



UNIVERSITÉ  
DE MONTPELLIER

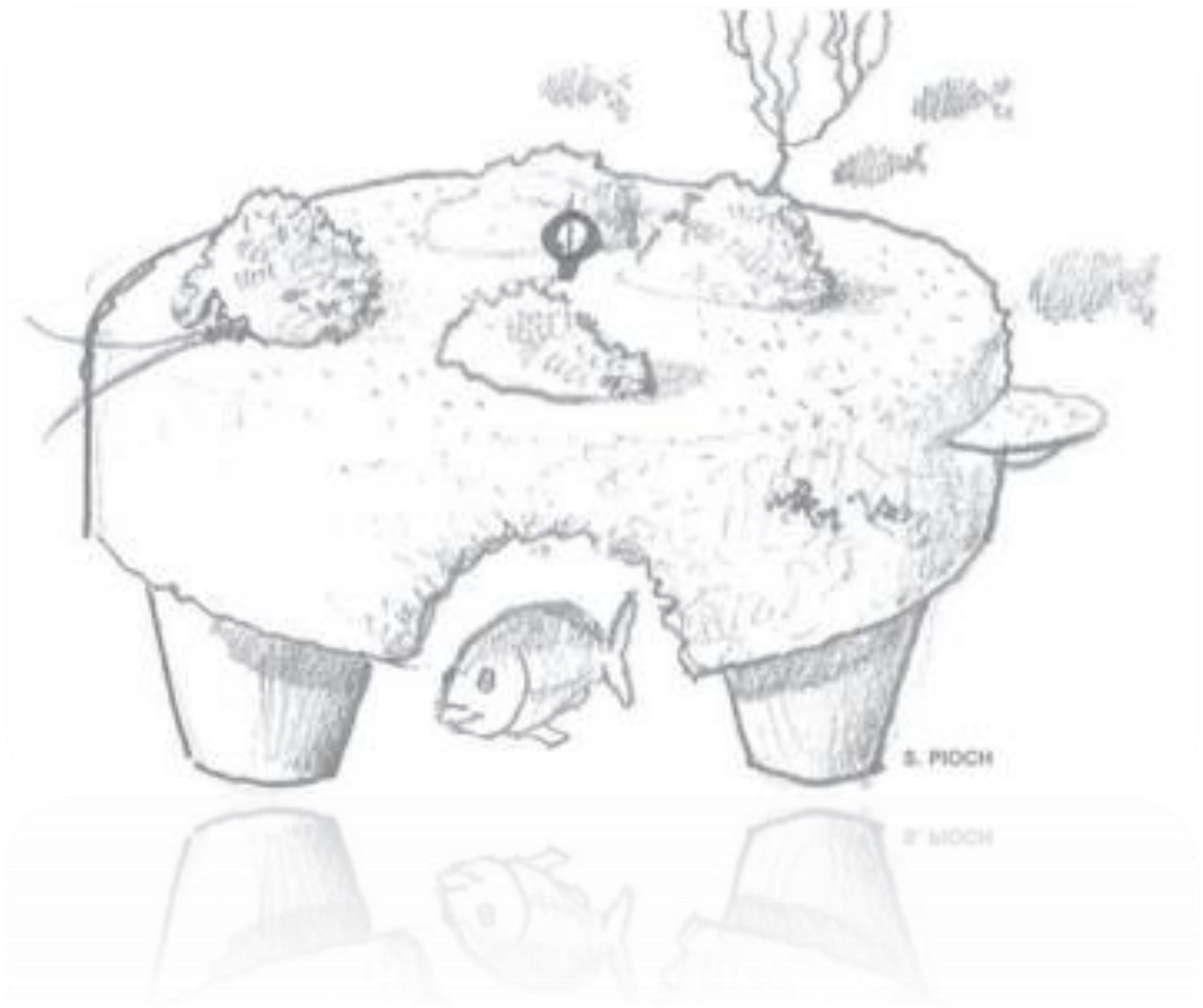


FACULTÉ DES SCIENCES  
DE MONTPELLIER

Faculté des sciences de l'université de Montpellier

Diplôme d'Université (DU) « Restauration écologique des petits fonds marins côtiers »  
2024

# Les mouillages éco-conçus en Guadeloupe : de la préservation à la restauration des milieux marins



Auteur :

Morel Alexis

Encadrant :

Boissery Pierre

## Remerciements

Je tiens en premier lieu à remercier Pierre Boissery pour avoir su me conseiller dans la rédaction de ce rapport et s'être rendu disponible pour répondre à mes questionnements.

Je tiens également à remercier Sylvain Pioch pour m'avoir partagé l'étude de suivi de 2020 relative à la ZMEL de Deshaies. Ce document m'a été d'une grande aide pour présenter des résultats et ainsi aboutir aux objectifs de mon rapport.

Enfin, je remercie toute l'équipe du DU Restauration écologique des petits fonds marins côtiers méditerranéens : Julie Deter, Philippe Lenfant, etc. pour les cours accordés au cours de la semaine de formation.

---

# Sommaire

Introduction .....	1
I- Objectifs .....	2
II- Contexte de l'étude .....	3
1) <i>Définition et objectifs d'une ZMEL</i> .....	3
2) <i>L'écoconception et son rôle dans les ouvrages maritimes</i> .....	4
3) <i>La restauration écologique : définition/concept</i> .....	5
III- Méthodologie .....	7
1) <i>Etat des lieux des principales ZMEL mises en place en Guadeloupe</i> .....	8
2) <i>Analyse des différents dispositifs de mouillage</i> .....	12
3) <i>Méthodologie de comparaison des dispositifs</i> .....	18
IV- Résultats .....	18
1) <i>Comparaison des dispositifs</i> .....	18
2) <i>Analyses et interprétation des résultats de suivis réalisés</i> .....	19
V- Discussion .....	25
Conclusion .....	26
Bibliographie .....	27
Résumé/Abstract .....	28
Annexes .....	29

---

# Liste des figures

Figure 1 : Fonctionnement d'ensemble d'une ZMEL <sup>[1]</sup>	3
Figure 2 : Méthodologie d'écoconception des projets <sup>[2]</sup>	5
Figure 3 : Les différentes actions possibles de l'Homme, en fonction de l'état de dégradation de l'écosystème <sup>[3]</sup>	6
Figure 4 : Cartographie des espaces naturels protégés et peuplements benthiques en Guadeloupe (Ifreco, Comité de la Guadeloupe)	7
Figure 5 : Localisation des sites de mouillage de la ZMEL de la Baie de Terre de Haut <sup>[4]</sup>	8
Figure 6 : Localisation des sites envisagés pour la création de la ZMEL (Carte réalisée sur le logiciel QGIS)	9
Figure 7 : Localisation du site envisagé pour la création de la ZMEL (Carte réalisée sur le logiciel QGIS)	10
Figure 8 : Plan d'aménagement de la zone de mouillages et d'équipements légers la baie de Deshaies (Caraïbe Aqua Conseil, 2014) <sup>[7]</sup>	11
Figure 9 : Configuration des fonds marins de la baie de Deshaies et de ses habitats <sup>[7]</sup>	11
Figure 10 : Vue générale de la bathymétrie de la baie de Deshaies <sup>[7]</sup>	12
Figure 11 : Schéma de principe d'un mouillage simple <sup>[4]</sup>	12
Figure 12 : Photo d'un des corps-morts mis en place dans la ZMEL <sup>[4]</sup>	13
Figure 13 : Schéma de principe des éco-mouillages envisagés <sup>[5]</sup>	14
Figure 14 : Schémas de principe des corps-morts envisagés <sup>[6]</sup>	15
Figure 15 : Représentations des ancres envisagées <sup>[6]</sup>	15
Figure 16 : Schéma des lignes de mouillage envisagées <sup>[6]</sup>	16
Figure 17 : Photo de coupelle de captage et type de montage préconisé (Pioch, 2013) <sup>[6]</sup>	16
Figure 18 : Schéma de la plaque en fibre ciment envisagée <sup>[6]</sup>	17
Figure 19 : Schéma de la jupe en PTFE installée autour des modules monos et double plateau <sup>[2]</sup>	18
Figure 20 : Localisation des corps morts et du massif corallien de la baie de Deshaies <sup>[7]</sup>	20
Figure 21 : Photographie d'un corps-mort après 5 ans d'immersion (S. Pioch, 2018) <sup>[2]</sup>	20
Figure 22 : Répartition des différentes classes de tailles des poissons sur l'ensemble des modules et sur le massif corallien adjacent en 2020 <sup>[7]</sup>	23
Figure 23 : Résultats de l'analyse des redondances, effectuée sur les données collectées en 2020 <sup>[7]</sup>	24

---

## Liste des tables

<i>Tableau 1 : Impacts et effets de préservation/restauration des mouillages sur les milieux marins</i>	18
<i>Tableau 2 : Répartition des juvéniles (&lt; 5 cm) entre les différents modules et le massif corallien adjacent en 2020 <sup>[7]</sup></i>	23
<i>Tableau 3 : Répartition des juvéniles (&lt; 5 cm) entre les différents modules et le massif corallien adjacent en 2017 <sup>[7]</sup></i>	23

---

## Introduction

Au niveau mondial un engouement croissant se développe pour les solutions fondées sur la nature (SFN), c'est-à-dire, d'après l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), « les actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les défis de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité». C'est dans ce cadre-là qu'est apparue la notion d'écoconception. Issue des solutions fondées sur la nature, il s'agit d'une des réponses pragmatiques et réalistes, techniquement et économiquement, pour réaliser des ouvrages à impacts réduits sur l'environnement, adaptés à chaque milieu et esthétiquement aux paysages sous-marins naturels<sup>[2]</sup>.

Face à la croissance du tourisme en Guadeloupe, les milieux naturels sont de plus en plus soumis aux diverses pressions anthropiques (*DEAL de Guadeloupe*). Les navires des plaisanciers notamment peuvent provoquer de sérieux dégâts sur les fonds marins côtiers (destruction des habitats par ancrages « sauvages », pollution aux hydrocarbures, etc.). Afin de pallier le problème du charriage des ancres, de nombreux projets de Zones de mouillage et d'équipements légers (ZMEL) ont vu le jour en Guadeloupe. Ces zones permettent de délimiter et aménager une aire d'accueil et de stationnement temporaires pour les navires et bateaux de caractère « légers »<sup>[1]</sup>.

Ce type de dispositif s'inscrit dans la démarche nationale de préservation des milieux naturels. En effet, en limitant les zones de mouillage avec des installations mobiles et relevables, les impacts sur les fonds marins sont amoindris<sup>[1]</sup>. De plus, l'écoconception s'est intégrée au fur et à mesure des années, afin de concevoir des mouillages durables et respectueux de l'environnement. Ces ouvrages pourraient également permettre sous certaines conditions de restaurer écologiquement le milieu marin.

Ce rapport présente alors des projets passés et futurs mis en place en Guadeloupe à divers endroits, et la façon dont ils peuvent contribuer à la préservation et la restauration des milieux côtiers, tout en se questionnant sur l'utilité et l'efficacité d'une telle démarche.

## I- Objectifs

La limite entre la préservation des milieux et la restauration écologique est plutôt étroite. La question étant : peut-on vraiment parler de restauration écologique dans le cadre de création de Zones de Mouillages et d'Equipements légers (ZMEL) avec des mouillages éco-conçus ?

Un des objectifs de ce rapport est alors d'essayer de définir ces concepts afin de mieux comprendre les enjeux propres à chacun. Il s'agit également d'essayer de montrer que l'écoconception est utile à la préservation des écosystèmes marins mais peut également contribuer à le restaurer dans le cas où des dégradations ont eu lieu, et lorsque les pressions anthropiques sont diminuées voir disparues.

Ce rapport permettra également de démontrer l'intérêt des ZMEL dans la préservation des fonds marins. Ces outils doivent être développés dans le futur, et les exemples présentés ici le prouvent bien.

Pour répondre à ces questionnements, il s'agira dans ce rapport de poser le contexte en premier lieu, à partir des définitions, objectifs des différents concepts dont le rapport fait objet : les ZMEL, l'écoconception et la restauration écologique. Cela permettra de faire comprendre au lecteur que certains des concepts sont étroitement liés. Les différents types de mouillages écologiques installés en Guadeloupe seront présentés et comparés afin de définir quel système est le plus efficace. Enfin, une étude de suivi sera présentée afin de pouvoir évaluer l'efficacité des dispositifs une fois installés en mer. Un regard critique sera apporté afin de juger de la pertinence d'un tel projet, en fonction du milieu dans lequel il est installé.

## II- Contexte de l'étude

### 1) Définition et objectifs d'une ZMEL

Selon le Guide Méthodologique du Ministère de la Transition écologique et solidaire <sup>[1]</sup>, une ZMEL est définie comme suit : « L'établissement d'une zone de mouillage et d'équipements légers (ZMEL) consiste à délimiter et aménager, sur le domaine public maritime (DPM) naturel, une aire d'accueil et de stationnement temporaires pour les navires et bateaux, avec des installations mobiles et relevables qui garantissent la réversibilité de l'affectation du site occupé. Cette opération vise à encadrer la pratique du mouillage, sur points de fixation ou sur ancres, dans des secteurs fréquentés par les plaisanciers et suffisamment abrités. Les ZMEL se distinguent des installations portuaires par le caractère « léger » des équipements qu'elles accueillent, mais également par les procédures applicables à leur création et leur gestion ».

D'un point de vue juridique, l'autorisation de mouillages situés hors port est accordée via une autorisation d'occupation temporaire individuelle (mouillages isolés) ou une convention dite ZMEL (mouillages groupés). Le caractère « léger » quant à lui implique un équipement qui doit permettre un retour à l'état naturel du site sur lequel il est implanté sans avoir recours à des techniques lourdes. Les ZMEL sont donc destinées à des embarcations suffisamment légères et doivent être aménagées avec « des ouvrages mobiles et relevables qui ont une emprise limitée sur le domaine public maritime naturel et qui n'entraînent pas de désordre trop important pour les écosystèmes ou pour l'intégrité du sol et du sous-sol de la mer ». Le fonctionnement général d'une ZMEL est donné ci-dessous :

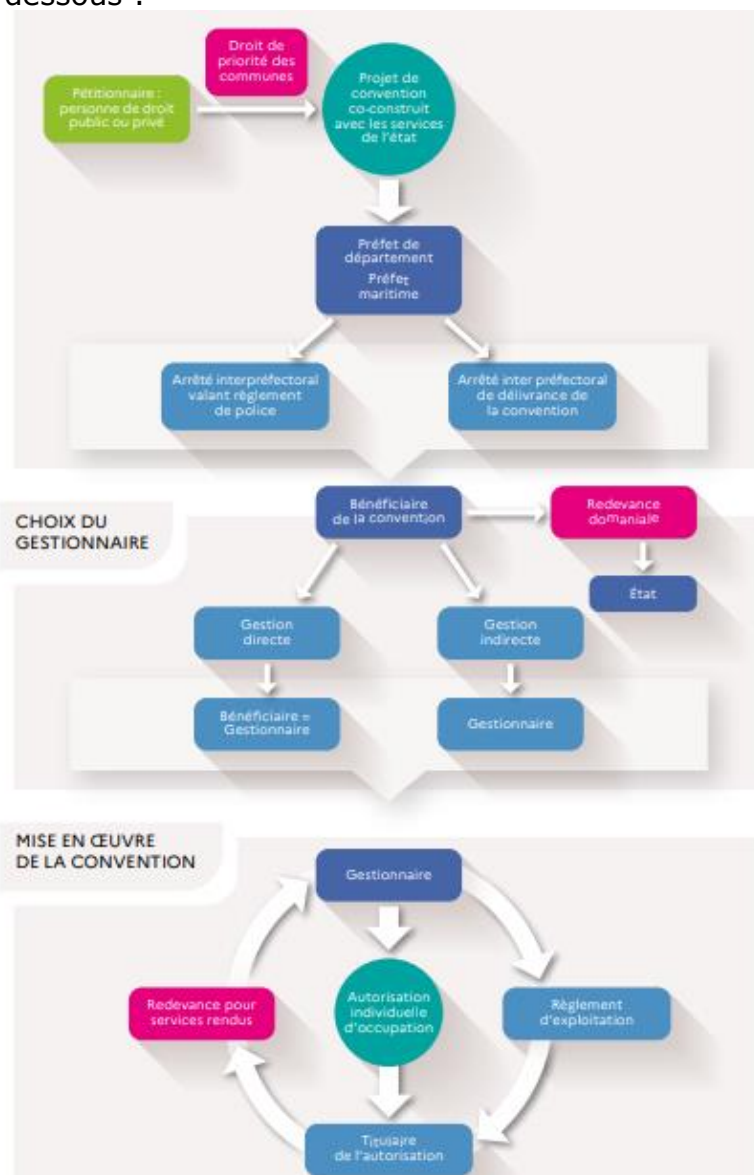


Figure 1 : Fonctionnement d'ensemble d'une ZMEL <sup>[1]</sup>



Ce dispositif, créé par la loi du 3 janvier 1986 relative à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral, et le décret du 22 octobre 1991 pris en application de cette loi, présente plusieurs objectifs :

- structurer l'accueil des plaisanciers et leur offrir des services adaptés au contexte et aux caractéristiques du bassin de navigation;
- mieux intégrer les enjeux environnementaux, en résorbant par exemple le nombre de mouillages dits « sauvages » qui occupent illégalement le DPM naturel;
- favoriser l'attractivité maritime de certains territoires à condition d'adopter une politique tarifaire et une stratégie de gestion appropriées.

## 2) L'écoconception et son rôle dans les ouvrages maritimes

En 2011, le syndicat des ingénieurs Syntec Ingénierie définissait l'écoconception comme étant « le fait de concevoir techniquement des projets en considérant également des préoccupations écologiques globales et locales » et comme « une approche pouvant s'appliquer à un grand nombre de secteurs, sans générer de surcoût à terme. »

Dans l'article *Ecoconception des ouvrages maritimes : de la théorie aux exemples appliqués* <sup>[2]</sup>, l'écoconception appliquée aux ouvrages maritimes correspond à « Concevoir des projets d'aménagements maritimes durables avec des fonctions techniques et écologiques précises/spécifiques (évaluables, quantifiables et exigibles), donc adaptées à chaque site ou type de projet demandé, qui génèrent des cobénéfices socio-écosystémiques, sans générer de surcoût à terme ». Un ouvrage écoconçu sera donc un ouvrage dont les formes et les objectifs de conservation des espèces sont bio-inspirés par le milieu naturel où il prendra place (notion de biomimétisme).

Les ouvrages maritimes écoconçus peuvent être du type :

- Brise-lames
- Digue, jetée ou môle
- Epis
- Ponton lourd brise-clapot
- Ancrage, lests
- Récif artificiel
- Canalisation et émissaires en mer
- Appontement
- Quai caisson
- Ponton

Ce rapport présentera essentiellement les ancrages et les récifs artificiels, lesquels sont les ouvrages les plus utilisés en Guadeloupe dans les ZMEL.

Lors de la réalisation d'un projet, l'écoconception s'inscrit dans la démarche *Eviter, réduire, compenser*, comme présenté dans la figure suivante :

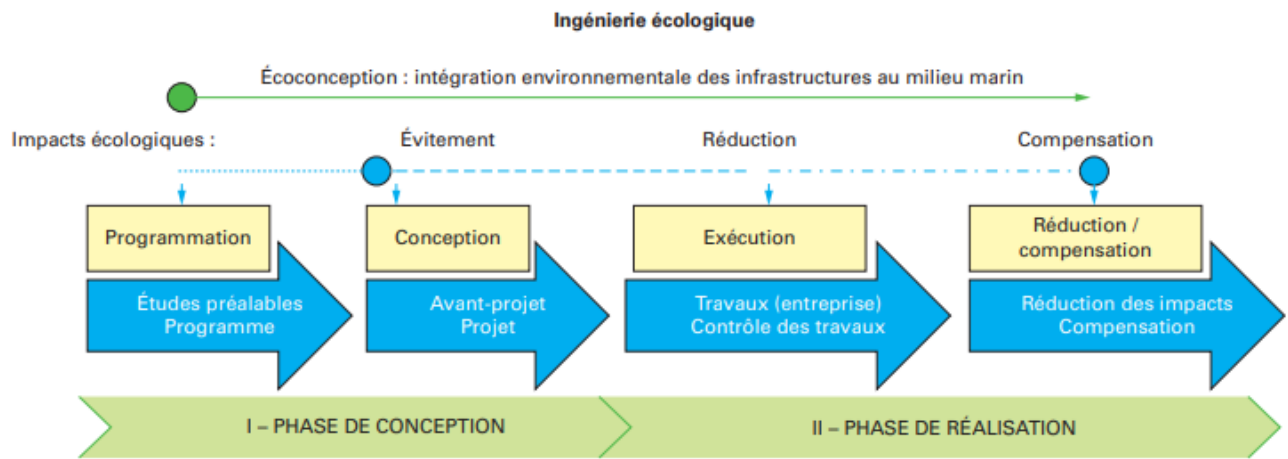


Figure 2 : Méthodologie d'écoconception des projets [2]

L'écoconception est alors développée dès les études préalables puis lors de la phase de la conception du projet de la maîtrise d'œuvre. L'ingénierie écologique quant à elle désigne le « processus d'assistance à la régénération d'un écosystème endommagé par des interventions dirigées par l'Homme. Manipulation et usage d'organismes vivants ou d'autres matériels d'origine biologique, voire de l'eau et de la terre, pour résoudre des problèmes socio-économiques. Comme dans toute activité d'ingénierie, une attention toute particulière est apportée à l'efficacité du travail réalisé, en termes économiques. » [3].

### 3) La restauration écologique : définition/concept

D'après le document *Restauration écologique des nurseries des petits fonds côtiers de Méditerranée – Orientations et principes* [3], la restauration écologique est définie comme une « Action directe de l'Homme sur l'habitat marin, la faune ou la flore permettant d'améliorer leur état, dans une zone côtière où la qualité de l'eau est bonne et où les pressions à l'origine de la dégradation ont disparu ou sont maîtrisées ». L'objectif est donc d'améliorer voire retrouver un bon état écologique via le fait de favoriser ou réintégrer des fonctions essentielles de l'écosystème. Les activités économiques qui y sont liées doivent quant à elles être maintenues et soutenues. La restauration écologique agit en complément des mesures de protection et de conservation préexistantes.

La gestion associée à la restauration écologique dépendra de l'état de l'écosystème à un temps donné, comme il est possible de le voir ci-dessous :

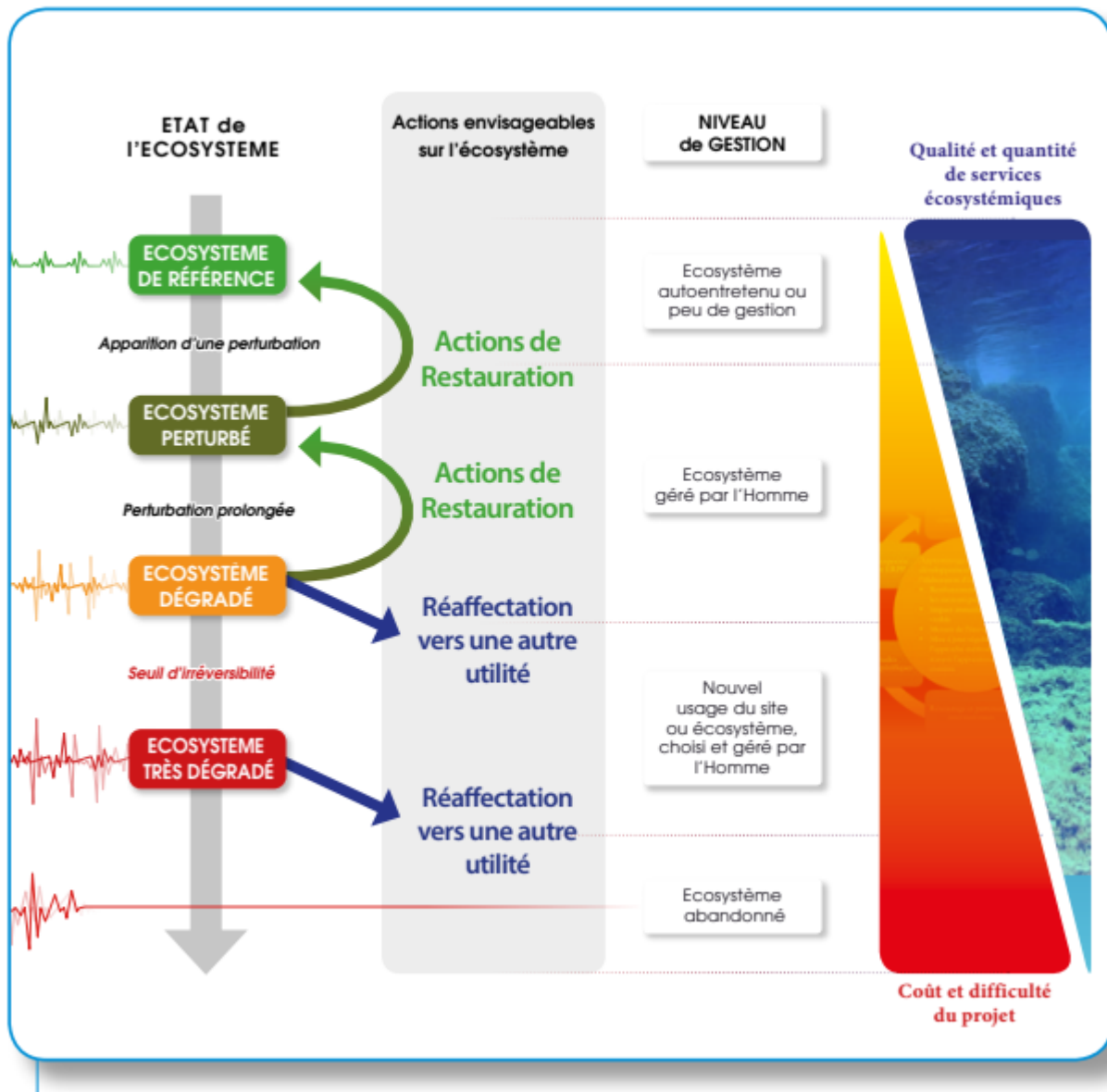


Figure 3 : Les différentes actions possibles de l'Homme, en fonction de l'état de dégradation de l'écosystème [3]

Il y a donc tout intérêt à mettre en place des actions de restauration sur des écosystèmes peu dégradés et gérés.

En conclusion de cette seconde partie, la notion d'écoconception est donc différente de celle de la restauration écologique. En effet, la première s'inscrit dans une démarche de compensation servant à contrebalancer une dégradation en cours ou à venir, tandis que l'autre permet d'améliorer l'état de l'écosystème, en retrouvant certaines des fonctions perdues une fois les pressions maîtrisées, à l'endroit même où la dégradation a eu lieu. L'écoconception prend donc en compte le fait que le milieu sera d'une manière ou une autre dégradé, tandis que la restauration implique une disparition partielle ou totale des pressions.

### III- Méthodologie

Afin d'assurer la gestion des navires des plaisanciers et les potentiels dégradations telles que les ancrages sauvages, les pollutions (déchets, déversements d'hydrocarbures, etc.), il a été décidé de mettre en place des ZMEL sur des sites touristiques. Ces zones permettent également d'accroître l'attractivité d'un site envers les touristes, en y disposant des installations diverses. L'objectif étant de préserver la riche biodiversité présente en Guadeloupe, et d'aller dans le sens des efforts de protection (Aires Marines Protégées par exemple), comme il est possible de le voir sur la figure suivante :

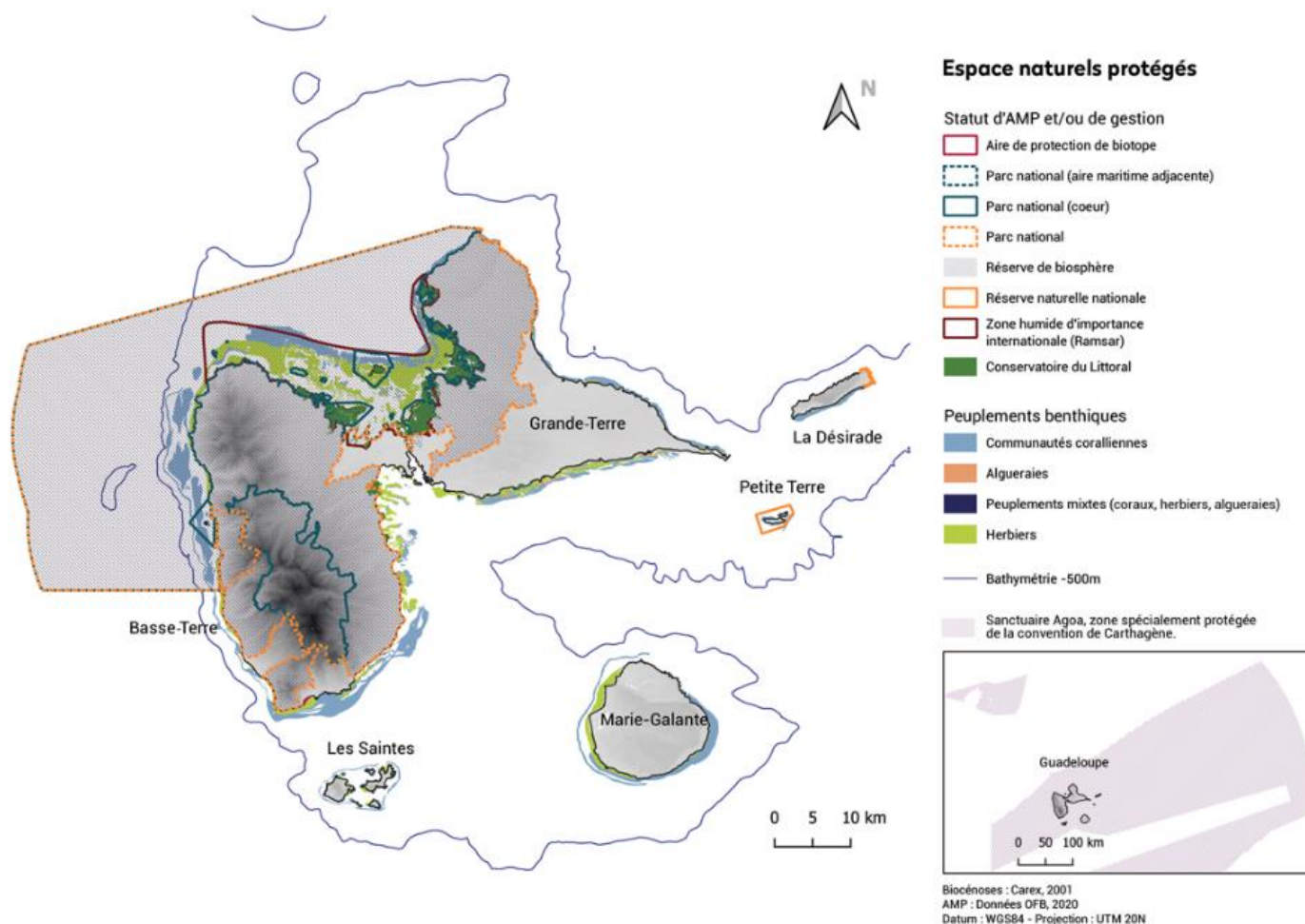


Figure 4 : Cartographie des espaces naturels protégés et peuplements benthiques en Guadeloupe (Ifreco, Comité de la Guadeloupe)

Comme le montre la figure 4, une grande partie des côtes est occupée par des communautés coralliennes, ainsi que des herbiers. Etant tous deux de grands réservoirs de biodiversité, il est important de les préserver.

## 1) Etat des lieux des principales ZMEL mises en place en Guadeloupe

De nombreuses ZMEL ont vu le jour ces dernières années en Guadeloupe, ainsi que des projets.

### ZMEL de la Baie de Terre de Haut :

Cette ZMEL présentait en 2020 l'une des plus grandes surfaces avec 80 mouillages répartis sur 4 sites comme il est possible de le voir sur la figure suivante :

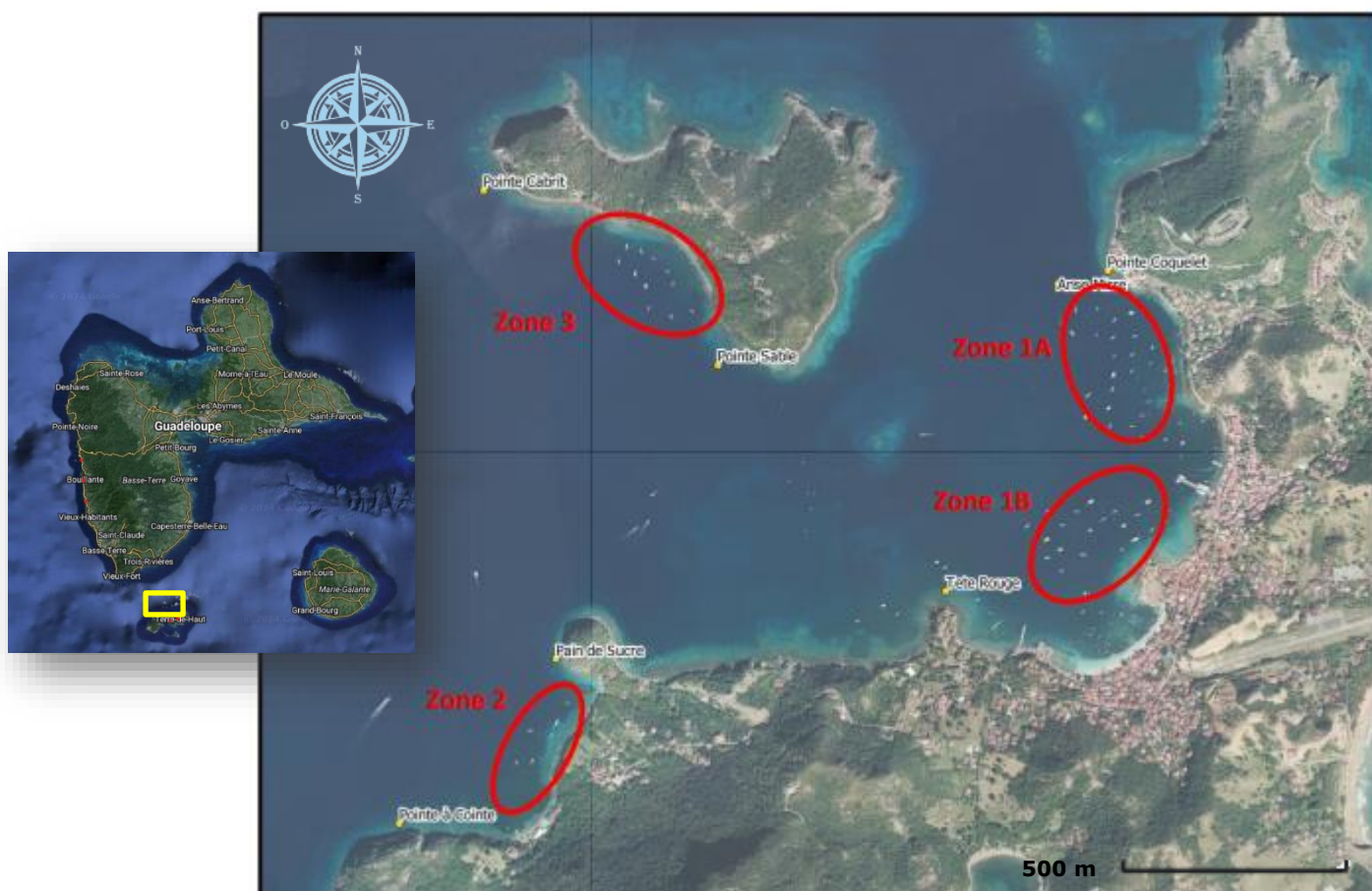


Figure 5 : Localisation des sites de mouillage de la ZMEL de la Baie de Terre de Haut <sup>[4]</sup>

La ZMEL a fait l'objet en 2022 d'une analyse environnementale <sup>[4]</sup> afin de renouveler l'AOT et installer de nouveaux mouillages pour l'agrandir. Les mouillages, en prenant en compte les nouveaux, sont répartis de la façon suivante :

- Zone 1A : 33 mouillages
- Zone 1B : 31 mouillages
- Zone 2 : 18 mouillages
- Zone 3 : 17 mouillages

Le tout pour une surface d'environ 22ha (calcul sur logiciel QGIS). Les mouillages sont destinés pour cette ZMEL à des bateaux d'une longueur pouvant aller de 12 à 21 mètres.



Projet d'une ZMEL au large de la commune de Bouillante :

Ce projet de ZMEL d'une surface totale d'environ 16,8 ha consiste en l'aménagement de 95 postes d'amarrage avec éco-ancrages sur 3 sites : l'Anse à la Barque (30 mouillages), la Baie du Bourg de Bouillante (25 mouillages) et la Baie de Malendure (40 mouillages). La localisation des sites est donnée ci-dessous :

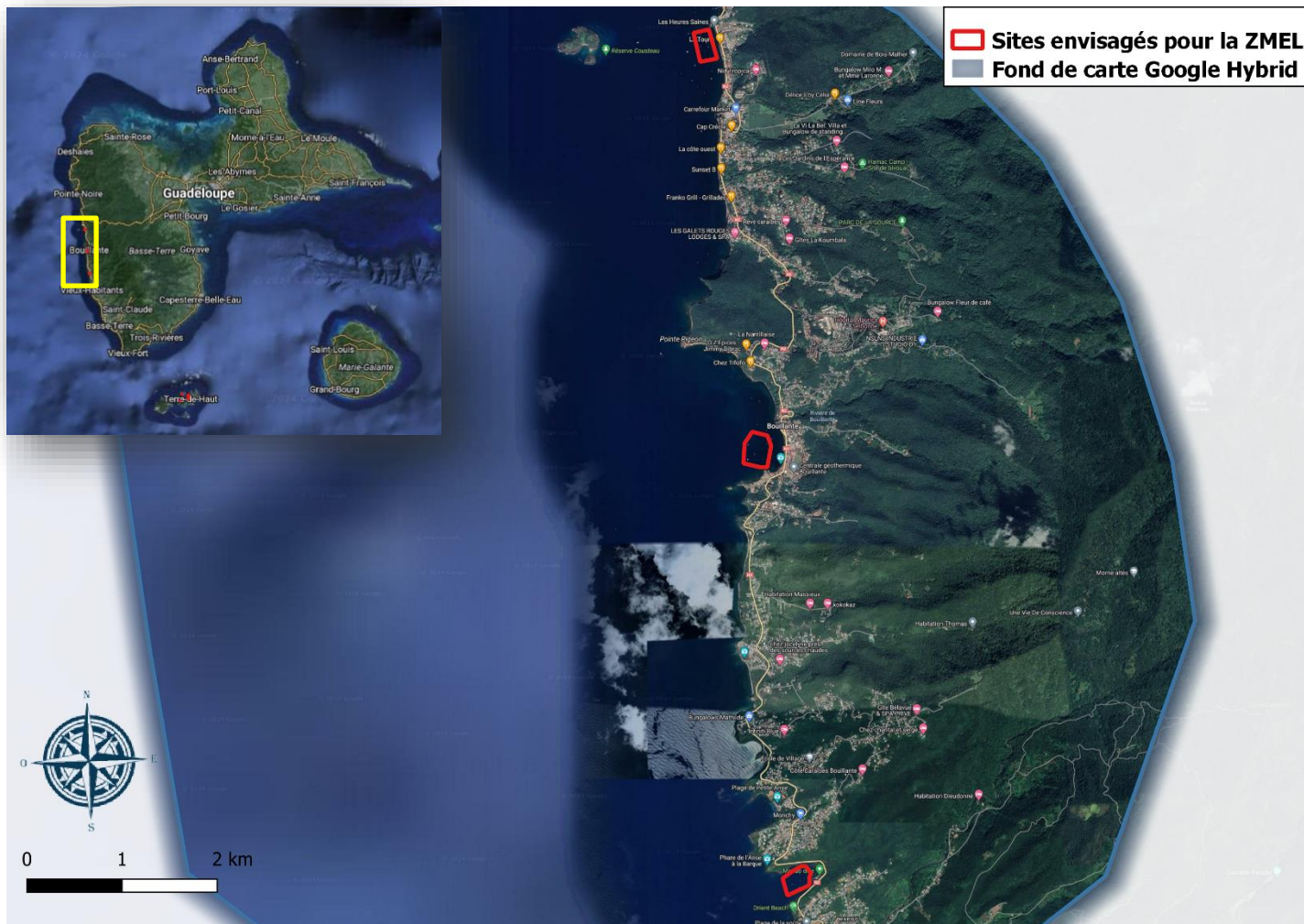


Figure 6 : Localisation des sites envisagés pour la création de la ZMEL (Carte réalisée sur le logiciel QGIS)

Le projet, qui a fait l'objet d'une étude d'impact valant dossier d'incidence au titre de la loi sur l'eau en 2019 [5], est destiné à accueillir des navires de « moyenne plaisance » de taille comprise entre 10 et 15 mètres de long.

A ce jour cependant, il n'y a pas d'information quant à la validité du projet et le démarrage des travaux.

Projet d'une ZMEL au large de la ville du Gosier :

Il est prévu pour cette ZMEL l'installation de 87 mouillages pour voiliers et bateaux à moteurs sur 4 zones réparties de la façon suivante :

- Zone 1 : 20 mouillages pour bateaux de 7m
- Zone 2 : 32 mouillages pour bateaux de 12m
- Zone 3 : 34 mouillages pour bateaux de 20m
- Zone 4 : 1 mouillage pour bateau de 30m



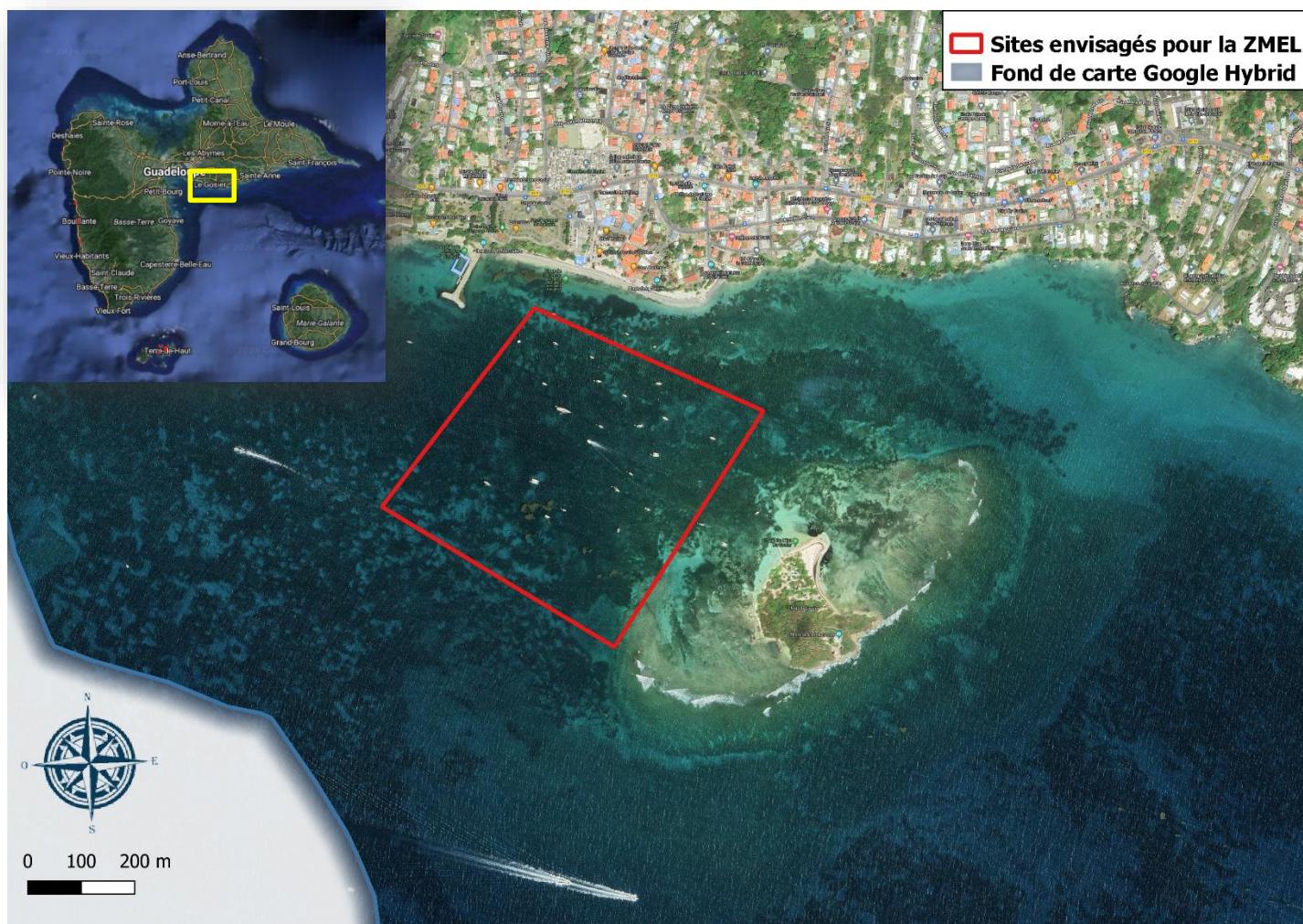


Figure 7 : Localisation du site envisagé pour la création de la ZMEL (Carte réalisée sur le logiciel QGIS)

Ce projet a fait l'objet d'une analyse environnementale par Suez Consulting en 2022 <sup>[6]</sup>, cependant il n'y a pas d'information quant à la validité du projet et le démarrage des travaux d'installation.

### ZMEL de la Baie de Deshaies :

Dans l'article *Ecoconception des ouvrages maritimes : de la théorie aux exemples appliqués* <sup>[2]</sup>, il est mentionné la mise en place d'une ZMEL de 5 ha au large de la commune de Deshaies en 2013. Sur les conseils de la SEMSAMAR, la commune a opté pour l'introduction d'un volet écoconception pour les corps-morts, afin de préserver les fonds coralliens et d'offrir des abris aux juvéniles contre le poisson lion (*Pterois Volitans*) qui est une espèce prédatrice envahissante présente dans les Caraïbes depuis les années 1990. Les mouillages de cette ZMEL, au nombre de 37 et installés en juin 2014, sont visibles sur la carte ci-dessous :



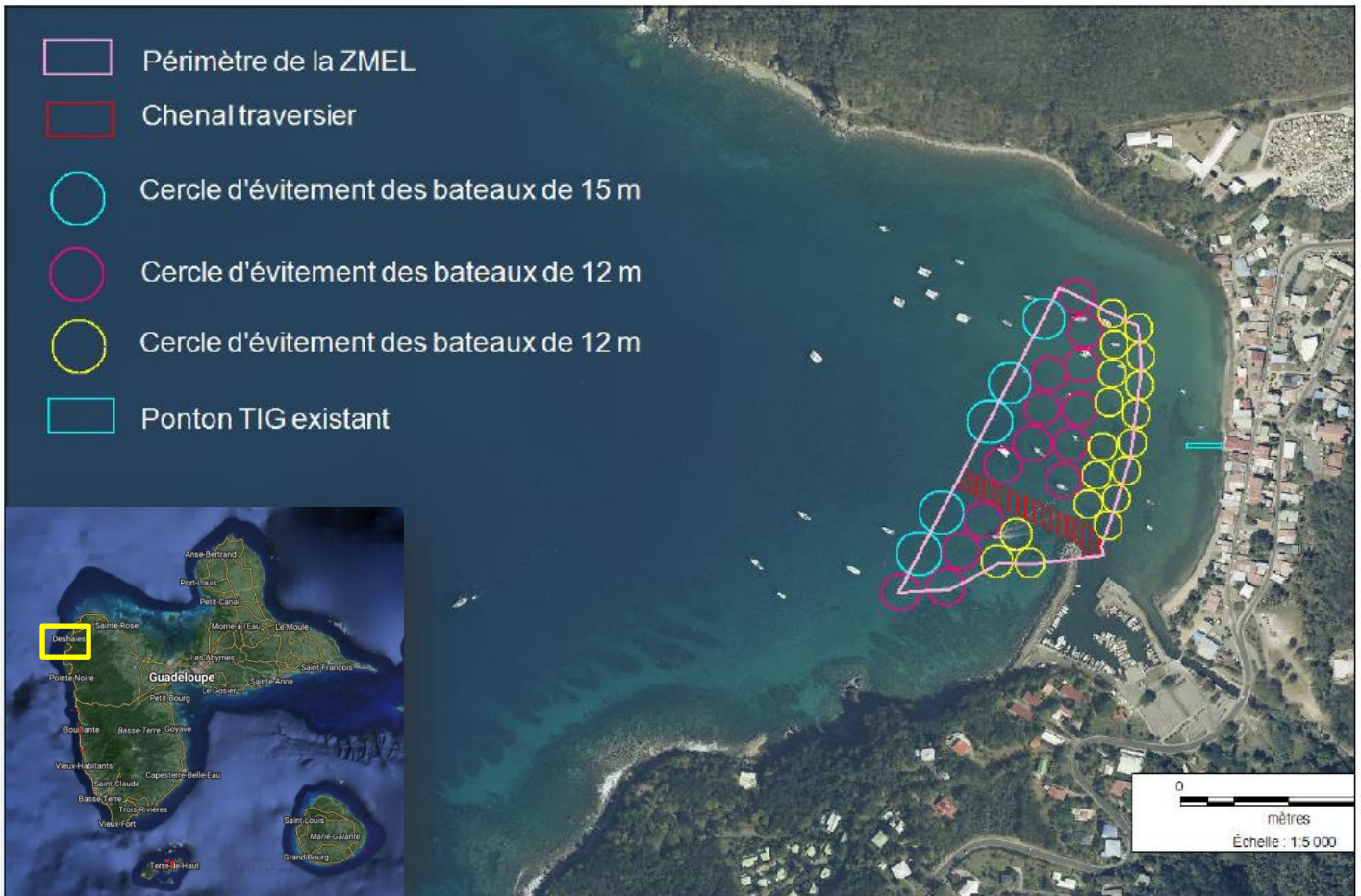


Figure 8 : Plan d'aménagement de la zone de mouillages et d'équipements légers la baie de Deshaies (Caraïbe Aqua Conseil, 2014) [7]

Cette ZMEL est destinée à des navires de « moyenne plaisance » d'une taille allant de 12 à 15 m. Au vu de l'importante biodiversité présente et des éco-mouillages qui ont été installés, la ZMEL a fait l'objet de suivis environnementaux en 2017 et 2020 (suivis benthiques et ichtyologiques) [7]. La nature des fonds de cette baie est visible sur la figure suivante :

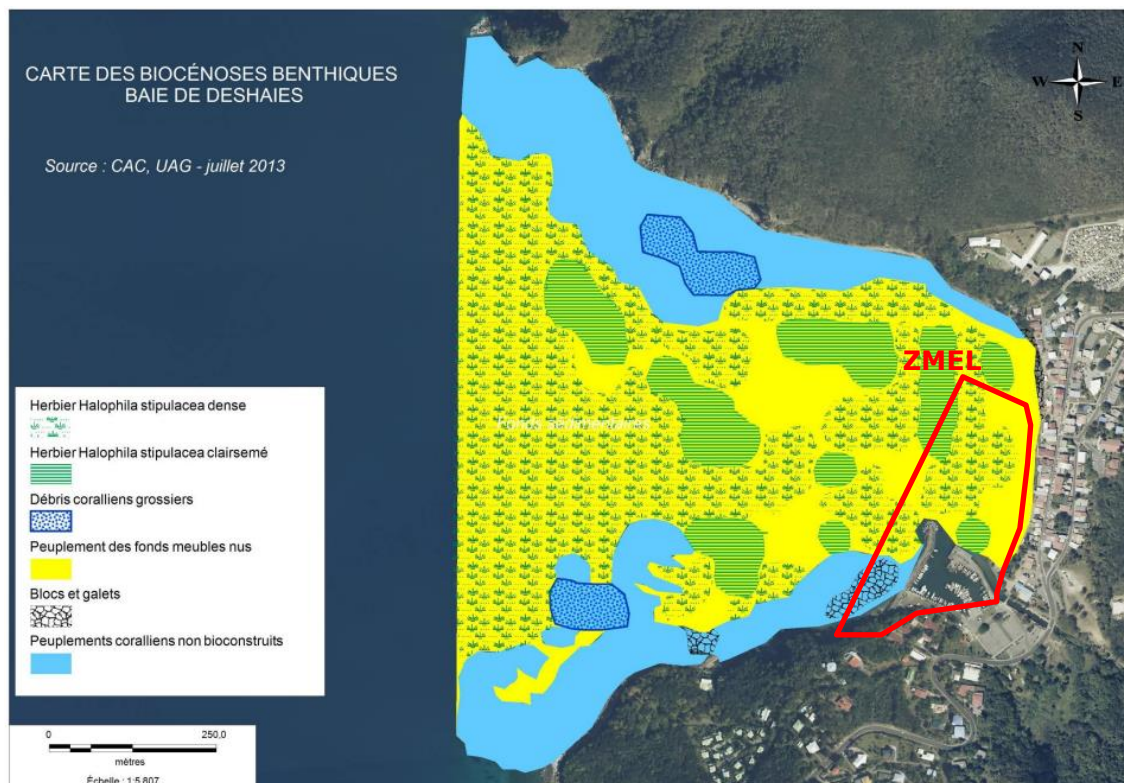


Figure 9 : Configuration des fonds marins de la baie de Deshaies et de ses habitats [7]



D'après la Figure 9, la majorité des fonds de la baie sont donc constitués de fonds meubles nus agrémentés d'herbiers et de peuplements coralliens non bioconstruits. Les mouillages ont donc été installés majoritairement sur la première catégorie de fond. La Figure 10 quant à elle montre que la plupart des mouillages se situent à une profondeur comprise entre 3 et 7 mètres.

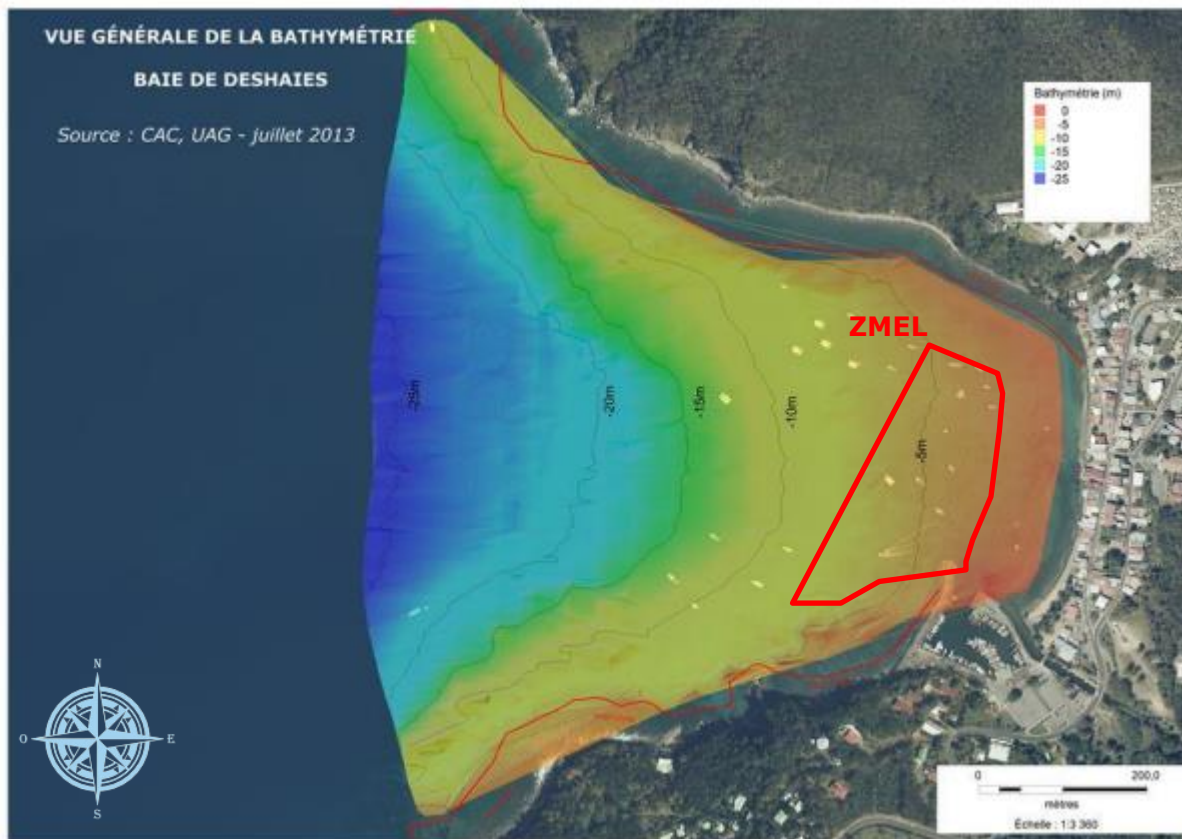


Figure 10 : Vue générale de la bathymétrie de la baie de Deshaies [7]

## 2) Analyse des différents dispositifs de mouillage

### ZMEL de la Baie de Terre de Haut :

Pour cette ZMEL, il a été choisi d'installer des mouillages simples constitués d'une ligne de mouillage disposant d'un unique point d'ancrage au fond :

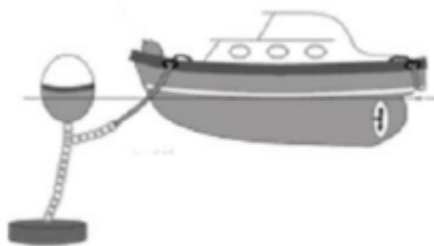
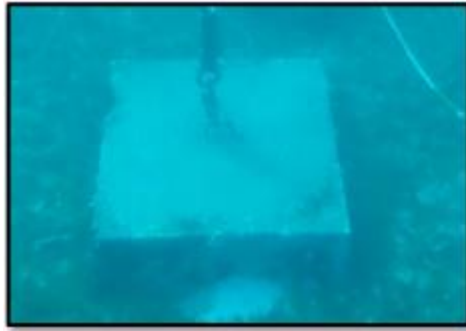


Figure 11 : Schéma de principe d'un mouillage simple [4]

L'ancrage quant à lui est un corps-mort de forme carré en béton qui a été conçu en fonction de la taille et du poids du bateau, ainsi que les conditions environnementales et les efforts appliqués (vent, houle, bathymétrie, nature des fonds, caractéristiques techniques de la ligne de mouillage, etc.). Les corps-morts sont équipés d'une cigale en acier doux et ont été incorporés d'une nappe de treillis soudé (armature en métal). La ligne de mouillage est composée d'un câble DELTEX avec une bouée intermédiaire (mouillage type semi-tendu) et une bouée de surface.



*Figure 12 : Photo d'un des corps-morts mis en place dans la ZMEL [4]*

Comme il est possible de le constater sur la Figure 12, ce type de mouillage n'est pas propice à la colonisation par les différentes espèces marines. Il pourrait être judicieux d'améliorer le système existant afin de mettre en place des solutions de restauration si nécessaire. Ils n'impactent cependant pas ou peu le milieu, hormis lors de leur installation. Néanmoins, au vu de l'imagerie satellite, les fonds ne semblent pas être occupés par des coraux ou herbiers. Ainsi le projet est cohérent avec la nature des fonds qui resteront inchangés.

#### Projet d'une ZMEL au large de la commune de Bouillante :

D'après l'étude d'impact, les systèmes de mouillage envisagés pour cette ZMEL seront formés de [5] :

- Corps-mort multi matériaux : un corps mort inférieur de 7.3 T en contact avec le sol comprenant des réservations diverses surmonté d'une dalle architecturée et cerclée d'une jupe en matériau PEHD (polyéthylène haute densité)
- Ligne d'amarrage : chaînes en acier galvanisé à chaud, manilles, émerillons, nylon, bouée intermédiaire et bouée d'amarrage
- Add-on éco-conçus pour des espèces cibles (faune/flore) :
  - Sur le corps-mort : jupe mangrove, plaque sommitale, amas de pierres fixés sur la plaque sommitale, réservations de différents diamètres suivant la profondeur de mise en œuvre, mise en œuvre d'un cerclage muni de tige sur la plaque sommitale.
  - La surface de l'ouvrage est travaillée de manière à obtenir une rugosité de peau permettant la fixation d'organismes colonisateurs.
  - Sur la ligne d'amarrage : Tiges en PTFE (polytétrafluoroéthylène) dans les épissures au-dessus de la bouée d'intermédiaire et des écheveaux ou pelotes suspendus sous la bouée d'amarrage.

La représentation schématique des corps-morts est donnée dans la figure suivante :

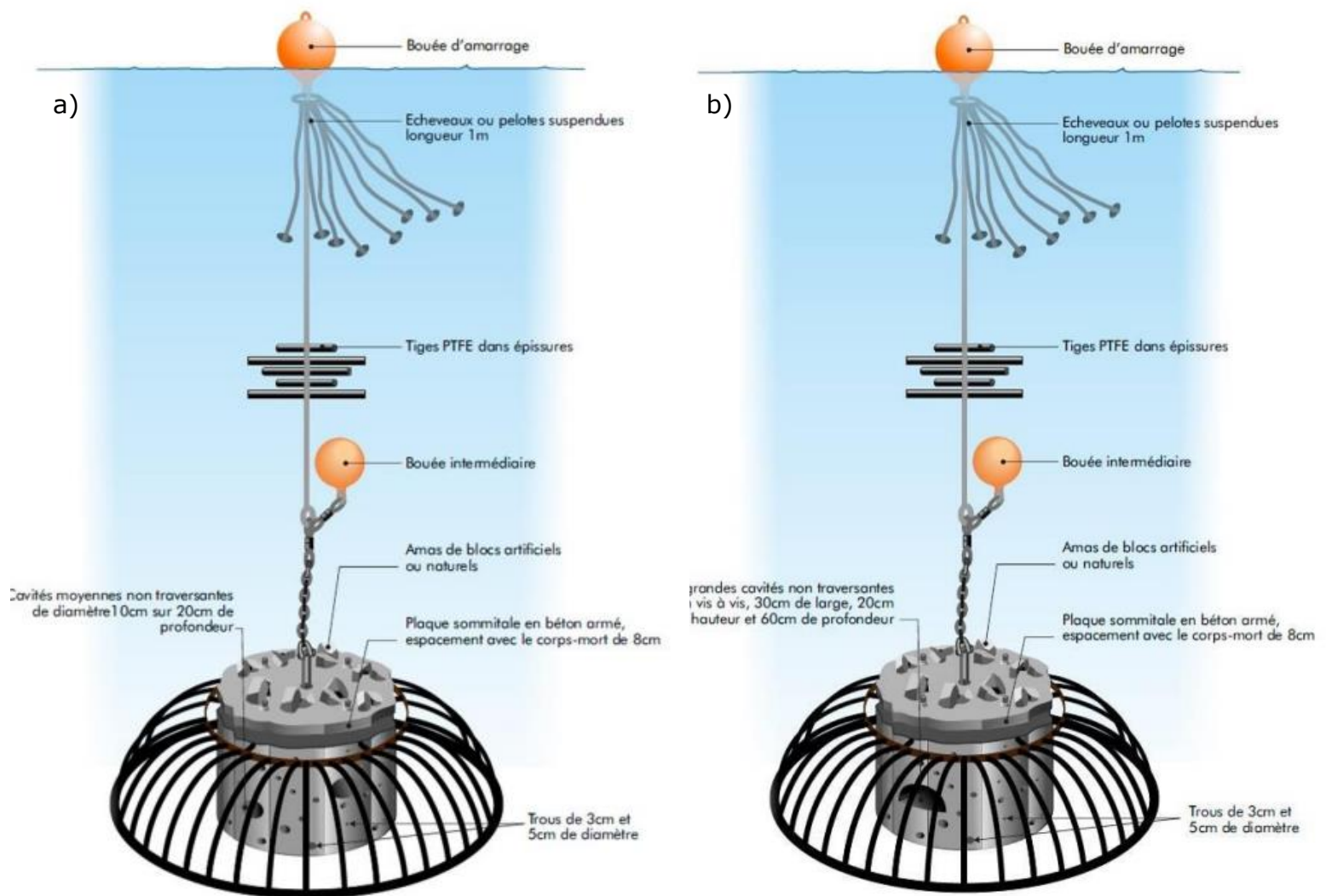


Figure 13 : Schéma de principe des éco-mouillages envisagés : a) dispositif destiné à des fonds inférieurs à 8 m ; b) dispositif destiné à des fonds supérieurs à 8 m [5]

Il est donc prévu d'adapter les cavités présentes sur les corps-morts en fonction de la profondeur à laquelle ils sont destinés (et donc les espèces visées). Les tiges en PTFE posent cependant la question de contamination des milieux par dégradation de la matière dans l'eau. De plus, la plus grande surface des fonds de ces trois sites est occupée, soit par des fonds de sable nus, très pauvres, soit par des herbiers de la Phanérogame marine invasive (*Halophila stipulacea*). En installant des corps-morts de type rocheux, cela pose également la question de la modification en partie de la nature du fond et de l'intérêt de la démarche, voire les conséquences écologiques que cela peut impliquer.

Le projet ne recense pas d'incidences sur le milieu physique et naturel. De même pour la phase travaux qui n'impactera pas ou peu les milieux, étant donné qu'il est prévu de poser les corps morts directement sur le fond grâce à un bateau grue.

Selon l'étude d'impact, l'objectif de ces corps-morts est alors d'atténuer les dégradations passées (mouillages forains, surexploitation des ressources, pollutions anthropiques, etc.) et contribuer à « améliorer » la biodiversité.

#### Projet d'une ZMEL au large de la ville du Gosier :

Il est prévu de réaliser des corps-morts écoconçus dont les dimensions seront adaptées au type de navire avec des réservations de surface de profondeur 2 cm et de diamètre 5 cm aléatoirement sur toute la surface. Des réservations transversales seront également créées, soit petites (diamètre de 6 cm), soit grandes en forme de demi-lune avec un rayon de 25 cm. Ces dernières pourront servir de refuges pour les juvéniles de poisson ou pré-adultes d'espèces de petites tailles, benthiques et cryptiques ainsi que potentiellement des jeunes langoustes [6].

Ces réservations sont visibles sur les vues schématiques suivantes :

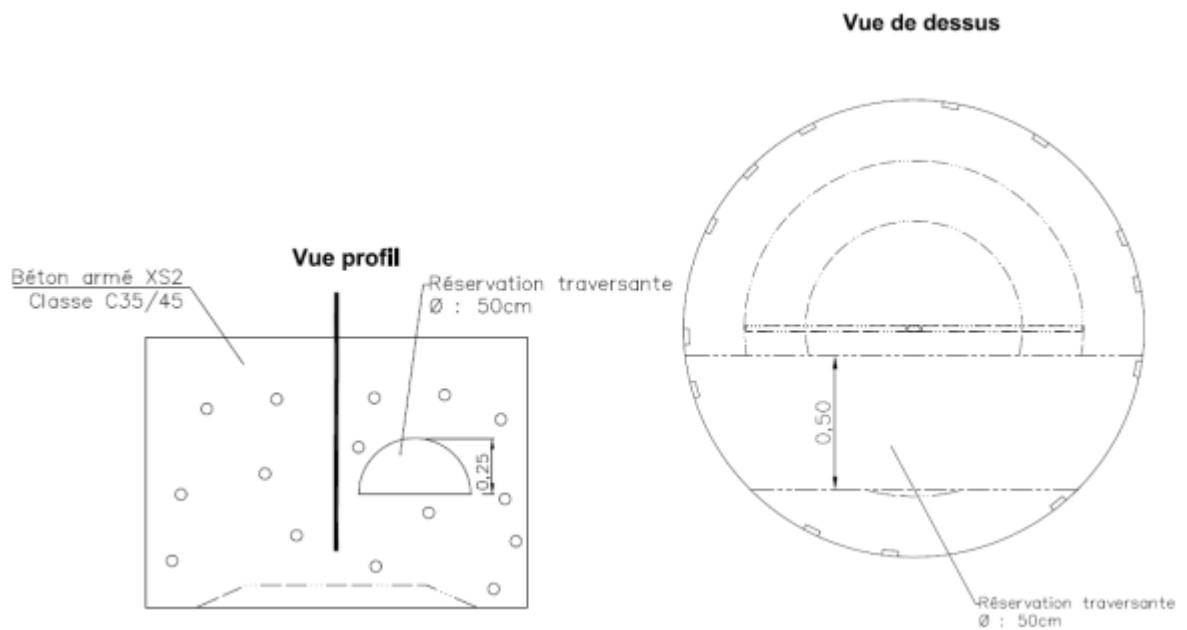


Figure 14 : Schémas de principe des corps-morts envisagés [6]

Afin d'ancrer le corps-mort, il est prévu de mettre en place des ancrs à vis constitués d'une tige rigide droite avec un ou plusieurs disques pour les fonds sableux ou d'une tige rigide en spirales (type Harmony) comme sur la figure ci-dessous :



Figure 15 : Représentations des ancrs envisagés [6]

Les lignes de mouillage seront quant à elles dotées de chaîne en acier raccordées à un flotteur, de la manière suivante :

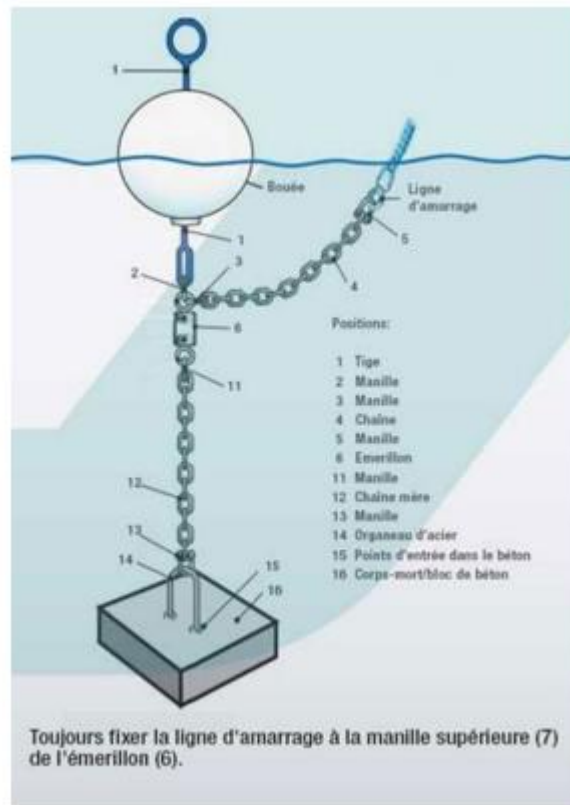


Figure 16 : Schéma des lignes de mouillage envisagées [6]

Ce type de chaîne pose cependant la question de la libération d'ions métalliques dans le milieu, ce qui pourrait occasionner des pollutions.

Des add-on pourront également être mis en place sur les lignes de mouillage, tels que des coupelles « Guada-cup ». Ce dispositif est une coupelle semi-souple en forme d'assiette permettant de capturer des larves (utilisées à Arcachon pour les larves d'huîtres notamment) en plastique ou fibre de ciment. Les coupelles envisagées pour ces lignes de mouillages pourraient présenter un diamètre d'environ 25 cm, une épaisseur allant de 2 à 4 mm et seraient fixées autour de la chaîne en dessous de la bouée intermédiaire. Au nombre de 20 par ligne, elles pourront servir d'habitats intermédiaires pour les juvéniles de poissons, et à fixer une faune et une flore permettant de développer la fonction nourricière, complétée par les surfaces rugueuses des corps morts écoconçus. Le plastique qui serait utilisé est néanmoins à nouveau une potentielle source de pollution. Cette coupelle se présente de la façon suivante :



Figure 17 : Photo de coupelle de captage et type de montage préconisé (Pioch. 2013) [6]

Il est également envisagé pour les corps-morts d'installer des plaques faitières en fibre ciment ou acier non galvanisé (type tôle de toiture). Cela pourrait permettre de « recréer des habitats pour les jeunes langoustes et les espèces coralliennes locales benthiques aux stades juvénile ou pré-adulte (lutjanidés, perroquets, pomacentridae, etc.) » [6]. Ces tôles seraient au préalable nettoyées de toute peinture ou éléments toxiques éventuels tels que détergent, graisses, huiles ou peintures. Il est prévu de les concevoir avec le même diamètre que les corps-morts et les fixer à 8 cm au-dessus de ces derniers, tel que sur la figure suivante :



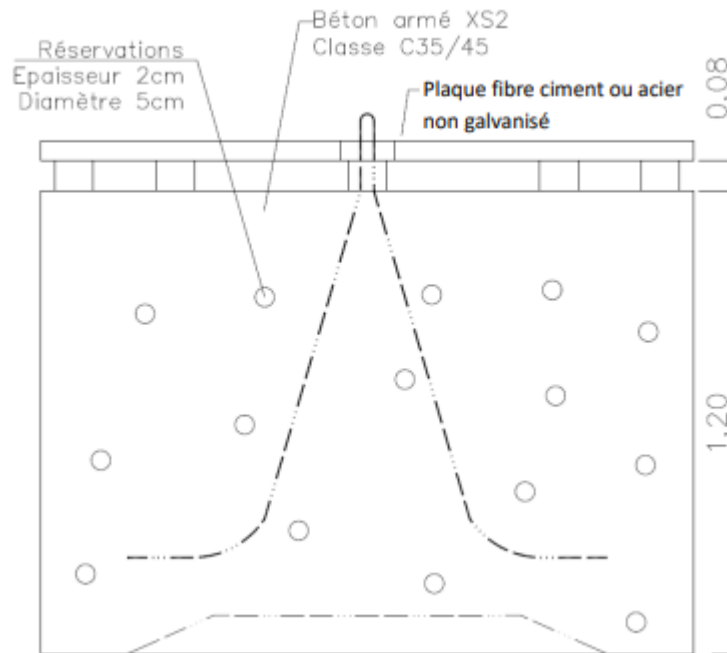


Figure 18 : Schéma de la plaque en fibre ciment envisagée [6]

Un autre add-on possible est la mise en place de blocs de basalte (ou autres roches locales microporeuses) par-dessus les corps-morts qui n'auront pas de plaque en fibre ciment. Ce type de dispositif permet de faciliter la fixation de nouveaux organismes grâce aux aspérités présentes sur les roches, et assurer une meilleure intégration paysagère au site. Cependant, il est prévu de les fixer via une colle ou un induit. Il est donc indispensable que la technique envisagée ne permette pas la libération de polluants dans l'eau.

Enfin, il est envisagé d'habiller les corps-morts avec une jupe constituée de tiges et tubes reproduisant des racines de mangrove permettant aux juvéniles de venir s'y réfugier et s'y nourrir. Ce dispositif est présenté en détail dans la partie suivante. Comme le montre l'imagerie satellite (Figure 7), ainsi que la Figure 4, les fonds semblent essentiellement occupés par des coraux et des herbiers. Le projet semble alors pertinent vis-à-vis des habitats présents, au vu de la complexité des mouillages et des add-on.

### ZMEL de la Baie de Deshaies :

Tous les mouillages de cette ZMEL ont été réalisés sur la base d'un cylindre en béton armé d'un diamètre de 1,70 m et d'une hauteur de 1,10 m. Chaque corps-mort est équipé d'une cigale d'attache, de manilles, d'un émerillon et d'une chaîne, d'une bouée intermédiaire, d'un orin et enfin d'une bouée de surface, munis d'une estrope pour l'amarrage des bateaux.

Les modules présentent 8 à 10 perforations horizontales matérialisées par des tubages PVC de 6 cm de diamètre pour 19 des 37 blocs installés (Cf. Figure 14). La plupart des modules restants possèdent également un tunnel horizontal en forme de demi-lune de 50 cm de diamètre horizontal et 25 cm de rayon en hauteur.

Les mouillages peuvent être répartis en 5 catégories [7] :

- Module « mono-plateau » : il s'agit de blocs présentant les perforations horizontales ainsi que le tunnel en forme de demi-lune. Certains ont également été enrichis avec des blocs rocheux pour les organismes benthiques.
- Module « double-plateau » : ce module est basé sur le précédent, mais un disque de ciment séparé du bloc principal par un espace de 8 cm a été rajouté afin de servir d'abri pour les invertébrés mobiles et les poissons.
- Module avec « grille en fer à béton » : il s'agit ici d'un module reprenant la structure du module « mono-plateau » avec une cage en « fer à béton » munie d'une alimentation électrique alimentée par une batterie contenue dans un caisson étanche. Ce dispositif a pour objectif de précipiter du carbonate de calcium sur la structure métallique (« biorock ») afin que la couche déposée de calcaire facilite la fixation des larves des organismes benthiques et des coraux notamment.

- Module « mono-plateau avec une ceinture de tube en PTFE » : ce type de mouillage reprend la structure du module « mono-plateau » avec cette fois-ci une ceinture de tubes courbés verticaux en PTFE. Cette jupe installée autour du corps-mort est inspirée des racines de mangrove, et a pour objectif de servir d’abri aux juvéniles, notamment face au poisson-lion. Ce dispositif, présenté dans la Figure 19, présente un surcoût inférieur de seulement 5% par rapport à un corps-mort classique en béton [2].
- Module « double-plateau avec une ceinture de tube en PTFE » : ce module reprend la base du module simple « double-plateau » avec rajout de la jupe constituée de tubes verticaux en PTFE présentée précédemment.

Les différents modules sont présentés en annexes 1 à 6.

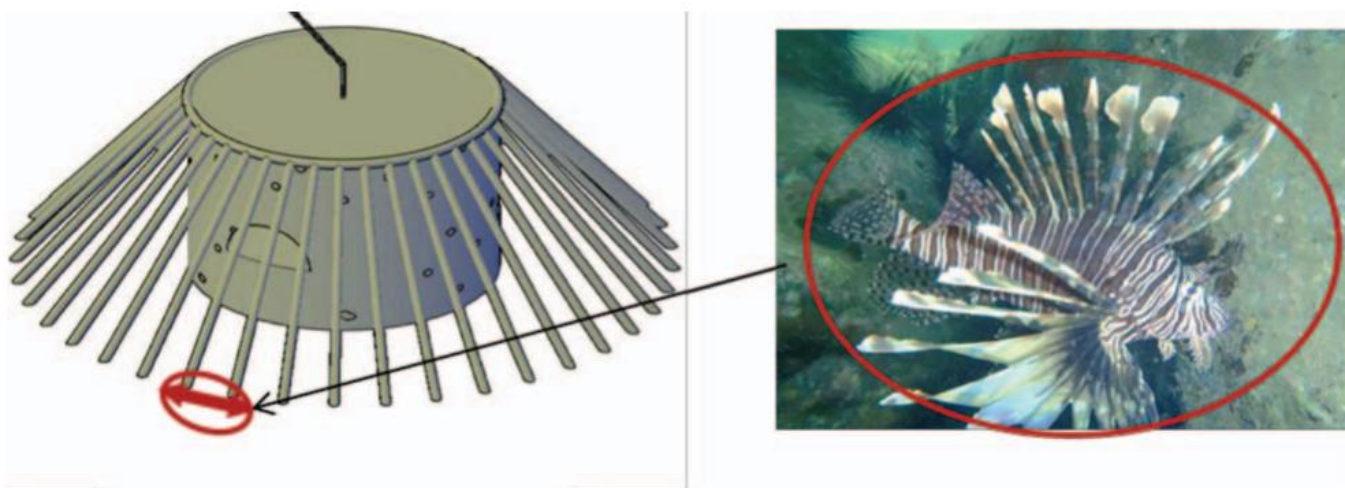


Figure 19 : Schéma de la jupe en PTFE installée autour des modules monos et double plateau [2]

Selon l’étude de suivi réalisé en 2020, de nombreux add-on avaient été installés mais à ce jour ils semblent avoir été fortement dégradés voire disparus.

### 3) Méthodologie de comparaison des dispositifs

Afin de comparer la nature des dispositifs, il est proposé un système de notation par des « + » sur les impacts que peuvent avoir les corps-morts sur les écosystèmes, et sur l’effet potentiel de restauration du site. L’impact est jugé en fonction des matériaux utilisés pour le corps-mort et l’effet par la complexité du dispositif utilisé.

Ainsi, un corps-mort présentant des matériaux plastiques pourra avoir un effet plus ou moins important sur les milieux aquatiques du fait de la pollution générée. De la même manière, si le dispositif présente de nombreux add-on ainsi que des éléments complexifiant le corps-mort (roches, trous, etc.), alors l’effet de restauration peut être considéré comme important. Les résultats de ces observations et interprétations sont présentés en partie IV-1).

## IV- Résultats

### 1) Comparaison des dispositifs

Tableau 1 : Impacts et effets de préservation/restauration des mouillages sur les milieux marins

Site	Type de dispositif	Impact milieu	Effet préservation/restauration
ZMEL de la Baie de Terre de Haut	Mouillage simple	+	+
ZMEL de Gosier	Corps-mort avec jupe, trous et plaque sommitale	++	++

	Add-on : amas de pierres, tiges PEHD, écheveaux		
ZMEL de Bouillante	Corps-mort avec trous, jupe et plaque faîtière Add-on : blocs de basaltes, coupelles	++	++
ZMEL de Deshaies	Corps morts avec trous de type mono-plateau, double-plateau, grille en fer, ceinture de tube et mono-plateau, ceinture de tube et double-plateau Add-on : coupelles, roches, rubans de polypropylène, boules grillagées	++	+++

Utilisation du tableau :

+ : Faible

++ : Moyen

+++ : Fort

Les différentes ZMEL ont donc toutes des dispositifs plus ou moins semblables, avec quelques variations propres à chaque projet, excepté pour celle de la Terre de Haut. Cette ZMEL, qui présente des mouillages simples, pourrait faire l'objet d'améliorations en termes d'éco-conception. Reste cependant à identifier la nécessité et le besoin de préservation et restauration. Selon la nature du fond et les habitats présents, il peut s'avérer que la démarche ne soit pas forcément utile.

Les dispositifs peuvent avoir un impact très positif dans la préservation de la biodiversité à proximité des ZMEL, ainsi que des possibilités de restauration sur des zones qui aurait pu être dégradées dans le passé. L'impact négatif sur les milieux provient essentiellement du fait que des add-on sont rajoutés, dont les propriétés peuvent constituer une source de pollution en fonction des matériaux envisagés.

## 2) Analyses et interprétation des résultats de suivis réalisés

Etant donné que la plupart des ZMEL présentées dans ce rapport sont des projets et n'ont donc pas encore été mises en place, elles n'ont pas fait l'objet d'études de suivis. Il est donc difficile d'obtenir des résultats concrets permettant d'évaluer l'efficacité des dispositifs envisagés. En outre, seule la ZMEL de Deshaies a fait l'objet d'études de suivis en 2017 et 2020. L'état des lieux du site fait référence à des pollutions de matière organique et de cyanobactéries, ainsi qu'une présence d'herbiers dont la biodiversité de flore et la faune associée est peu abondante<sup>[7]</sup>.

L'article de Sylvain Pioch <sup>[2]</sup> présente les conclusions du rapport établi en 2017. Ce rapport a été élaboré par Claude Bouchon (professeur d'écologie), Yolande Bouchon-Navaro, Samantha de Lavigne et Sébastien Cordonnier (ingénieurs écologues), respectivement de l'Université des Antilles, du laboratoire Borea et du bureau d'études Caraïbes Aqua Conseil. L'étude réalisée a pu démontrer que les mouillages éco-conçus de Deshaies exercent un pouvoir attractif sur les organismes benthiques et les poissons. Le suivi, réalisé par comptage en plongée sous-marine, a permis de recenser autour des corps-morts 58 espèces d'organismes benthiques ainsi que 43 poissons, contre 74 espèces d'organismes benthiques et 25 de poissons sur un massif corallien voisin de la ZMEL, entouré en bleu clair sur la figure ci-dessous :

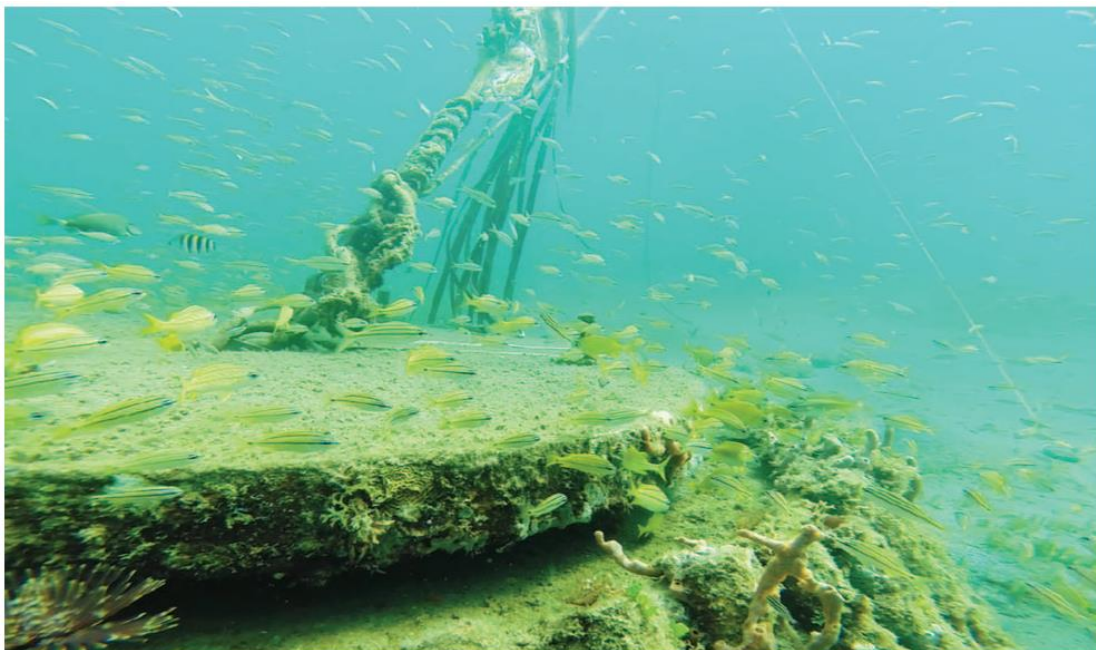




*Figure 20 : Localisation des corps morts et du massif corallien de la baie de Deshaies (jaune : bloc mono-plateau ; orange : bloc double-plateau ; rouge : bloc avec grille en fer à béton ; vert : bloc mono-plateau avec ceinture de tubes ; bleu : bloc double-plateau avec ceinture de tubes)<sup>[7]</sup>*

Une analyse statistique a permis de montrer que la biodiversité présente est liée à l'architecture du module et son niveau de complexité. Ainsi, les blocs simples et doubles équipés de la jupe en tubes PTFE sont ceux qui attirent le plus les espèces benthiques et surtout ichtyologiques. Les perforations sur les corps-morts quant à elles ont démontré une attraction sur les crustacés et jeunes langoustes. L'équipement a de plus, a priori, résisté à l'ouragan Maria et aucune trace apparente de corrosion chimique ou d'abrasion des tubes n'ont été trouvée. Enfin, il apparaît que les poissons-lions ne viennent pas à l'intérieur de la ceinture de tubes, ce qui laisse penser que ce dispositif joue son rôle de refuge pour les juvéniles.

Après 5 ans d'immersion, les corps-morts présentent l'aspect suivant :



*Figure 21 : Photographie d'un corps-mort après 5 ans d'immersion (S. Pioch, 2018)<sup>[2]</sup>*

Le corps-mort semble alors jouer son rôle écologique. En effet, des juvéniles sont bien présents autour, et la jupe en tube a été colonisée par des organismes benthiques ainsi que par la flore marine (coraux, éponges, etc.). Il apparaît également que l'espace offert par le double plateau sert d'abri pour les poissons.

Cependant, l'étude de suivi datant de 2020 présente un constat quelque peu différent. Il y est notamment mentionné que le dispositif de jupe n'est pas efficace vis-à-vis des poissons-lions puisque ceux-ci s'en servent à priori comme abri de la même façon que les autres poissons [7]. Des empilements de coupelles en plastique semblables à celles présentées Figure 17 ont été installées sur les lignes de mouillages. Le dispositif était destiné à attirer les juvéniles de poissons. Selon l'étude de suivi, ces coupelles avaient toutes disparu au niveau des corps-morts. L'hypothèse la plus probable est qu'elles aient été arrachées par la houle générée lors de l'ouragan Maria. Cela pose alors un problème de pollution, car il est impossible de savoir ce qu'il est advenu de ces coupelles en mer. De plus, des boules grillagées en rotin avaient été fixées sur les orins de mouillages, à nouveau dans le but d'attirer des larves et juvéniles de poissons. Sur les 22 modules étudiés en 2017, aucune de ces structures n'a été observée. Enfin, des nappes en polypropylène découpées en rubans (« bandes straps ») avaient été fixées aux orins de mouillage, destinées à attirer les larves et les juvéniles de poissons sur 37 modules. Ces nappes ont néanmoins subsisté, en plus ou moins bon état, sur la plupart des modules étudiés en 2020.

Vis-à-vis de l'efficacité des dispositifs, la biodiversité de la flore et faune benthiques a à priori significativement augmenté entre 2017 et 2020. En effet, 87 espèces ont été recensées (3 espèces de Cyanobactéries, 12 espèces de macroalgues, une espèce de Phanérogames marines et 71 espèces d'animaux benthiques) contre 58 en 2017, et la biodiversité moyenne par module était de 29 en 2020 contre 18 en 2017. En comparaison du récif corallien voisin, 74 espèces (13 espèces d'Algues, une espèce de Phanérogames marines et 60 espèces d'animaux benthiques) ont été observées cette année-là. L'examen de la répartition des espèces associées aux corps-morts en 2020 a révélé que la richesse spécifique varie entre 17 et 42 selon les modules. Trois espèces de Cyanobactéries ont cependant été observées sur certains corps-morts, qui sont des bioindicateurs d'une pollution par la matière organique. En fonction des espèces, la répartition et la présence ont plus ou moins évolués :

- Les Macroalgues sont représentées par 13 espèces contre 6 espèces en 2017 (espèce dominante : *Dictyota pulchella*)
- Les Éponges sont représentées par 17 espèces contre 12 en 2017 et correspondent au groupe le plus important en termes de surface colonisée par les organismes benthiques (sept espèces dominantes : *Rhaphidophlus cf. raraechelae*, *Desmapsamma anchorata*, *Iotrochota birotulata*, *Monanchora arbuscula*, *Niphates erecta*, *Ircinia strobilina* et *Halisarca caerulea*)
- Les Cnidaires, dont font partie les coraux, sont représentés par 13 espèces en 2020 tout comme en 2017. Sept d'entre elles sont des coraux très communs et à large distribution bathymétrique sur les récifs coralliens caraïbes (parmi les sept, six présentent des valeurs d'occurrence et d'abondance relativement élevées sur les modules). Il s'agit de *Agaricia agaricites*, *Porites astreoides*, *Porites divaricata*, *Diploria labyrinthiformis*, *Pseudodiploria strigosa*, *Colpophyllia natans* et *Meandrina meandrites*. Deux espèces sont communes mais caractéristiques exclusives des faibles profondeurs, de 0 à 10 m (*Siderastrea radians* et *Favia fragum*). Des Hydraires (*Pennaria disticha* et *Tyrosocyphus ramosus*), ainsi que des Hydrocoralliaires (*Millepora alcicornis* et *M. complanata*) sont également très abondants. Les hydrocoralliaires, ou « coraux de feu », sont des espèces opportunistes qui ont à priori colonisé sans difficultés les substrats en béton, avec une « préférence pour les roches fixées sur certains modules, et également les tubes en PTFE qui ceignent d'autres types de corps-morts ». Ces organismes ont présenté en 2020 un développement notable par rapport à 2017. Trois espèces d'anémones de mer colonisaient les modules en 2017 (*Condylactis gigantea*, *Stichodactyla helianthus* et *Bartholomea annulata*) contre six espèces en 2020 (*Phymanthus crucifer*, *Ricordea florida* et *Aiptasia tagetes* en plus des trois autres).

- Enfin, deux gorgones ont été observés sur un des modules (*Briarum asbestinum* et *Pterogorgia citrina*) contre un seul en 2017 (*Antillogorgia americana*).
- Les vers sont représentés par six espèces (Annélides tubicoles : *Sabella variegata*, *Anamobaea orstedii*, *Parazoanthus swiftii*, *Isarachnanthus nocturnus*, *Sabellastarte magnifica* et *Spirobranchus giganteus*) contre trois en 2017, avec les deux dernières espèces qui sont particulièrement abondantes.
  - Les Mollusques sont représentés par 7 espèces contre 10 en 2017. Elles correspondent aux groupes des Gastéropodes (*Cerithium litteratum*) et des Bivalves (*Spondylus americanus*). L'importance des gastéropodes a diminué en 2020 tandis que celle de *Spondylus americanus* a augmenté au cours des trois années.
  - Les Céphalopodes quant à eux sont représentés par des poulpes (*Octopus sp.*), installés à hauteur de 17 % des corps-morts contre 13 % en 2017. Cette espèce s'installe en creusant des terriers à la base des modules.
  - Trois espèces d'Échinodermes ont été observées sur les corps-morts (oursins *Diadema antillarum*, *Eucidaris tribuloides* et *Holothurie Isostichopus*), contre quatre en 2017 (*Tripneustes ventricosus*, oursin blanc, en plus des trois autres).
  - Les Ascidies sont représentées par deux espèces : *Ropalaea abdominalis* et *Polycarpa spongiabilis*. La dernière espèce est particulièrement abondante et était présente sur 50 % des corps-morts étudiés en 2020, contre 73 % en 2017.

Quant à l'évolution de la communauté ichthyologique, 18 modules ont été étudiés en 2020, ce qui a permis le recensement de 44 espèces de poissons contre 43 en 2017 (22 modules étudiés). Sur le massif corallien voisin, 54 espèces ont été observées contre 52 en 2017. La communauté ichthyologique est donc assez proche de celle observée sur un site naturel, et elle n'a pas vraiment évolué au cours des trois années.

Le nombre moyen d'espèces par corps-mort a été évalué à 12,4 en 2020 pour 9 en 2017. Cela indique une augmentation significative de la richesse spécifique par module, qui varie en fonction des modules. En effet, entre 5 espèces de poissons sur les blocs mono-plateaux à 18 espèces sur les modules double plateaux encadrés de tubes plastiques ont été observées, tandis qu'en 2017 la fourchette de variation de la richesse spécifique fluctuait entre 2 et 16 espèces.

Une analyse statistique a permis de déterminer les espèces les plus présentes au sein des mouillages : « Il s'agit de trois Pomacentridae : *Chromis multilineatus* (83 %), *Stegastes partitus* (78 %) et *Abudefduf saxatilis* (50 %) ; d'un Labridae (*Thalassoma bifasciatum* : 83 %) ; d'un Acanthuridae (*Acanthurus coeruleus* : 61 %) ; d'un Lutjanidae : *Ocyurus chrysurus* (67 %) et de deux Haemulidae : *Haemulon aurolineatum* (67 %) et *H. flavolineatum* (50 %). Un Tetraodontidae, *Canthigaster rostrata*, de petite taille est également fréquemment observé sur les modules (78 % des relevés). »

L'abondance quant à elle varie fortement d'un module à l'autre (entre 450 et 15 individus) et cela est fortement lié à la présence d'espèces vivant en bancs (*Haemulon flavolineatum* par exemple). Il est également indiqué dans ce rapport que les effectifs de poissons ont diminué en 2020, passant de 231 en 2017 à 136. Les bancs d'Hemulons (*Haemulon aurolineatum* et *H. flavolineatum*) et de Lutjanidae (*Ocyurus chrysurus*) comportaient à priori moins d'individus en 2020 qu'en 2017.

De plus, l'abondance en biomasse des poissons est variable d'un corps-mort à l'autre. En effet, en 2020 73 % de la biomasse totale des poissons est représentée par sept espèces (deux Holocentridae : *Myripristis jacobus* et *Holocentrus ascencionis*, trois Haemulidae : *Haemulon aurolineatum*, *H. lavolineatum* et *H. plumieri*; un Lutjanidae : *Ocyurus chrysurus* et un Pomacentridae : *Chromis multilineatus*). Tandis qu'en 2017, seulement deux espèces constituaient à elles seules 60 % de la biomasse totale observée (*H. aurolineatum* et *O. chrysurus*). Un test statistique a cependant révélé une diminution significative de la biomasse relevée en 2020. Les tableaux ci-dessous permettent d'évaluer l'évolution des populations de juvéniles de 2017 à 2020, ainsi qu'une comparaison au massif corallien :



Tableau 2 : Répartition des juvéniles (< 5 cm) entre les différents modules et le massif corallien adjacent en 2020 (les modules où il n'apparaît pas de juvéniles ne sont pas représentés dans le tableau) [7]

Modules N°	1	2	3	4	5	6	7	9	10	13	14	15	16	18	19	21	Récif
<i>Haemulon aurolineatum</i>			8											4			
<i>Haemulon flavolineatum</i>			80														
<i>Chaetodon capistratus</i>						1											
<i>Holacanthus ciliaris</i>										1							
<i>Chromis multilineatus</i>										4							40
<i>Stegastes adustus</i>							1										1
<i>Stegastes leucostictus</i>							1	1									1
<i>Stegastes partitus</i>		12	4			1	8	4	8			8	4	8			40
<i>Stegastes planifrons</i>					4												
<i>Bodianus rufus</i>			1														1
<i>Thalassoma bifasciatum</i>	8	16	20		8	12	82		56	4			20	40	20	8	60
<i>Scarus iseri</i>	40		20	20		40					40						80
<i>Sparisoma aurofrenatum</i>				4													
<i>Sparisoma viride</i>			1														6
<i>Acanthurus tractus</i>						4											
<i>Acanthurus chirurgus</i>							2										
<i>Acanthurus coeruleus</i>						1											1
<i>Canthigaster rostrata</i>																1	
<b>Total</b>	<b>48</b>	<b>28</b>	<b>134</b>	<b>24</b>	<b>12</b>	<b>61</b>	<b>92</b>	<b>5</b>	<b>64</b>	<b>9</b>	<b>40</b>	<b>8</b>	<b>24</b>	<b>52</b>	<b>20</b>	<b>9</b>	<b>233</b>

Tableau 3 : Répartition des juvéniles (< 5 cm) entre les différents modules et le massif corallien adjacent en 2017 (les modules où il n'apparaît pas de juvéniles ne sont pas représentés dans le tableau) [7]

Type de module N°	GFB 2	TDP 4	TMP 10	TMP 11	TMP 13	TDP 14	GFB 15	BMP 16	BMP 17	GFB 18	TDP 19	TMP 20	Total Module	Total Récif
<i>Haemulon aurolineatum</i>			75										75	
<i>Chaetodon capistratus</i>														3
<i>Pomacanthus paru</i>										2			2	
<i>Stegastes diencaeus</i>														1
<i>Stegastes leucostictus</i>					1					3	1		5	2
<i>Stegastes partitus</i>		1	1	1	6		1	6	1	17	1		35	12
<i>Thalassoma bifasciatum</i>	8	8	8	4	16	4		1		20			69	140
<i>Scarus iserti</i>														16
<i>Sparisoma aurofrenatum</i>														8
<i>Acanthurus coeruleus</i>		1										1	2	
<i>Coryphopterus dicrus</i>									2				2	
<i>Canthigaster rostrata</i>										1			1	
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>85</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>23</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>43</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>191</b>	<b>182</b>

Ces tableaux ont permis de montrer que les juvéniles étaient représentés par 18 espèces en 2020 contre 8 espèces en 2017, et seulement sur la moitié des corps-morts. Le rapport de suivi évoque alors l'hypothèse des conséquences de l'ouragan Irma pour expliquer cette différence notable. La figure suivante donne la répartition des classes de tailles des poissons en 2020, par rapport au massif corallien :

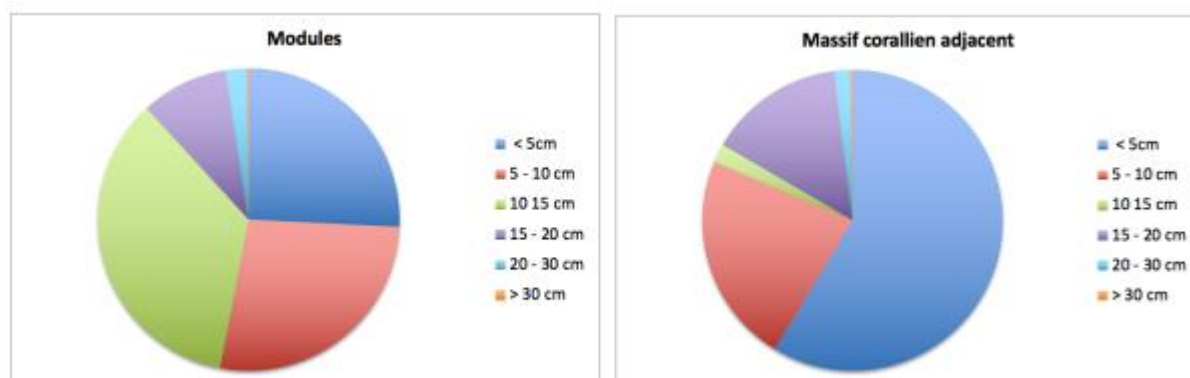


Figure 22 : Répartition des différentes classes de tailles des poissons sur l'ensemble des modules et sur le massif corallien adjacent en 2020 [7]

Ces analyses ont permis de montrer que les modules abritent moins de juvéniles que le massif corallien, les critères influençant le recrutement larvaire des poissons benthiques (nombre et diversité de la taille des anfractuosités du substrat et sources de nourriture) étant plus variés sur les récifs que dans les modules, malgré l'éco-conception. En outre, la fonction abri des modules est discutable, car elle écarte les poissons de taille supérieure à 20 cm au profit des poissons de taille allant de 6 à 15 cm. Les figures données en annexes 7 et 8 montrent que la répartition des catégories trophiques (qui sont toutes bien représentées) est équivalente entre 2020 et 2017 sur l'ensemble des corps-morts ainsi que sur le massif corallien. Il apparaît que les espèces carnivores sont bien plus présents à proximité des corps-morts que sur le massif corallien, ce qui peut être expliqué par la forte fréquentation des bancs de d'Haemulidae autour des mouillages. Les prédateurs de haut niveau sont cependant toujours peu nombreux sur le massif corallien, et les autres catégories trophiques sont mieux représentées sur les modules et le massif qu'en 2017. Il est également observé une évolution positive de l'équilibre de la structure trophique autour des mouillages, les planctonophages, herbivores et omnivores étant mieux représentés. Cela peut être lié à l'apparition d'espèces de petite taille et des juvéniles qui ont pu se sédentariser sur les modules [7]. Un déséquilibre de la répartition des groupes trophiques en effectifs et en biomasse avait été observé en 2017, probablement provoqué par la forte présence de carnivores de premier ordre (Haemulon spp.) et de piscivores (Ocyurus chrysurus).

Enfin, il apparaît que la structure des modules joue un rôle primordial dans la colonisation par les différentes espèces présentes. Cette observation est appuyée par la figure qui suit :

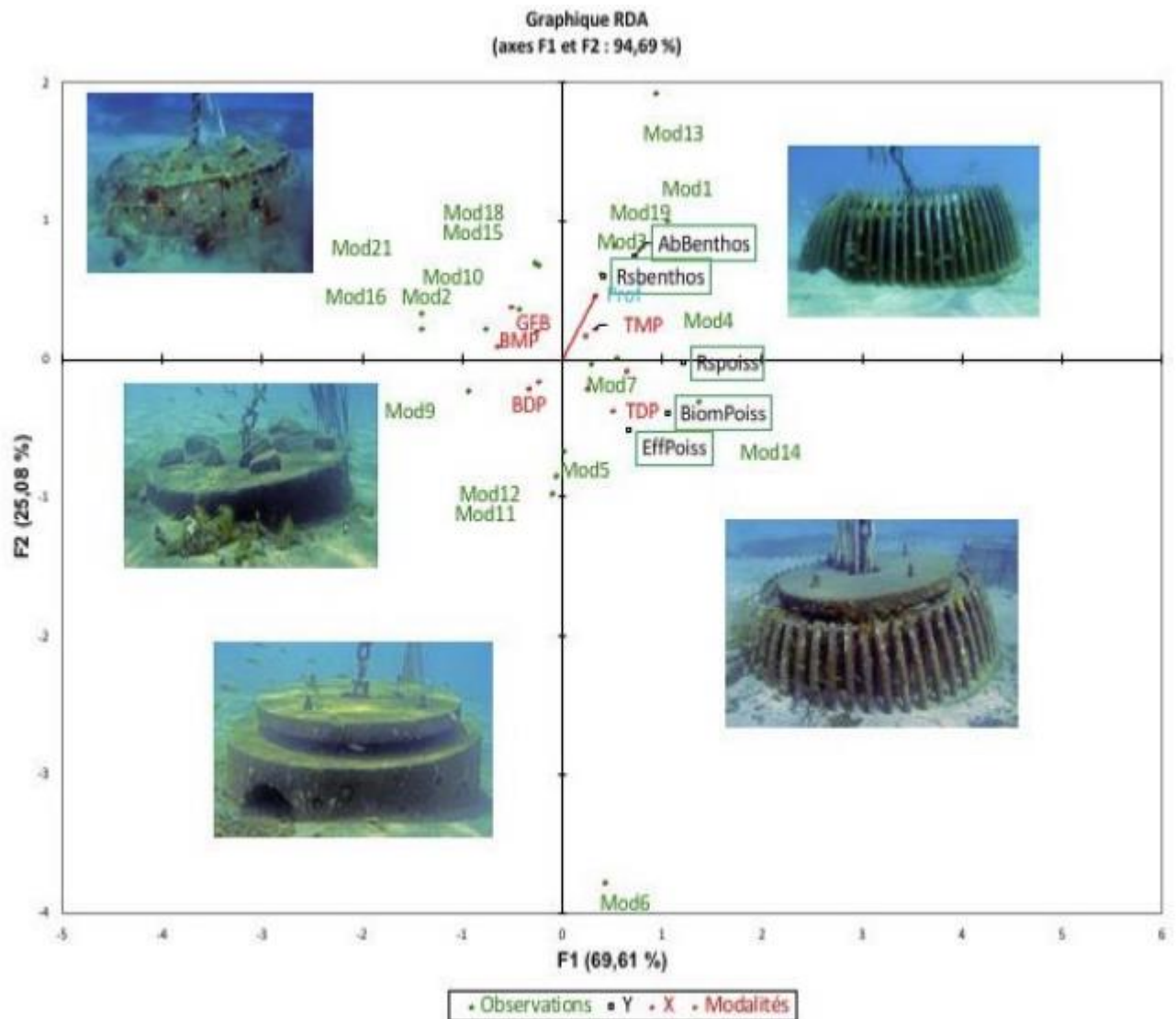


Figure 23 : Résultats de l'analyse des redondances, effectuée sur les données collectées en 2020, recherchant l'influence du type de module et de la profondeur sur les descripteurs concernant le benthos (richesse spécifique et abondance) et les poissons (richesse spécifique, effectifs et biomasse) [7]

Ainsi, il semble que les modules équipés de jupes en tubes exercent un effet plus attractif envers la plupart des organismes que les modules présentant des plateaux et des grilles de métal. Cela est lié au caractère plus complexe des ceintures en tubes. Cependant, elles posent le problème de pollution en cas de dégradation dans le milieu. La profondeur à laquelle est installée chaque corps-mort (environ 5m) semble également exercer une influence sur les organismes benthiques. En effet, celle-ci aurait une influence positive sur l'installation de la biodiversité benthique, qui pourrait être expliqué par le fait que la houle diminue avec la profondeur, exerçant alors moins de pressions sur ces organismes. A contrario, la profondeur ne semble pas avoir d'effet sur la présence de poissons et juvéniles.

En conclusion de cette partie, il apparaît que les mouillages éco-conçus exercent bel et bien un effet attracteur sur les organismes benthiques, la flore et les poissons. En effet, il a été montré que la biodiversité a continué d'augmenter en 2017 et 2020, même si elle ne peut être aussi efficace qu'un site naturel tel qu'un récif corallien. L'installation des corps-morts semble également exercer une influence sur la répartition des espèces présentes, notamment sur les poissons prédateurs. Ils modifient par conséquent la nature originelle des fonds et jouent un rôle sur la chaîne trophique. D'autres facteurs peuvent cependant être intervenus dans ce constat, notamment les divers événements météorologiques qui ont eu lieu ainsi qu'une diminution de l'effort de pêche qui a été recensée.

Les corps-morts qui semblent les plus efficaces en matière de restauration sont ceux équipés d'une jupe en tubes PTFE, cependant il est important de notifier le risque de pollution en cas de dégradation. Ce constat est identique à la plupart des add-on qui ont disparu des mouillages. Il est important de vouloir mettre en place des mesures de restauration via l'éco-conception, cependant cela ne doit pas accentuer d'autres impacts tels que la pollution.

## V- Discussion

Même si les mouillages éco-conçus semblent avoir des effets positifs sur la biodiversité marine, il est nécessaire de rester en cohérence avec le milieu naturel d'origine. En effet, ils peuvent changer la nature du fond, en passant de meuble et/ou sableux à un fond rocheux. Les add-on pouvant être rajoutés augmentent l'effet d'attraction mais accentue également l'effet de changement de nature du fond, qui implique un changement d'écosystème. Cela pose également la question de l'intérêt de passer d'un milieu « pauvre » à légèrement plus « riche ».

Pour le cas de la ZMEL de Deshaies, la plupart des mouillages sont plutôt bien adaptés au fond du fait de leur complexité et des add-on, pouvant très bien être couplés aux herbiers et coraux présents sur le site. Cependant, cette ZMEL montre bien l'effet sur les écosystèmes que peuvent avoir les mouillages, avec une présence plus forte de certaines espèces de poissons en comparaison avec un milieu naturel tel qu'un récif corallien, et donc une modification de la chaîne trophique. Les ZMEL et les mouillages permettent de réduire la pression de mouillage et donc éviter de détruire le milieu, mais, au vu des vitesses de croissance, il est difficile de démontrer que cela permet de gagner des habitats.

Des améliorations pourraient être envisagées sur la nature des dispositifs à mettre en place, notamment sur les matériaux utilisés. Afin de ne pas accentuer la pollution marine, il est essentiel d'opter pour des matériaux respectueux de l'environnement et biodégradables, quitte à ce que les add-on soient changés annuellement. Il est par exemple possible d'opter pour des matériaux réalisés en fibre de coco pour les add-on, ou encore remplacer les ceintures en PTFE par des ceintures en béton imprimées en 3D.

Il manque certainement dans ce rapport d'autres résultats qui permettraient de démontrer les points cités précédemment, mais il est difficile d'obtenir ce genre d'études de suivis. Il serait intéressant de pouvoir comparer ce qui est mis en place en Guadeloupe à d'autres pays ou îles du monde dans lesquels les pressions de mouillages sont importantes et une riche biodiversité (Polynésie, Méditerranée, etc.).

## Conclusion

A proprement parler, les mouillages écoconçus n'agissent donc pas directement en tant que restauration écologique, mais il apparaît que leurs caractéristiques permettent de reconstituer certains habitats et peuvent agir comme des récifs artificiels. Les mouillages, ainsi que les ZMEL, permettent principalement d'empêcher la dégradation des milieux, et ainsi préserver les écosystèmes. La restauration écologique et l'écoconception sont des concepts différents, la première implique un retour à un état de référence à la suite de dégradations, tandis que l'autre est utilisée dans la construction ou le développement de nouvelles infrastructures. De par un manque d'informations, il est difficile de juger de la pertinence des projets de ZMEL présentés dans ce rapport vis-à-vis d'un besoin de restauration.

Cependant, il apparaît indéniablement que les corps-morts de la ZMEL de Deshaies ont contribué à améliorer la qualité du milieu, même si ils l'ont quelque peu changé. L'objectif premier de cette ZMEL n'était pas tant de la restauration écologique, car hormis quelques traces d'ancrages sauvages et des dégradations naturelles (ouragans, matière organique), le milieu était plutôt en bon état. Il s'agissait surtout de créer une zone de plaisance qui apporterait un impact positif sur la biodiversité marine, via l'éco-conception des corps-morts. Les mouillages ont ainsi permis la colonisation de nombreuses espèces benthiques, ichtyologiques et florales. Il faut néanmoins garder dans l'esprit que ce type de dispositif peut exercer un impact négatif, notamment dans le changement de nature des fonds, et la pollution liée aux composants qu'ils peuvent provoquer. Il est également difficile de juger l'efficacité des dispositifs de Deshaies via les comptages et statistiques présentés plus haut dans le rapport. Il aurait été intéressant de comparer l'étude à des mouillages « simples ».

Les mouillages éco-conçus peuvent jouer un rôle important en termes de restauration, au même titre que des récifs artificiels. Par rapport à des mouillages traditionnels, ils peuvent être facilement et abondamment colonisés s'ils sont correctement employés.

Les ZMEL et les éco-mouillages sont des outils qu'il est important de développer partout dans le monde, afin de continuer les efforts de préservation des fonds marins et empêcher ou du moins diminuer les pressions anthropiques (ancrages sauvages, chalutage, etc.).

## Bibliographie

[1] : Guide méthodologique, « Créer, gérer et organiser les zones de mouillage et d'équipements légers (ZMEL) », Ministère de la Transition écologique et solidaire-Direction de l'eau et de la biodiversité, Juin 2020

[2] : « Ecoconception des ouvrages maritimes : de la théorie aux exemples appliqués », Sylvain Pioch et Jean-Claude Souche, 10 Janvier 2023

[3] : « Restauration écologique des nurseries des petits fonds côtiers de Méditerranée – Orientations et principes », Lenfant et. Al, 2015

[4] : « ZMEL de la Terre de Haut – Analyse environnementale », SUEZ Consulting, 2022

[5] : « Réalisation de la ZMEL en mouillages éco-récifs et mise en place d'un projet touristique de développement local sur les trois sites de Malendure, la baie du bourg, et l'Anse à la barque » - Etude d'impact valant dossier d'incidence au titre de la loi sur l'eau, 2019

[6] : « Création d'une Zone de Mouillages et d'Equipements Légers (ZMEL) sur le littoral de la ville du Gosier - Analyse environnementale », SUEZ Consulting, 2022

[7] : « SUIVI DES COMMUNAUTES MARINES ZONES DE MOUILLAGES ET D'ÉQUIPEMENTS LÉGERS (ZMEL) EN MOUILLAGES ÉCO-RÉCIFS COMMUNE DE DESHAIES (2020) », Bouchon et al. (Caraïbes Aqua Conseil/ EcoRécif Environnement), 2020



## Résumé

Face à la présence croissante de plaisanciers sur les côtes et d'impacts qui en découlent (**charriage des fonds** par les ancres, pollution, etc.), de nombreux outils et concepts ont vu le jour au cours des dernières années afin de remédier à ces problématiques. Entre **restauration écologique** et **éco-conception**, les **zones de mouillages organisées** sont de plus en plus privilégiées afin d'assurer un **tourisme durable**. Ce rapport présente les dispositifs ayant été mis en place, ainsi que des projets, qui ont pour but de préserver la riche et remarquable biodiversité qu'abrite la Guadeloupe. Il s'agira alors d'essayer de démontrer que l'éco-conception peut jouer un rôle dans la restauration écologique des fonds marins.

## Abstract

Faced with the growing presence of yachtsmen on the coast and the resulting impacts (**dragging of the seabed** by anchors, pollution, etc.), a number of tools and concepts have emerged in recent years to remedy these problems. Between **ecological restoration** and **eco-design, organised anchorage areas** are increasingly favoured as a means of ensuring **sustainable tourism**. This report presents the measures that have been put in place, as well as projects, to preserve Guadeloupe's rich and remarkable biodiversity. The aim is to demonstrate that eco-design can play a role in the ecological restoration of the seabed.

## ANNEXES

Annexe 1 : Module « mono-plateau » de la ZMEL de Deshaies [7]



Annexe 2 : Module « mono-plateau » avec agrémentation de blocs de la ZMEL de Deshaies [7]



Annexe 3 : Module « double-plateau » de la ZMEL de Deshaies [7]



Annexe 4 : Module simple plateau et grillage électrifié de la ZMEL de Deshaies <sup>[7]</sup>



Annexe 5 : Module mono plateau avec ceinture de tubes de la ZMEL de Deshaies <sup>[7]</sup>

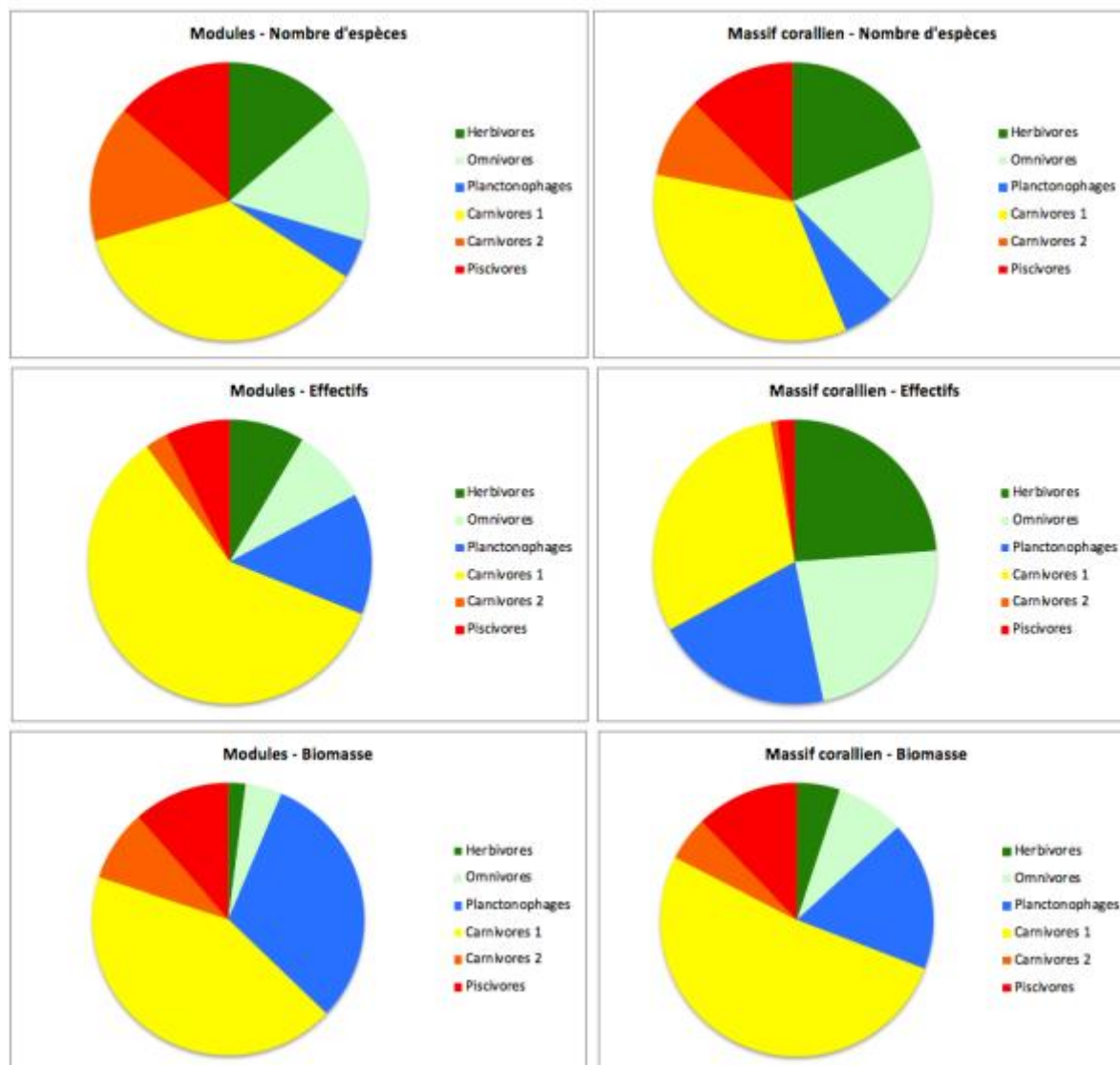




Annexe 6 : Module double plateau avec ceinture de tubes de la ZMEL de Deshaies [7]



Annexe 7 : Structure trophique sur l'ensemble des modules et sur le massif corallien adjacent en 2020 [7]



Annexe 8 : Structure trophique sur l'ensemble des modules et sur le massif corallien adjacent en 2017 <sup>[7]</sup>

