation de langoustes royales (*P. argus* ; 5,87 kg/100m²) sur les modules dès le 2ème mois après immersion (Figure 25).

Figure 25 : Prédominance des carnivores secondaires en termes de biomasses estimée sur les modules immergés, au cours des premiers mois de colonisation (23/05/14 ; RNNSM)

Au cours du mois suivant, la biomasse estimée va considérablement diminuer du fait du braconnage subi par le site en Septembre 2014. La biomasse commerciale estimée passe alors de 69,76 à 13,43 kg/100m² en Septembre 2014. Cette estimation est principalement le fait des barbarins blanc (*M. martinicus* ; 8,98 kg/100m²), des gorettes (*H. aurolineatum* ; 2 kg/100m²) et des mombins (*M. jacobus* ; 1,17 kg/100m²). L'épisode de braconnage principalement ciblé les langoustes royales (*P. argus*), la biomasse estimée représentée par ces dernière n'est alors plus que de 0,33 kg/100m² à cette date.

Au terme du dernier mois (de Septembre à Octobre 2014), la biomasse commerciale estimée semble réamorcer une progression plus limitée, mais supérieure à celle observée au cours des 4 premiers mois de suivi. Elle passe en effet de 13,43 à 29,36 kg/100m², alors qu'elle était de 69,76 kg/100m² en Aout 2014. Les espèces d'intérêt commerciales affichant les plus importantes valeurs de biomasse estimée sont alors les gorettes (*H. aurolineatum* ; 13,05 kg/100m²), une raie pastenague (Dasyatis americana ; 7,31 kg/100m²), les mombins (*M. jacobus* ; 2,53 kg/100m²) et les barbarins blanc (*M. martinicus* ; 2,11 kg/100m²). Les langoustes royales (*P. argus*) ne représentent alors plus que 1,09 kg/100m².

Là encore, les carnivores secondaires apparaissent comme les plus présents tout au long de ces 9 mois de colonisation des structures immergées (Figure 27). Ils représentent en effet plus de 98% de la biomasse estimée au cours des 6 premiers mois de suivi. Ils ne représentent plus que 29% de la biomasse estimée en Septembre, au profit des carnivores primaires (68%). Mais ce groupe trophique redevient majoritaire en Octobre (85% de la biomasse estimée), suivi par les carnivores primaires (8% de la biomasse estimée), les piscivores (5% de la biomasse estimée) et les herbivores (1% de la biomasse estimée).

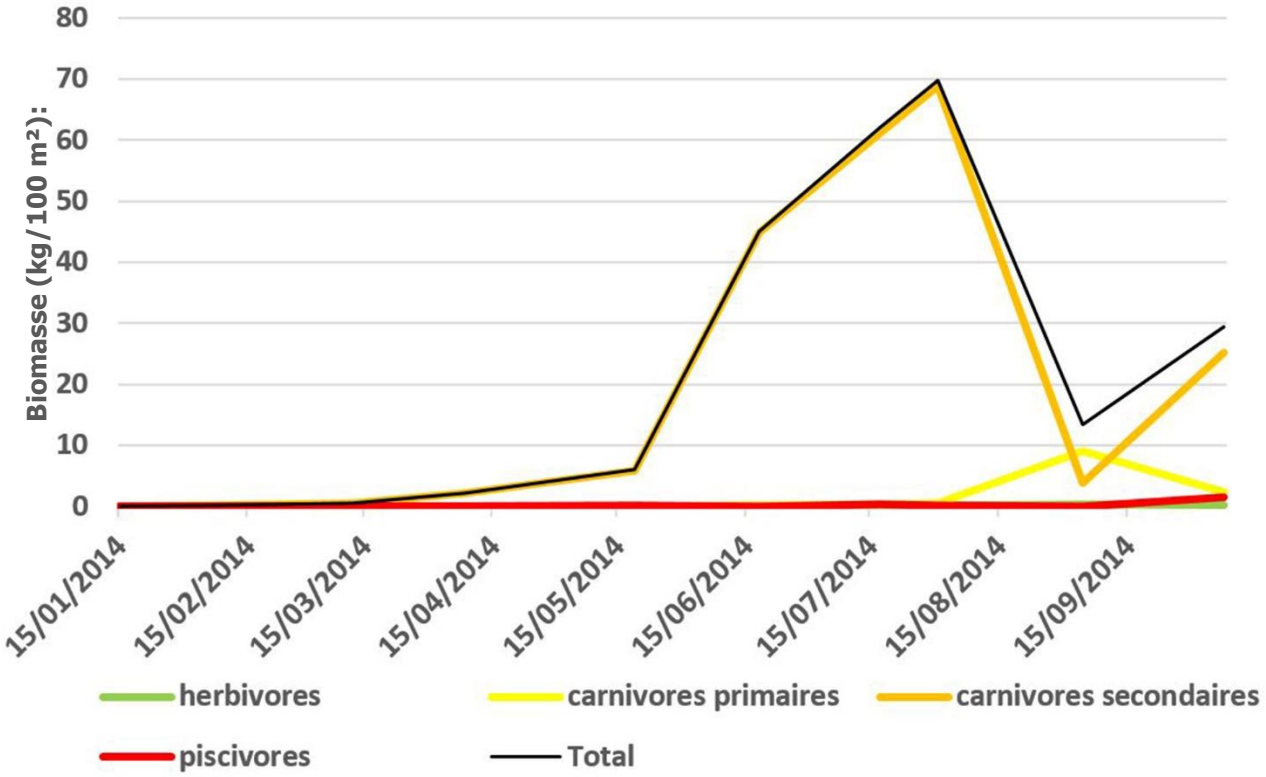


Figure 26 : Evolution de la biomasse estimée sur le site n°1, lors des 5 premiers mois de suivi de colonisation.

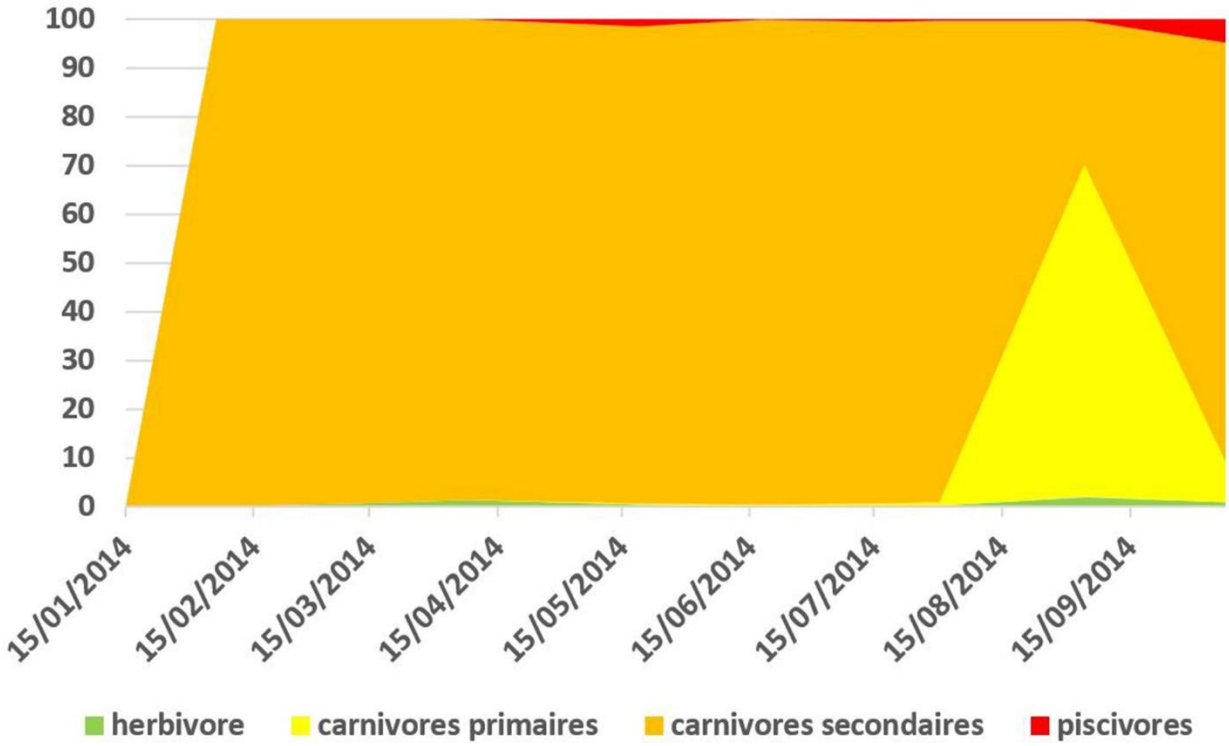


Figure 27 : Evolution de la proportion de biomasse estimée par groupe trophique sur le récif artificiel, lors des 10 mois de suivi de la colonisation.

d. Evolution en images de la colonisation du module n°5 :

Voici une chronologie en image retraçant le processus de colonisation du module n°5 (en forme de pyramide) au cours des 5 premiers mois d'immersion (Figure 28).

Figure 28 : Evolution de la colonisation du module n°5 au cours des 5 mois d'immersion sur le site n°1 (RNNSM).

3. Planning prévisionnel :

Les 9 modules prévus pour être implantés sur le site n°1 ont bien été immergés fin Septembre 2014. Les premières observations confirmant le bon déroulement du processus de colonisation et le maintien de l'intégrité structurelle des modules in-situ.

La RNNSM a également pu dans le cadre de ce projet pilote financé par TeMeUM, acquérir l'ensemble des matériaux (4 palettes de parpaings et 15 cartouches de scellement chimique HILTI HIT-RE 500-SD) nécessaire à la réalisation du second récif artificiel sur le site n°2. Le site prévisionnel identifié sera situé à proximité de l'Ilet Tintamarre. Ce second site test sera quant à lui moins profond (environ 15 mètres), afin de comparer les peuplements colonisateurs et les contraintes logistiques liées à la profondeur d'implantation (durée de plongée, impact de la houle, disponibilité en lumière…).

Les deux sites ne pourront donc pas être suivis sur des durées comparables dans le cadre de ce projet pilote. Cependant, le suivi sera pérennisé afin d'opérer à minima un suivi sur 1 an pour chacun des deux sites tests.

Ces résultats complémentaires collectés à postériori du présent rapport final feront également l'objet d'un rapport de valorisation du retour d'expérience pour une diffusion publique auprès des gestionnaires d'AMP. Dans le cadre de cette valorisation et de la diffusion des premiers résultats du projet pilote, une présentation orale de ces derniers sera faite lors du 67ème congrès du Gulf and Caribbean Fisheries Institut en Novembre 2014, à la Barbade.

De plus, une proposition a été formulée suite à l'appel à contribution émis par l'Agence des Aires Marines Protégées, pour le 3ème Colloque national des Aires Marines Protégées, organisé en Octobre 2015 à Brest. Cette proposition d'intervention orale pour restituer les résultats de ce projet pilote sera une nouvelle occasion pour valoriser ce retour d'expérience auprès de nos homologues au niveau national.

D'ores et déjà, une plongée de découverte de cet outil a été organisée en Septembre 2014, lors de la venue d'un garde plongeur professionnel de la RNN de Petite Terre (Guadeloupe) pour le suivi sous-marin annuel des réserves 2014 subventionné par l'Etat.

IV. Bilan et perspectives :

Opérations de déploiement du récif artificiel et suivi du récif artificiel :

435 parpaings furent immergés au cours de 16 plongées d'aménagement sur le site n°1 entre Janvier et Septembre 2014. 9 modules furent assemblés afin de tester 7 formes différentes. L'ensemble du matériel nécessaire à l'aménagement du site n°2 a été acquis en prévision du déploiement en mer.

Un état initial et 9 suivis post-immersion furent réalisés à diverses étapes de l'aménagement avec une durée maximale d'immersion de 285 jours pour le module n°5 en forme de pyramide.

Intégrité et colonisation du récif artificiel :

L'intégrité des modules a majoritairement été conservée, seuls certains modules touchés par une érosion du sédiment à leur base du fait des courants, ont montrés des signes de déstabilisation structurelle, à laquelle une intervention a permis de pallier.

La colonisation des habitats entraine une augmentation de la richesse spécifique 12,4 fois supérieure (49 espèces présentes en Octobre, sur les 75 observées en 2014) à l'état initial après 9 mois d'immersion, malgré une évolution lente durant la phase de biologisation des structures (1 mois). L'évolution de la biodiversité semble atteindre un palier au 4ème mois d'immersion des 2 premiers modules, mais suite à la reprise de l'aménagement du site le nombre d'espèces semble à nouveau augmenter. Des espèces emblématiques furent observées : poisson ange royale et caraïbe, poisson papillon à quatre yeux et sédentaire. Des espèces d'intérêt commercial sont également présentes : gorettes et langoustes royales. Aucun poisson lion n'a pour l'heure été observé sur les structures.

Après 9 mois d'immersion, les densités observées sur le site sont multipliées par 86,7 (520 indiv./100 m²) malgré une immersion par saccade des modules et un incident ayant considérablement réduit la population des langoustes (braconnage). Cette augmentation de la population est initialement due aux des langoustes royales (densité maximale observée de 63 indiv./100 m²). Par la suite, ce peuplement est principalement composé de gorettes (*H. aurolineatum* ; 321 indiv. /100m²) et de mombins (*M. jacobus* ; 41 indiv. /100m²).

La biomasse commerciale présente sur le récif au bout de 9 mois est estimée à 29,36 kg/100m², mais elle a atteint 69,76 kg/100m² avant l'épisode de braconnage de Septembre 2014. Si elle se composée principalement de langoustes royales (43,5 kg/100 m²) avant ça, les gorettes (*H. aurolineatum* ; 13,05 kg/100m²), une raie pastenague (*Dasyatis americana* ; 7,31 kg/100m²), les mombins (*M. jacobus* ; 2,53 kg/100m²) et les barbarins blanc (*M. martinicus* ; 2,11 kg/100m²) dominent en Octobre 2014.

Planning prévisionnel :

L'ensemble du matériel ayant été acquis, l'aménagement du site n°2 aura lieu début 2015 à Tintamarre, sur des fonds de 15 mètres afin d'en estimer les conséquences en terme de résistance des structures sur la durée et de contraintes techniques au regard de la plongée.

Le suivi sera poursuivi sur le site n°1 et débutera également sur le site n°2.

Le présent rapport servira de support de diffusion des résultats de ce projet pilote financé sur fonds TeMeUM. Une présentation orale du projet sera également effectuée lors du 67ème congrès du Gulf and Caribbean Fisheries Institut en 2014. Une proposition de contribution a également été adressée à l'AAMP, dans le cadre du 3éme Colloque des AMP en 2015 à Brest.

V. Références bibliographiques :

AMMANN A. J., 2004, SMURFs : Standard monitoring units for the recruitment of temperate reef fishes, Journal of Experimental Marine Biologie and Ecology, ELSEVIER, pp. 135-154

CHARBONNEL E., FRANCOUR P., HARMELIN J.-G., 1996. Finfish populations assessment techniques on artificial reefs: a review in the European Union. In Proceedings of the 1st Conference of the European Artificial Reef Research Network, pp. 12

CHARBONNEL E., FRANCOUR P., HARMELIN J.-G., ODY D., 1995. Les problèmes d'échantillonnage et de recensement du peuplement ichtyologique dans les récifs artificiels. Biologia Marina Mediterranea 2, 85-90

CHARBONNEL E., FRANCOUR P., HARMELIN J.-G., ODY D., BACHET F., 2000. Effects of artificial reef design on associated fish assemblages in the Côte Bleue Marine Park (Mediterranean Sea, France). In Artificial Reefs in European Seas, eds. Jensen A.C., Collins K.J., Lockwood A.P.M., pp. 365-378. Kluwer Academics Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

CHARBONNEL E., RUITTON S., BACHET F., MAISONNEUVE De L., DANIEL B., GEOFFRAY C., 2001. Les peuplements de poissons des récifs artificiels du parc Marin de La Côte Bleue. Suivi 2000 et évolution à moyen et long terme. Contrat parc Marin de la côte Bleue & GIS Posidonie, Sausset-les-Pins.

CHARBONNEL E., SERRE C., RUITTON S., HARMELIN J.-G., JENSEN A., 2002. Effects of increase habitat complexity on fish assemblages associated with large artificial reef units (French Mediterranean coast). ICES Journal of Marine Science 59, S208-S213

FOURRIER A., BARBAL M., 2009, Premières analyses des immersions de récifs artificiels en Languedoc-Roussillon, Cépralmar, Montpellier, 69 pages + annexes

LE GILLOU Alexandra, 2009. Etudes sur les récifs artificiels de la zone RAMOGE.

PICKERING Helen, WHITMARSH David, Artificial reefs and fisheries exploitation: a review of the attraction versus production debate, the influence of design and its significance for policy, Fisheries Research, Volume 31, Issues 1–2, July 1997, Pages 39-59

PARY B., Récifs artificiels en Languedoc-Roussillon : des outils originaux d'aménagement de la bande côtière, Conférence Agropolis Museum, 2004

PIOCH Sylvain, SAUSSOLA Philippe, KILFOYLEB Kirk, SPIELER Richard, Ecological design of marine construction for socio-economic benefits: Ecosystem integration of a pipeline in coral reef area, Procedia Environmental Sciences, Volume 9, 2011, Pages 148-152, ISSN 1878-0296

POLAK Omer, SHASHAR Nadav, Can a small artificial reef reduce diving pressure from a natural coral reef? Lessons learned from Eilat, Red Sea, Ocean & Coastal Management, Volume 55, January 2012, Pages 94-100, ISSN 0964-5691

SANTOS M.N., MONTEIRO C.C., LASSERRE G., 1996. Finfish attraction and fisheries enhancement on artificial reefs: a review. *In*: Jensen A.C. (ed). *European Artificial Reef Research*. Proceedings of the 1st EARRN Conference, Ancona, Italy, 97-114

STEELE Mark A., 1998, Effects of shelter and predators on reef fishes, Univ. of California, Los Angeles, 15 pages

TESSIER E., 2005, Dynamique des peuplements ichtyologiques associés aux récifs artificiels à l'île de La Réunion (ouest de l'Océan Indien) – Implication dans la gestion des pêcheries côtières, Univ. de La Réunion, 244 pages + annexes

TESSIER E., CHABANET P., POTHIN K., SORIA M., LASSERRE G., 2005. Visual censuses of tropical fish aggregations on artificial reefs: slate versus video recording devices. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol*. (315)1:17-30

TONON A., 2014, Implantation et suivi scientifique d'un pilote récif artificiel dans la Réserve Naturelle de Saint-Martin, Master pro. Univ. de La Rochelle, 18 pages + annexes

ZIMMERMAN T. L., MARTIN J. W., 2004, Artificial Reef Matrix Structures (ARMS) : an inexpensive and effective method for collecting coral reef-associated invertebrates, Gulf and Caribbean Research Vol. 16, pp. 59-64

Annexes :

1. Annexe 1 : Densités spécifiques brutes (nb. D'individus par espèce)

			Dates									
		Régime alimentaire	15/01/2014	06/02/2014	12/03/2014	08/04/2014	19/05/2014	18/06/2014	17/07/2014	31/07/2014	04/09/2014	08/10/2014
Acanthurus	bahianus	herbivore	0	0	3	3	4	4	6	11	9	11
Acanthurus	chirurgus	herbivore	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1
Acanthurus	coeruleus	herbivore	0	0	0	0	2	1	4	2	9	6
Apogon	sp.	carnivore primaire	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Aluterus	scriptus	carnivore primaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Astrophyton	muricatum	omnivore	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Astropyga	magnifica	herbivore	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0
Bothus	lunatus	piscivore	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Calamus	sp.	carnivore primaire	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Canthigaster	rostrata	carnivore primaire	0	0	0	1	2	2	5	3	3	3
Caranx	crysos	piscivore	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
Caranx	latus	piscivore	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Caranx	ruber	piscivore	0	0	0	0	9	0	39	25	9	14
Carpilius	corallinus	omnivore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Chaetodon	capistratus	carnivore primaire	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
Chaetodon	ocellatus	carnivore primaire	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Chaetodon	sedentarius	carnivore primaire	0	0	0	0	2	1	1	1	1	0
Charonia	variegata	carnivore primaire	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0
Chromis	multilineata	omnivore	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Chromis	cyanea	omnivore	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Ctenogobionellus	saepepallens	carnivore primaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Dardanus	venosus	omnivore	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Dasyatis	americana	carnivore secondaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Diadema	antillarum	herbivore	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Echinometra	viridis	herbivore	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Epinephelus	adscensionis	carnivore secondaire	0	0	0	0	1	1	3	2	2	2
Epinephelus	guttatus	carnivore secondaire	0	0	0	0	0	0	1	1	3	3
Eucidaris	tribuloides	herbivore	2	5	1	3	4	5	7	6	8	9
Gymnothorax	vicinus	piscivore	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0
Haemulon	aurolineatum	carnivore secondaire	0	0	0	0	60	40	112	219	590	723
Haemulon	sp.	carnivore secondaire	0	0	7	13	0	0	0	0	0	0
Halichoeres	bivittatus	carnivore primaire	0	0	0	0	6	9	10	19	9	16
Halichoeres	garnoti	carnivore secondaire	0	1	1	6	1	3	1	3	4	4
Halichoeres	poeyi	carnivore primaire	0	0	0	0	0	2	0	0	2	3
Halichoeres	maculipinna	carnivore primaire	0	0	0	0	0	0	4	0	0	2
Holacanthus	tricolor	carnivore primaire	0	0	0	0	1	1	1	1	2	3
Holacanthus	ciliaris	carnivore primaire	0	0	0	1	1	0	0	1	3	9
Holocentrus	adscensionis	carnivore secondaire	0	0	0	0	0	0	2	0	6	4
Holocentrus	rufus	carnivore secondaire	0	0	0	0	0	2	12	2	6	6
Holocentrus	sp.	carnivore secondaire	0	0	0	1	2	3	0	0	0	0
Lutjanus	synagris	piscivore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Lysmata	wurdemanni	omnivore	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Malacoctenus	sp.	carnivore primaire	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Meoma	ventricosa	omnivore	4	0	2	8	0	1	0	0	3	1
Mithrax	spinosissimus	omnivore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Mulloidichthys	martinicus	carnivore primaire	0	0	0	0	0	0	14	21	68	50
Myripristis	jacobus	carnivore secondaire	0	2	2	5	6	30	108	125	125	92
Mithrax	sp.	omnivore	0	0	0	0	0	0	3	1	0	2
Ocyurus	chrysurus	carnivore secondaire	0	0	0	1	1	0	0	0	1	11
Oreaster	reticulatus	omnivore	6	0	2	0	3	7	0	0	4	0
Paguristes	sp.	omnivore	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1
Panulirus	argus	carnivore secondaire	0	0	14	30	90	142	123	163	69	57
Pareques	acuminatus	carnivore secondaire	0	8	4	0	3	8	3	7	5	3
Periclimenes	pedersoni	carnivore primaire	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Pinna	carnea	omnivore	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Pomacanthus	paru	carnivore primaire	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Portunus	sp.	omnivore	0	0	0	1	2	3	0	1	2	4
Pseudupeneus	maculatus	carnivore secondaire	0	0	1	7	1	14	22	1	0	7
Sabellastarte	magnifica	omnivore	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Sargocentron	coruscum	carnivore secondaire	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0
Scarus	sp.	herbivore	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
Scarus	taeniopterus	herbivore	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Serranus	tabacarius	piscivore	0	0	0	0	0	0	1	5	4	3
Serranus	tigrinus	carnivore secondaire	0	0	0	0	0	1	3	1	8	6
Sparisoma	aurofrenatum	herbivore	0	0	0	0	0	2	8	0	3	2
Sparisoma	chrysopterum	herbivore	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0
Sparisoma	viride	herbivore	0	0	0	1	3	5	0	0	0	0
Stegastes	partitus	herbivore	0	0	1	3	2	2	2	4	0	2
Stegastes	variabilis	herbivore	0	0	0	0	0	0	2	2	1	1
Stenopus	hispidus	carnivore primaire	0	0	0	5	27	22	29	29	21	28
Stenorhynchus	seticornis	carnivore primaire	0	0	0	2	39	23	37	41	60	54
Strombus	costatus	herbivore	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1
Strombus	gigas	herbivore	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Synodus	intermedius	piscivore	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Thalassoma	bifasciatum	carnivore primaire	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4

2. Annexe 2 : Biomasses estimées brutes (grammes)

			15/01/2014	06/02/2014	12/03/2014	08/04/2014	19/05/2014	18/06/2014	17/07/2014	31/07/2014	04/09/2014	08/10/2014
Acanthurus	bahianus	herbivore	0,00	0,00	7,86	38,35	31,63	36,37	197,99	139,74	199,38	575,59
Acanthurus	chirurgus	herbivore	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	3,98	0,00	11,20	0,00	2,61
Acanthurus	coeruleus	herbivore	0,00	0,00	0,00	0,00	10,61	0,00	22,11	0,00	91,69	16,73
Aluterus	scriptus	carnivore primaire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	393,46
Bothus	lunatus	piscivore	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,16	0,00	0,00	0,00	0,00
Caranx	crysos	piscivore	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,88	212,64
Caranx	latus	piscivore	0,00	0,00	0,00	0,00	26,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caranx	ruber	piscivore	0,00	0,00	0,00	0,00	184,30	0,00	898,68	576,08	63,86	580,81
Dasyatis	americana	carnivore secondaire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16456,11
Epinephelus	adscensionis	carnivore secondaire	0,00	0,00	0,00	0,00	3,30	15,30	54,79	103,28	610,13	178,46
Epinephelus	guttatus	carnivore secondaire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	388,82	388,82	177,32	1436,30
Gymnothorax	vicinus	piscivore	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Haemulon	aurolineatum	carnivore secondaire	0,00	0,00	0,00	0,00	25,54	486,83	2967,83	4500,08	4511,03	29366,07
Haemulon	sp.	carnivore secondaire	0,00	0,00	2,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Halichoeres	bivittatus	carnivore primaire	0,00	0,00	0,00	0,00	30,68	153,91	107,11	144,33	274,84	158,70
Halichoeres	garnoti	carnivore secondaire	0,00	0,00	0,05	0,00	0,05	2,59	5,80	12,78	43,17	75,17
Halichoeres	maculipinna	carnivore primaire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,89	0,00	0,00	2,10
Halichoeres	poeyi	carnivore primaire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,56	0,00	0,00	2,97	23,55
Holacanthus	tricolor	carnivore primaire	0,00	0,00	0,00	0,00	2,25	30,86	30,86	0,25	82,22	113,70
Holacanthus	ciliaris	carnivore primaire	0,00	0,00	0,00	0,82	6,09	0,00	0,00	0,25	30,86	3,95
Holocentrus	adscensionis	carnivore secondaire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,18	0,00	93,67	22,48
Holocentrus	rufus	carnivore secondaire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,08	219,65	40,33	42,72	227,28
Holocentrus	sp.	carnivore secondaire	0,00	0,00	0,00	22,39	12,14	20,93	0,00	0,00	0,00	0,00
Lutjanus	synagris	piscivore	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2501,42
Mulloidichthys	martinicus	carnivore primaire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	541,45	946,49	20205,06	4750,51
Myripristis	jacobus	carnivore secondaire	0,00	191,30	191,30	241,86	36,96	1911,02	13453,79	9295,93	2635,15	5695,92
Ocyurus	chrysurus	carnivore secondaire	0,00	0,00	0,00	0,13	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	201,79
Panulirus	argus	carnivore secondaire	0,00	0,00	1043,01	4401,81	13205,43	98318,10	119586,40	140468,82	746,04	2461,59
Pomacanthus	paru	carnivore primaire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Pseudupeneus	maculatus	carnivore secondaire	0,00	0,00	21,39	80,96	1,12	263,46	893,62	21,39	0,00	561,18
Sargocentron	coruscum	carnivore secondaire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	103,32	0,00	0,00
Serranus	tigrinus	carnivore secondaire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,58	0,99	6,29	13,20
Sparisoma	aurofrenatum	herbivore	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,20	194,79	0,00	327,03	38,17
Sparisoma	chrysopterum	herbivore	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	210,76	0,00	0,00
Sparisoma	viride	herbivore	0,00	0,00	0,00	29,73	21,10	148,65	0,00	0,00	0,00	0,00