

Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des masses d'eau de transition de l'île de la Martinique à partir des épibiontes des racines de palétuviers

Spongiaires et autres groupes taxonomiques



Rapport final, octobre 2012

Version finale

Référence dossier : 1007_05

Note : Pour une communication éco-responsable : ce rapport est imprimé en recto verso sur du papier recyclé ou issu de la gestion de forêts durables, avec une imprimante respectueuse de l'environnement. La mise en page est conçue pour limiter le nombre de pages et la consommation d'encre. www.ademe.fr/eco-conception



Octobre
12

Étude pour le compte de :



DEAL Martinique

Immeuble Massal, 4 bd de Verdun, 97200 Fort-de-France
Tél : 05 96 71 30 05 ; Télécopie : 05 96 71 25 00
corinne.figueras@developpement-durable.gouv.fr
Contact : Corinne Figueras

Rapport à citer sous la forme :

Impact Mer & Ginger Environnement, 2012. Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des masses d'eau de transition de l'île de la Martinique à partir des épibiontes des racines de palétuviers. Spongiaires et autres groupes taxonomiques. Rapport final. Rapport pour : DEAL Martinique, 125 pp (+ annexes).

Rédaction

Guillaume Tollu, Impact Mer
Sophie Carteron, Ginger Environnement
Marie Thabard, Impact Mer
Adeline Pouget Cuvelier, Impact Mer

Contrôle qualité

Adeline Pouget Cuvelier, Impact Mer
Thierry Perez, IMBE

Coordination générale

Christophe Yvon, Impact Mer

Terrain

Guillaume Tollu, Adeline Pouget Cuvelier, Marie Thabard, Marie Duflos & Jérôme Letellier, Impact Mer
Sophie Carteron, Ginger Environnement

Cartographie

Guillaume Tollu, Impact Mer

Crédits photographiques

Guillaume Tollu, Impact Mer ; Sophie Carteron, Ginger Environnement

Expertises complémentaires :

Jean Vacelet & Thierry Perez, IMBE Marseille ; Edlin Guerra, IVIC Venezuela ; Maria Cristina Diaz, Museo Marino de Margarita, Venezuela



90 rue du Prof. Garcin - Didier - 97200 Fort-de-France
Tel-Fax 05 96 63 31 35
Siret : 534 347 836 00015

contact@impact-mer.fr

Sommaire

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| A. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE | 9 |
| 1 La Directive Cadre européenne sur l'Eau | 9 |
| 1.1 Présentation de la Directive Cadre sur l'Eau et mise en œuvre dans les eaux littorales martiniquaises..... | 9 |
| 1.2 L'application de la DCE en Martinique : rappels..... | 9 |
| 1.2.1 Spécificités du milieu littoral martiniquais..... | 9 |
| 1.2.2 La délimitation des masses d'eau littorales en Martinique..... | 10 |
| 1.2.3 Le choix des paramètres / bioindicateurs et des protocoles de suivi..... | 10 |
| 2 Les mangroves | 10 |
| 2.1 Généralités | 10 |
| 2.2 Les épibiontes..... | 11 |
| 3 Notion de bioindicateur | 11 |
| 3.1 Généralités | 11 |
| 3.2 Utilisation des épibiontes comme indicateurs de santé de la mangrove : les perspectives..... | 12 |
| 3.2.1 Les huîtres | 12 |
| 3.2.2 Les polychètes..... | 12 |
| 3.2.3 Les éponges..... | 12 |
| 3.2.4 Utilisation de groupes fonctionnels et d'abondances relatives | 13 |
| 4 Objectifs de l'étude..... | 13 |
| 4.1 Objectifs généraux | 13 |
| 4.2 Objectifs spécifiques | 13 |
| B. MATERIEL ET METHODE..... | 15 |
| 1 Sites échantillonnés | 15 |
| 2 Méthodologie | 16 |
| 2.1 Paramètres biologiques..... | 16 |
| 2.1.1 Suivi des groupes taxonomiques généraux..... | 16 |
| 2.1.2 Spongiaires des mangroves..... | 17 |
| 2.1.3 Paramètres complémentaires..... | 19 |
| 2.1.4 Réalisation de l'atlas..... | 20 |
| 2.2 Paramètres physicochimiques | 20 |
| 2.2.1 Température, salinité, pH & oxygène..... | 20 |
| 2.2.2 Turbidité, concentration en nutriments | 21 |
| 2.3 Les indices de pression | 21 |
| 2.4 Hypothèses et traitement statistique | 21 |
| 2.4.1 Les groupes taxonomiques..... | 21 |
| 2.4.2 Les communautés de spongiaires..... | 22 |
| C. RESULTATS..... | 23 |
| 1 Caractérisation des sites | 23 |
| 1.1 Sites de la baie de Fort-de-France | 24 |
| 1.1.1 Cohé du Lamentin..... | 24 |
| 1.1.2 Génipa..... | 27 |
| 1.2 Sites de la baie du Marin..... | 31 |
| 1.2.1 Baude | 31 |
| 1.2.2 Pointe Marin..... | 33 |
| 1.3 Sites de la côte Atlantique | 34 |
| 1.3.1 Grenade..... | 34 |

| | | |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1.3.2 | Saintpée | 37 |
| 1.3.3 | Baie des Requins | 39 |
| 1.3.4 | Baie du Trésor | 41 |
| 1.4 | Les indices de pression | 43 |
| 2 | Physico-chimie | 44 |
| 2.1 | Température de l'eau | 44 |
| 2.2 | Salinité | 44 |
| 2.3 | pH | 45 |
| 2.4 | Oxygène dissous | 45 |
| 2.5 | Turbidité | 46 |
| 2.6 | Phosphates | 46 |
| 2.7 | DIN | 47 |
| 3 | Les divers groupes taxonomiques | 48 |
| 3.1 | Définition des groupes | 48 |
| 3.2 | Généralités | 50 |
| 3.3 | Variabilité intra et inter sites | 50 |
| 3.4 | Les divers groupes étudiés | 55 |
| 3.4.1 | Les ascidies | 55 |
| 3.4.2 | Les bivalves | 56 |
| 3.4.3 | Les bryozoaires | 57 |
| 3.4.4 | Les cirripèdes | 58 |
| 3.4.5 | Les éponges | 59 |
| 3.4.6 | Les polychètes | 60 |
| 3.4.7 | Les cyanobactéries | 61 |
| 3.4.8 | Les macroalgues | 62 |
| 3.4.9 | Le turf | 63 |
| 3.5 | Variations des groupes en fonction de la pression anthropique | 64 |
| 3.6 | Analyses statistiques multi-variées | 65 |
| 3.6.1 | La côte Caraïbe | 65 |
| 3.6.2 | La côte Atlantique | 67 |
| 3.6.3 | Racines aériennes vs fixées | 69 |
| 4 | Les spongiaires | 70 |
| 4.1 | Description générale des peuplements de spongiaires | 70 |
| 4.2 | Caractérisation biologique des différents sites | 74 |
| 4.2.1 | Sites de la baie de Fort-de-France | 76 |
| 4.2.2 | Sites de la baie du Marin | 76 |
| 4.2.3 | Sites de la côte Atlantique | 77 |
| 4.3 | Richesse spécifique cumulée | 78 |
| 4.4 | Variabilités spatiale et temporelle des peuplements et espèces de spongiaires | 79 |
| 4.5 | Analyse statistique multivariée | 81 |
| 4.5.1 | Richesse spécifique | 81 |
| 4.5.2 | Assemblages d'éponges | 82 |
| 4.5.3 | Perspectives et analyses complémentaires | 88 |
| 5 | Bilan - Fiches sites | 89 |
| D. | DISCUSSION | 106 |
| 1 | Inventaire des spongiaires | 106 |
| 2 | Les communautés d'épibiontes de racines de palétuviers | 106 |
| 2.1 | L'ensemble des groupes taxonomiques | 106 |
| 2.2 | Les éponges | 107 |
| 2.3 | Zonation verticale | 108 |

| | | |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.4 | Nature des racines | 109 |
| 2.5 | Saisonnalité..... | 110 |
| 3 | Les paramètres physico-chimiques..... | 110 |
| 4 | Méthodologies de suivi des sites : pertinence et propositions..... | 111 |
| 4.1 | Stations d'échantillonnage..... | 111 |
| 4.2 | Protocole d'échantillonnage..... | 113 |
| 4.2.1 | Les épibiontes | 113 |
| 4.2.2 | La qualité physico-chimique des eaux..... | 114 |
| 4.3 | Création d'un indice de pression | 115 |
| 5 | Pertinence pour la définition de bioindicateurs..... | 116 |
| 5.1 | L'ensemble des groupes taxonomiques..... | 116 |
| 5.2 | Les annélides polychètes | 116 |
| 5.3 | Les ascidies..... | 116 |
| 5.4 | Les bryozoaires..... | 117 |
| 5.5 | Les macroalgues | 117 |
| 5.6 | Les spongiaires | 118 |
| 6 | Bioindicateurs et biomarqueurs | 118 |
| E. | CONCLUSIONS..... | 119 |
| | BIBLIOGRAPHIE..... | 120 |
| | ANNEXES..... | 126 |
| | RESUME..... | 128 |

Liste des figures

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Cartographie des sites échantillonnés..... | 15 |
| Figure 2 : a) Exemple d'étiquetage et b) Schéma des méthodes de mesures employées pour le suivi des groupes taxonomiques... | 16 |
| Figure 3 : Observation des paramètres « autres épibiontes » en bordure aquatique de mangrove | 17 |
| Figure 4 : Marquage d'un début de transect sur une racine de palétuvier..... | 18 |
| Figure 5 : Observation des paramètres « spongiaires » en bordure aquatique de mangrove..... | 18 |
| Figure 6 : Réseau hydrographique de la partie sud de la Martinique (BD Carthage)..... | 23 |
| Figure 7 : Carte de situation du site de la Cohé du Lamentin..... | 24 |
| Figure 8 : Racines immergées et sédiment de la station Cohé du Lamentin..... | 25 |
| Figure 9 : Carte du BV de Longvilliers (d'après Corine Land Cover 2006)..... | 26 |
| Figure 10 : Carte du BD de la Lézarde (d'après Corine Land Cover 2006) | 27 |
| Figure 11 : Carte de situation du site de Génipa – Pointe Merle | 27 |
| Figure 12 : Racines immergées et sédiment de la station Pointe Merle - Génipa..... | 28 |
| Figure 13 : Carte du BV "Caleçon" (d'après Corine Land Cover 2006)..... | 29 |
| Figure 14 : Carte du BV de la Manche (d'après Corine Land Cover 2006)..... | 30 |
| Figure 15 : Carte du BV de la rivière Salée (d'après Corine Land Cover 2006) | 31 |
| Figure 16 : Carte de situation du site de Baude | 31 |
| Figure 17 : Racines immergées et sédiment de la station Baude..... | 32 |
| Figure 18 : Carte du BV de la baie du Marin (d'après Corine Land Cover 2006) | 33 |
| Figure 19 : Carte de situation du site de Pointe Marin..... | 33 |
| Figure 20 : Racines immergées et sédiment de la station Pointe Marin | 34 |
| Figure 21 : Carte de situation du site de Grenade..... | 34 |
| Figure 22 : Racines immergées et sédiment de la station Grenade | 35 |
| Figure 23 : Carte du BV de la baie du Vauclin (d'après Corine Land Cover 2006) | 36 |
| Figure 24 : Carte du BV de la baie du Simon (d'après Corine Land Cover 2006)..... | 37 |
| Figure 25 : Carte de situation du site de Saintpée | 37 |
| Figure 26 : Racines immergées et sédiment de la station Saintpée..... | 38 |
| Figure 27 : Carte de situation du site de la baie des Requins..... | 39 |
| Figure 28 : Racines immergées et sédiment de la station Requins | 39 |
| Figure 29 : Cartes des BV de la baie du Robert et nord François (d'après Corine Land Cover 2006) | 40 |
| Figure 30 : Carte de situation du site de la baie du Trésor..... | 41 |
| Figure 31 : Racines immergées et sédiment de la station Trésor..... | 41 |
| Figure 32 : Carte du BV de la presqu'île de la Caravelle (d'après Corine Land Cover 2006)..... | 42 |
| Figure 33 : Températures mesurées lors des 4 campagnes aux 8 sites (n=3±SD) | 44 |
| Figure 34 : Salinités mesurées lors des 4 campagnes aux 8 sites (n=3±SD) | 44 |
| Figure 35 : pH mesurés lors des 4 campagnes aux 8 sites (n=3±SD) | 45 |
| Figure 36 : a) Quantité d'O ₂ dissous et b) Saturation en O ₂ , mesurées lors des 4 campagnes aux 8 sites (n=3±SD) | 45 |
| Figure 37 : Turbidités mesurées lors des 4 campagnes aux 8 sites (n=3±SD) | 46 |
| Figure 38 : Phosphates mesurés lors des 4 campagnes aux 8 sites (n=3±SD) | 46 |
| Figure 39 : a) Ammonium, b) Nitrates et c) Nitrites mesurés lors des 4 campagnes aux 8 sites (n=3±SD)..... | 47 |
| Figure 40 : Pourcentage général des occurrences des divers groupes étudiés sur les racines de palétuvier (n=80±SD). | 50 |
| Figure 41 : Pourcentage d'occurrence des divers groupes étudiés sur les racines de palétuvier (n=80±SD) aux 8 stations. | 51 |
| Figure 42 : Répartition des différents groupes taxonomiques échantillonnés en fonction de leur profondeur sur les racines. | 52 |
| Figure 43 : Pourcentage de présence des organismes sur les racines de palétuvier par côte (A=Atlantique et C=Caraïbe). | 54 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 44 : Pourcentage d'occurrences des ascidies sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites | 55 |
| Figure 45 : Boxplot du pourcentage d'occurrences des ascidies sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites..... | 55 |
| Figure 46 : Pourcentage d'occurrences des bivalves sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites | 56 |
| Figure 47 : Pourcentage d'occurrences des bryozoaires sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites.... | 57 |
| Figure 48 : Boxplot du pourcentage d'occurrences des bryozoaires sur les racines de palétuviers pour les 4 campagnes aux 8 sites. | 57 |
| Figure 49 : Pourcentage d'occurrences des cirripèdes sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites. | 58 |
| Figure 50 : Boxplot du pourcentage d'occurrences des cirripèdes sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites | 58 |
| Figure 51 : Pourcentage d'occurrences des éponges sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites | 59 |
| Figure 52 : Pourcentage d'occurrences des polychètes sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites | 60 |
| Figure 53 : Boxplot du pourcentage d'occurrences des polychètes sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites ... | 60 |
| Figure 54 : Pourcentage d'occurrences des cyanobactéries sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites.... | 61 |
| Figure 55 : Boxplot du pourcentage d'occurrences des cyanobactéries sur les racines de palétuviers pour les 4 campagnes aux 8 sites | 61 |
| Figure 56 : Pourcentage d'occurrences des macroalgues sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites | 62 |
| Figure 57 : Pourcentage d'occurrences du turf sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites | 63 |
| Figure 58 : Pourcentage de présence des organismes sur les racines de palétuvier en fonction des indices de pression anthropiques (1= très bon état, 2= bon, 3= moyen et 4= mauvais). | 64 |
| Figure 59 : PCO sur les sites de la côte Caraïbe. | 65 |
| Figure 60 : PCO sur les sites de la côte Atlantique. | 67 |
| Figure 61 : PCO sur l'ensemble des sites. | 68 |
| Figure 62 : PCO sur l'ensemble des sites des centroïdes pour l'interaction entre Site x Types de racines. | 69 |
| Figure 63 : Richesse cumulée sur les différents sites échantillonnés. | 78 |
| Figure 64 : Richesse cumulée pour toutes les racines observées. | 79 |
| Figure 65 : Moyenne du nombre d'individus (spongiaires) observés au dm ² sur les racines étudiées aux 8 sites. | 79 |
| Figure 66 : Moyenne du nombre d'espèces (spongiaires) observées au dm ² sur les racines étudiées aux 8 sites. | 80 |
| Figure 67 : a) Moyenne du nombre d'éponges par dm ² sur les racines. b) Moyenne du nombre d'espèces (spongiaires) au dm ² sur les racines. Pour les 8 sites en saison sèche (s) et humide (h) n= 40±SD. | 80 |
| Figure 68 : a) Moyenne du nombre d'éponges par dm ² sur les racines. b) Moyenne du nombre d'espèces (spongiaires) au dm ² sur les racines. Pour les 8 sites et les 4 campagnes (1 à 4). n= 40±SD. | 81 |
| Figure 69 : Richesse cumulée pour un sous-échantillon de 908 racines. | 81 |
| Figure 70 : PCO sur les sites de la côte Caraïbe. | 83 |
| Figure 71 : PCO sur les sites de la côte Atlantique. | 87 |
| Figure 72 : PCO sur l'ensemble des sites. | 87 |
| Figure 73 : Dispersion bi-variable parmi les moyennes de richesse par racine à tous les sites contre les moyennes des longueurs de racines par site. | 88 |
| Figure 74 : Nombre de racines aériennes (A) et fixées (F) à chaque site. | 89 |
| Figure 75 : Exemple d'étagement vertical des épibiontes sur des racines de palétuviers (Extrait de Hunting <i>et al.</i> 2008).. | 109 |

Liste des tableaux

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 1 : Liste détaillée des sites d'étude..... | 15 |
| Tableau 2 : Détails méthodologiques et précisions pour l'analyse des paramètres généraux | 20 |
| Tableau 3 : Occupation du sol du BV de Longvilliers (d'après Corine Land Cover 2006)..... | 25 |
| Tableau 4 : Occupation du sol du BV de la Lézarde (d'après Corine Land Cover 2006) | 26 |
| Tableau 5 : Occupation du sol du BV Caleçon (d'après Corine Land Cover 2006)..... | 28 |
| Tableau 6 : Occupation du sol du BV de la Manche (d'après Corine Land Cover 2006)..... | 29 |
| Tableau 7 : Occupation du sol du BV de la rivière Salée (d'après Corine Land Cover 2006) | 30 |
| Tableau 8 : Occupation du sol du BV du Marin (d'après Corine Land Cover 2006)..... | 32 |
| Tableau 9 : Occupation du sol du BV du nord du Vauclin (d'après Corine Land Cover 2006) | 35 |
| Tableau 10 : Occupation du sol du BV du nord du Simon (d'après Corine Land Cover 2006)..... | 36 |
| Tableau 11 : Occupation du sol du BV du nord du François (d'après Corine Land Cover 2006) | 38 |
| Tableau 12 : Occupation du sol du BV du nord du Robert (d'après Corine Land Cover 2006)..... | 40 |
| Tableau 13 : Occupation du sol du BV de la Caravelle (d'après Corine Land Cover 2006) | 42 |
| Tableau 14 : Description des principales pressions subies par les sites d'études | 43 |
| Tableau 15 : Définition des groupes utilisés dans l'étude des autres épibiontes. | 48 |
| Tableau 16 : PERMANOVA sur la matrice de dissimilarité de Bray-Curtis pour évaluer les différences entre les sites, la variation temporelle entre eux et les effets stations. | 65 |
| Tableau 17 : Analyse SIMPER entre les campagnes 1+2 et 3+4 pour le site de Cohé | 66 |
| Tableau 18 : Analyse SIMPER (par paires) entre le site du Marin et les autres sites de la côte Caraïbe..... | 66 |
| Tableau 19 : Analyse SIMPER entre les campagnes 1+2 et 3+4 pour le site du Marin..... | 67 |
| Tableau 20 : Analyse SIMPER (par paires) entre le site du Trésor et les autres sites de la côte Atlantique | 68 |
| Tableau 21 : Analyse multivariée de la dispersion entre les centroïdes site x campagnes Caraïbes et Atlantiques (PERMDISP). | 69 |
| Tableau 22 : PERMANOVA sur la matrice de dissimilarité de Bray-Curtis pour évaluer les différences entre les types de racines (fixes ou aériennes)..... | 69 |
| Tableau 23 : Analyse SIMPER (par paires) entre les types de racines à Cohé et au Marin..... | 70 |
| Tableau 24 : Classification des 40 espèces présentes sur les transects selon leur fréquence d'apparition sur les différents sites et leur abondance maximale lors d'une seule campagne d'observation..... | 72 |
| Tableau 25 : Pourcentage de racines colonisées par les 2 espèces les plus fréquentes sur chaque site..... | 73 |
| Tableau 26 : Distribution des espèces fréquentes sur les différents sites (x= présente et 0= absente). | 73 |
| Tableau 27 : Distribution des espèces rares sur les différents sites (x= présente et 0= absente)..... | 73 |
| Tableau 28 : Présence des spongiaires caractéristiques de mangrove sur les différents sites. | 74 |
| Tableau 29 : Répartition des observations de spongiaires par site et par campagne en fonction du nombre de racines colonisées observées. Les maximum font référence au maximum d'espèces présentes sur le site toutes campagnes confondues..... | 75 |
| Tableau 30 : PERMANOVA sur la matrice de dissimilarité de Bray-Curtis pour évaluer les différences entre les sites, la variation temporelle entre eux et les effets stations. | 82 |
| Tableau 31 : PERMANOVA sur la matrice de dissimilarité de Bray-Curtis pour évaluer les différences entre les sites, la variation temporelle entre eux et les effets stations. | 82 |
| Tableau 32 : Analyse SIMPER (par paires) entre le site de Cohé et les autres sites de la côte Caraïbe | 84 |
| Tableau 33 : Analyse SIMPER (par paires) entre le site de Marin et les autres sites de la côte Caraïbe..... | 85 |
| Tableau 34 : Analyse SIMPER dans le site du Marin entre les campagnes..... | 86 |
| Tableau 35 : PERMANOVA sur la longueur des racines..... | 88 |
| Tableau 36 : Préférence de biotopes des espèces d'éponges inventoriées. | 107 |
| Tableau 37 : Synthèse des conditions de milieu des sites de suivi..... | 112 |
| Tableau 38 : Comparaison du jeu d'indices de pression anthropiques avec la littérature existante..... | 115 |

Abréviations

| | |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AMBI | AZTI Marine Biotic Index (en) |
| ASP | Agence de Services et de Paiement |
| BD | Base de Données |
| BV | Bassin Versant |
| CCTP | Cahier des Clauses Techniques Particulières |
| CLC | CORINE Land Cover (en) |
| DCE | Directive Cadre européenne sur l'Eau |
| DDE | Direction Départementale de l'Équipement |
| DEAL | Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement |
| DIMAR | Diversité, évolution et écologie fonctionnelle MARine |
| DIN | Dissolved Inorganic Nitrogen (en) |
| DIREN | Direction Régionale de l'Environnement |
| FNU | Formazin Nephelometric Unit (en) |
| GPS | Global Positioning System (en) |
| ICPE | Installations Classées pour la Protection de l'Environnement |
| LDA | Laboratoire Départemental d'Analyse |
| ME | Masse d'Eau |
| MEC | Masse d'Eau Côtière |
| MEEDDM | Ministère de l'Écologie de l'Énergie du Développement Durable et de la Mer en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat |
| MET | Masse d'Eau de Transition |
| ODE | Office De l'Eau |
| OMMM | Observatoire du Milieu Marin Martiniquais |
| ONEMA | Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques |
| PAC | Politique Agricole Commune |
| PCO | Principal Coordinate Analysis (en) |
| PERMANOVA | PERmutational Multivariate ANalysis Of VAriance (en) |
| PERMDISP | PERMutational analysis of multivariate DISPersions (en) |
| PIT | Point Intercept |
| PNRM | Parc Naturel Régional de la Martinique |
| REPOM | REseau de surveillance de la qualité de l'eau et des sédiments des PORTs Maritimes |
| RNABE | Risque de Non Atteinte du Bon Etat |
| RNN | Réserve Naturelle Nationale |
| RNO | Réseau National d'Observation |
| ROCCH | Réseau d'Observation de la Contamination CHimique |
| RPG | Registre Parcellaire Graphique |
| SDAGE | Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux |
| SIG | Système d'Information Géographique |
| SIMPER | SIMilarity PERcentage (en) |
| STEP | STation d'EPuration |
| UAG | Université Antilles Guyane |
| ZNIEFF | Zone Naturelle d'Intérêt Faunistique et Floristique |

Préambule

La Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) n°2000/60, adoptée le 23 octobre 2000 et publiée au Journal Officiel de la Communauté Européenne du 22 décembre 2000, établit le cadre de la politique communautaire dans le domaine de l'eau. Cette directive engage les pays de l'Union Européenne dans un objectif de reconquête de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques.

Les études précédentes réalisées dans le cadre de l'application de la DCE en Martinique ont permis de mettre en évidence les différences fondamentales du milieu littoral des îles tropicales avec celui de l'Europe continentale, et donc la nécessaire adaptation des méthodologies proposées par le groupe de travail littoral DCE.

Ainsi, des méthodologies ont dû être développées afin de répondre conjointement aux exigences de la DCE et du contexte local particulier. Depuis 2006, plusieurs de ces protocoles « DCE compatibles » sont appliqués en Martinique pour la définition des états de référence et l'évaluation de l'état des masses d'eau côtières et de transition.

Dans le cadre de l'application de la DCE en Martinique, le compartiment marin des écosystèmes de mangrove fait l'objet d'un suivi régulier. En effet, parmi les quatre Masses d'Eau de Transition (MET) identifiées, trois comportent une ou plusieurs zones de mangroves. Les éléments étudiés à l'heure actuelle sont la qualité physicochimique de l'eau et la macrofaune endogée de substrat meuble. Les premiers résultats concernant l'utilisation de la macrofaune comme bioindicateur de l'état de santé des mangroves semblent prometteurs (Bigot & Amouroux 2008) mais des adaptations sont encore nécessaires pour son application en Martinique. Cette analyse repose actuellement sur l'utilisation de l'indice biotique M-AMBI qui intègre la diversité, la richesse spécifique et l'indice AMBI basé sur la classification des espèces selon 5 groupes trophiques de polluo-sensibilité croissante.

Afin d'étendre cette approche bioindicatrice au niveau de la colonne d'eau, il a été envisagé, dans le cadre de la DCE (cahier des charges : définition de l'état de référence des différentes masses d'eau côtières et masse d'eau de transition « types » de la Martinique, 2006), de réaliser un suivi des communautés d'épibiontes des racines de palétuviers. En l'absence de connaissances sur ce compartiment, il a été décidé de réaliser, en 2010 une étude exploratoire sur les communautés épibiontiques. Un travail préalable d'analyse bibliographique (Impact Mer 2009a) avait permis de mettre en exergue le groupe des spongiaires en termes de bioindicateurs potentiels de la qualité de l'eau.

Ainsi les objectifs du présent travail sont 1) d'améliorer les connaissances sur les communautés d'épibiontes des racines de palétuviers, 2) de définir des indices pertinents pour le suivi des épibiontes, 3) de définir dans la mesure du possible des classes de qualités et les profils écologiques des espèces de spongiaires dominantes et 4) de réaliser un pré-Atlas des spongiaires épibiontes des racines de palétuviers.

A. Contexte et objectifs de l'étude

1 La Directive Cadre européenne sur l'Eau

1.1 Présentation de la Directive Cadre sur l'Eau et mise en œuvre dans les eaux littorales martiniquaises

La Directive Cadre sur l'Eau (ou DCE : Parlement Européen & Conseil de l'Union Européenne 2000) a été publiée au Journal Officiel de la Communauté Européenne le 22 décembre 2000 et est donc entrée en vigueur à cette date. La directive établit un cadre pour la protection de l'ensemble des eaux des pays européens.

Les objectifs environnementaux de la DCE pour toutes les masses d'eau de surface sont (Article 4) :

- prévenir la détérioration de l'état de toutes les masses d'eau de surface ;
- protéger, améliorer et restaurer afin de parvenir à un « bon état » des eaux de surface au plus tard en 2015 ;
- mettre en œuvre les mesures nécessaires afin de réduire progressivement la pollution due aux substances prioritaires et d'arrêter ou de supprimer progressivement les émissions, les rejets et les pertes de substances dangereuses prioritaires.

Eaux de surface

Les eaux intérieures, à l'exception des eaux souterraines, les eaux de transition et les eaux côtières, sauf en ce qui concerne leur état chimique, pour lequel les eaux territoriales sont également incluses (Parlement Européen & Conseil de l'Union Européenne 2000).

Pour permettre d'évaluer si les États membres répondent à ces objectifs, il est notamment nécessaire de :

- caractériser le district hydrographique et identifier les différentes masses d'eau (Article 5) et leur typologie → travail réalisé en Martinique en 2004 (Asconit Consultants & Impact Mer 2005a, b) ;
- définir ce qu'est le « bon état » pour un type de masse d'eau donné → objet d'une première étude en 2007/2008 en Martinique puis de celle des années suivantes (Impact Mer & Pareto Ecoconsult 2008b, 2009b, 2010a) ;
- évaluer à partir de ce référentiel, l'évolution de l'état des masses d'eau c'est-à-dire conduire un programme de surveillance de l'état des eaux (Article 8) → objet de rapports définissant l'état écologique des Masses d'Eau Côtières (MEC) et de Transition (MET) en Martinique pour les années 2007, 2008, 2009, 2010 et 2011 (Impact Mer & Pareto Ecoconsult 2008a, 2009a, 2010b).

Ainsi, la Martinique puis la Guadeloupe, ont été les premiers DOM à avoir mis en place un suivi DCE dans leurs masses d'eau littorales. Pour cela, des méthodologies « DCE compatibles » et adaptées au contexte insulaire antillais ont été développées conjointement dans ces deux départements. La plupart de ces protocoles ont été validés en février 2007 par la DIREN Martinique et la DIREN/DDE de Guadeloupe.

1.2 L'application de la DCE en Martinique : rappels

1.2.1 Spécificités du milieu littoral martiniquais

La DCE et notamment les guides méthodologiques édités pour l'application de celle-ci dans les états membres sont basés essentiellement sur les conditions et milieux littoraux de l'Europe continentale et son climat tempéré. La Martinique est une île située dans la Caraïbe. Elle présente des particularités liées à son milieu tropical et insulaire dont il faut tenir compte. Les principales spécificités locales sont les suivantes :

- l'hydrologie particulière due à une conjonction de facteurs : faible superficie des bassins versants, relief volcanique, érodabilité des sols et intensité des précipitations qui ont une incidence directe sur le transport solide et dissous, et en particulier celui des pollutions ;
- la géomorphologie particulièrement complexe formant un patchwork de biotopes différents tout autour de la Martinique (côte découpée, baies fermées, récif barrière, récifs frangeants etc.) qui a permis l'installation d'écosystèmes interdépendants étroitement imbriqués ;
- la sensibilité extrême des écosystèmes littoraux vis à vis des nutriments et des formes de pressions ;
- le manque de connaissances sur les pressions anthropiques exercées sur les bassins versants et le milieu littoral, dont l'importance est liée à une densité de population et un niveau de vie très élevés ;

- le manque de connaissances sur le milieu littoral, notamment l'hydrodynamique (courants, agitations, transports sédimentaires...), la qualité des eaux et des sédiments, l'état de santé, la sensibilité et la vulnérabilité des biocénoses ;
- le manque de méthodologies normalisées et de conditions de référence «DCE compatibles» applicables aux multiples écosystèmes littoraux des Antilles, notamment concernant les Masses d'Eau de Transition ;
- la pauvreté actuelle en réseaux de surveillance et une carence certaine en spécialistes au niveau national et international pour la détermination des espèces et l'étude de nombreux phyla, mais aussi en moyens locaux, notamment en analyses chimiques. Ceci freine les progrès en terme de connaissance scientifique, mais a aussi une incidence directe sur la faisabilité et les coûts d'analyses devant être effectuées en métropole.

1.2.2 La délimitation des masses d'eau littorales en Martinique

L'état des lieux du district hydrographique de la Martinique (Asconit Consultants *et al.* 2005) a permis de délimiter 23 Masses d'Eau (ME) littorales réparties en huit types (19 ME côtières réparties en 7 types et 4 ME de transition représentant un type). Cette délimitation a été réalisée selon les critères suivants : trait de côte, bathymétrie, variations de l'exposition aux vents, houle atlantique et courants, pressions littorales, bassin versant, diversité et sensibilité des biocénoses littorales (type eutrophisation, hypersédimentation et écotoxicité).

La délimitation de ces masses d'eau a pour objectif d'identifier des secteurs plus ou moins homogènes sur lesquels sont évalués les risques de non réalisation des objectifs environnementaux assignés par la DCE (RNABE : Risque de Non Atteinte du Bon État).

Note : en Martinique, la plupart des MET (toutes sauf FRJT001) correspondent à un écosystème remarquable, la mangrove.

1.2.3 Le choix des paramètres / bioindicateurs et des protocoles de suivi

Depuis janvier 2010, les éléments de suivi DCE pour la Martinique et la Guadeloupe sont listés dans l'Annexe 1 de l'Arrêté ministériel (MEEDDM 2010).

Les paramètres et protocoles de suivi préconisés par la DCE pour les masses d'eau françaises (Pelouin-Grouhel 2005 et Guillaumont & Gauthier 2005) sont adaptés aux eaux tempérées de l'Europe continentale. La Martinique a été le premier département d'Outre-Mer à appliquer la DCE sur son territoire et aucun élément de cadrage n'a été élaboré pour permettre l'application de la législation en milieu tropical. Pour cette raison, il a été **nécessaire d'adapter les paramètres et les protocoles concernant les paramètres biologiques**. Ce travail a été établi à partir de données bibliographiques et de concertations avec différents acteurs du milieu marin antillais (DIREN, UAG, OMMM, bureaux d'études). La synthèse de ces éléments a été réalisée par Impact-Mer dans la « Définition du réseau de surveillance des masses d'eau littorales de la Martinique » (Impact Mer 2006).

Jusqu'à aujourd'hui, plusieurs communautés biologiques ont été analysées afin d'étudier l'état des Masses d'Eau littorales. Ainsi, les récifs coralliens, les herbiers, le phytoplancton et l'endofaune sont suivis en Martinique. Les mangroves, écosystèmes remarquables des zones tropicales, représentatives de la plupart des MET n'ont reçu à ce jour qu'une attention limitée (étude de l'endofaune présente dans le sédiment et paramètres physico-chimiques).

2 Les mangroves

2.1 Généralités

A la jonction entre la mer et la terre, les mangroves jouent un rôle écologique majeur dans les milieux côtiers tropicaux (Feller & Sitnik 1996). Elles protègent la côte de l'action des vagues, notamment lors de tempêtes ou tsunamis (Chang *et al.* 2006, Granek & Ruttenberg 2007, Olwig *et al.* 2007), retiennent les sédiments venus des terres et forment un habitat et une nurserie pour des espèces tant terrestres qu'aquatiques. Elles occupent plusieurs millions d'hectares du littoral tropical (FAO 2007) et renferment de nombreuses espèces remarquables. Malgré leur importance, ces milieux ont longtemps été déconsidérés et sont encore, actuellement, sujets à de multiples pressions anthropiques en particulier dans la région des Caraïbes (Ellison & Farnsworth 1996). Durant les 50 dernières années, 50% des mangroves ont subi les effets de la déforestation (Singh & Odaki 2004). Dans ce contexte, il apparaît donc important de développer une méthodologie d'évaluation de la santé de cet écosystème.

2.2 Les épibiontes

Les épibiontes des racines de palétuviers sont présents dans toutes les mangroves du monde. Les racines de palétuviers de la frange littorale sont souvent les seuls substrats durs disponibles pour les algues et les invertébrés marins (Ellison & Farnsworth 1992). Celles-ci peuvent être totalement recouvertes par des **épibiontes**, majoritairement des organismes filtreurs appartenant à des taxons très divers.

C'est dans la région Caraïbe que la richesse spécifique des communautés fixées est la plus élevée (supérieure à 100 espèces). En effet, la faible amplitude des marées et la sédimentation littorale modérée favorisent la colonisation des racines subtidales (Farnsworth *et al.* 1996). Ces communautés ont été décrites dans divers lieux des Caraïbes : Floride (Bingham 1992), Puerto Rico (Rodriguez & Stoner 1990), Vénézuéla (Díaz *et al.* 1992, Orihuela *et al.* 1991), Belize (Ellison & Farnsworth 1992), Guadeloupe (Sheridan 1991, 1992, Toffart 1980) etc. Dans chacune de ces études il apparaît que le taux de recouvrement et la composition spécifique des épibiontes sur les racines sont très fluctuants. Ces paramètres peuvent varier à l'échelle du site mais aussi à l'échelle du système racinaire.

Épibiontes

Organismes se développant fixés à une surface vivante (Wahl 1989)

Taxons concernés

L'épifaune et l'épiflore des racines de palétuviers sont composées de nombreuses espèces appartenant à des groupes taxonomiques très variés. On observe diverses algues, des éponges, des mollusques (bivalves principalement), des ascidies, des cirripèdes (balanes), des bryozoaires, des anémones, des polychètes, etc. La répartition de ces espèces sur les racines répond principalement à un étagement vertical. Dans les mangroves de la région caraïbe, les éponges encroûtantes et les ascidies sont particulièrement abondantes (Díaz *et al.* 2004, Toffart 1980). Certaines espèces sont présentes à la fois dans les mangroves et dans les récifs coralliens ou les herbiers adjacents. Dans ce cas, les individus peuvent présenter une physiologie et un métabolisme (morphotypes, taux de croissance, etc.) différents (Duran & Rützler 2006, Goodbody 1996, Swearingen & Pawlik 1998). D'autres espèces semblent endémiques ou du moins spécialisées à la mangrove (phénomène de spéciation de deux populations : Rützler *et al.* 2007).

En Guadeloupe, Toffart 1980) a fait un inventaire faunistique de près de 60 espèces (éponges, cnidaires, bryozoaires, mollusques, annélides, crustacés, échinodermes, ascidies). Aucune des espèces composant le peuplement épibionte n'est apparue exclusivement cantonnée aux racines. En revanche, les densités observées dans la mangrove étaient plus importantes que dans les autres milieux. Les deux taxons caractéristiques de cet inventaire se sont révélées être les **éponges** et les **ascidies**.

Quelques références bibliographiques concernent les **communautés algales** associées aux racines de *Rhizophora mangle* (Rodriguez & Stoner 1990) ou les pneumatophores d'*Avicennia marina* (Melville & Pulkownik 2006, 2007, Melville *et al.* 2005, Naidoo *et al.* 2008). Parmi ces références existantes, Toffart 1980, dans son inventaire d'épibiontes, a identifié 25 espèces d'algues en Guadeloupe dont 11 en commun avec Parguera (Puerto Rico).

3 Notion de bioindicateur

3.1 Généralités

Les indicateurs environnementaux sont des outils essentiels dans le suivi de l'état de santé de l'environnement côtier. Les épibiontes des racines de palétuviers représentent un compartiment biologique important dans l'écosystème mangrove mais très peu d'études traitent de leur utilisation comme bioindicateurs (Guerra-Castro *et al.* 2011b).

Indicateur
environnemental

Un indicateur est un signe ou un signal qui relaie un message complexe d'une manière simplifiée et utile fournissant un aperçu sur une tendance ou un événement qui ne peut être directement observé (Linton & Warner 2003).

Différents types de bioévaluation existent : des indicateurs de la biodisponibilité en contaminants, des indicateurs dont on étudie le métabolisme, des espèces ou groupes d'espèces indicateurs par leur

présence/absence/abondance ou encore leur comportement (exemple des éponges perforantes), des indices biotiques et indicateurs de biodiversité...

3.2 Utilisation des épibiontes comme indicateurs de santé de la mangrove : les perspectives

3.2.1 Les huîtres

La problématique de la capacité d'accumulation des contaminants de l'espèce d'huître *Isognomon alatus* étudiée dans le réseau ROCCH en Martinique, est traitée dans de nombreux travaux (Katayon *et al.* 2004, Koike *et al.* 1998, Saed *et al.* 2002). Cet organisme apparaît être un bon indicateur pour les pollutions aux métaux lourds (Ismail 2006). Cependant, ces analyses nécessitent (1) le prélèvement d'huîtres dans le milieu naturel, (2) des manipulations et dosages en laboratoire. Aucune étude sur la répartition de cette espèce selon un gradient de pollution n'a été trouvée à ce jour. Leur tolérance aux milieux perturbés est une des raisons pour lesquelles les bivalves sont utilisés dans tous les réseaux de biosurveillance (RNO-ROCCH, Mussel Watch...).

3.2.2 Les polychètes

Il a été observé en mer Caraïbe que la composition spécifique en polychètes variait entre les stations polluées, en particulier aux hydrocarbures, et celles qui ne le sont pas (Londoño-Mesa *et al.* 2002). Certaines espèces se sont révélées plus présentes dans chacun des types de stations.

3.2.3 Les éponges

Perez (2001) a étudié le potentiel des spongiaires en tant que bioindicateurs de la qualité de l'environnement littoral : «Les spongiaires répondent à l'ensemble des critères de sélection de bons bioindicateurs. Dans l'optique de participer à la création d'un système d'évaluation de la qualité des eaux littorales, plusieurs exemples démontrent le potentiel des spongiaires, grâce à leur mode de vie, leurs relations avec des micro-organismes symbiotiques et leurs réactions vis-à-vis de plusieurs types d'altérants. Leur simplicité d'organisation constitue aussi un avantage pour la recherche de réponses biologiques aux stress». D'autres études traitent de la bioaccumulation de métaux lourds par des espèces de spongiaires (en Méditerranée : Cebrian *et al.* 2007).

Un des projets Liteau (Perez *et al.* 2002) est ainsi basé sur la définition des conditions d'utilisation des spongiaires, gorgonaires et bryozoaires comme indicateurs de pollution (étude axée sur des Masses d'Eau Côtières plus que des Masse d'Eau de Transition, secteur d'étude : Marseille). La capacité d'accumulation des spongiaires permettrait leur utilisation en tant que bioindicateurs à de faibles niveaux de pollution. Ainsi, «les spongiaires sont des bioaccumulateurs de polluants pouvant fournir des indications comparables à celles données par les mollusques des milieux superficiels (moules, huîtres) mais sur un plus vaste gradient vertical». Pour cette étude, l'auteur adopte une double démarche : « (1) la détection des polluants et leur quantification, (2) l'évaluation des effets des polluants sur les populations et assemblages d'organismes représentatifs des communautés».

En outre, une étude sur les côtes rocheuses au Brésil montre qu'une analyse comparative des indices (indices de diversité de Shannon, d'équitabilité de Pielou...) et de la distribution des communautés d'éponges peut constituer un bon modèle biologique pour réaliser le suivi environnemental des eaux potentiellement polluées (Muricy 1989).

Dans les mangroves, peu d'études existent sur le potentiel d'utilisation des éponges épibiontes comme bioindicateurs de l'état de santé de la Masse d'Eau. Seuls Díaz *et al.* 2004 et Guerra-Castro *et al.* 2011b ont traité de ce sujet. Dans ces études, la structure et la dynamique des populations d'éponges ont été étudiées dans deux sites des Caraïbes afin d'évaluer le potentiel d'utilisation de ces organismes comme indicateurs de la santé de la communauté épibionte. Il ressort de ces travaux que :

1. le protocole d'échantillonnage utilisé doit être adapté car la plupart des espèces d'éponges ont une répartition limitée ;
2. la richesse spécifique des éponges pourrait être utilisée comme bioindicateur à condition d'avoir des séries temporelles de données permettant d'identifier les variations sur le court terme (phénomène exceptionnel) ;

3. dans un lieu donné, il est nécessaire de déterminer les familles/espèces les plus fréquentes et abondantes dans des conditions environnementales « normales »: c'est la présence/absence de ces taxons qui pourraient servir de bioindicateur.

Parmi les conditions requises pour sélectionner une espèce bioindicatrice, il faut qu'elle soit **identifiable**, **normalement abondante** dans le site d'étude, **facile à échantillonner** (suffisamment abondante dans le milieu notamment) et qu'elle montre une **réponse claire** aux facteurs de stress affectant la communauté (Linton & Warner 2003). Pour ce faire, dans un lieu donné, une étude préalable sur la richesse, la distribution et la dynamique des espèces potentielles est nécessaire. A Belize, Díaz *et al.* 2004 ont retenu certaines espèces de spongiaires dites « spécialistes des mangroves ¹ » ayant une large distribution et une fréquence de colonisation importantes sur les racines de palétuviers. Ainsi les espèces des familles Chalinidae et Mycalidae semblent ainsi avoir un grand potentiel en terme d'indication d'état de santé des mangroves étudiées au Belize.

3.2.4 Utilisation de groupes fonctionnels et d'abondances relatives

Afin d'évaluer l'état de santé du milieu marin, de plus en plus d'études se tournent vers une approche plus fonctionnelle : ce n'est plus une espèce bioindicatrice qui est utilisée mais un assemblage d'organismes. C'est la démarche utilisée par Bigot & Amouroux 2008 pour l'étude de l'endofaune des Masses d'Eau de Transition (DCE Martinique).

Dans sa thèse, Toffart 1980 évaluait l'indice d'abondance relative des espèces les plus communes des racines de palétuviers de Guadeloupe (> 14%). Les éponges et les ascidies coloniales apparaissaient comme les groupes taxonomiques les plus caractéristiques. Partant de ce résultat, il distingue trois groupes de racines en fonction de l'abondance des peuplements d'éponges et de tuniciers : type I recouvrement d'éponges et de tuniciers de plus de 30%, type II recouvrement d'éponges et de tuniciers inférieur à 30% et type III absence des deux groupes. Un des résultats obtenus est le suivant : la diversité spécifique est plus importante sur les racines de type I et II que dans le type III. En mesurant la proportion de chaque type de racine dans chaque station, trois types de bordures lagunaires sont identifiés. Ce dernier résultat permet de déterminer le pourcentage de littoral occupé par chaque type de bordure entre 1976 et 1980 et ainsi de suivre l'évolution du compartiment marin lagunaire.

4 Objectifs de l'étude

4.1 Objectifs généraux

Le projet d'étude de recherche et de développement d'outils d'évaluation de la qualité biologique des Masses d'Eau de Transition martiniquaises à partir des épibiontes des racines de palétuvier a pour objectif général de développer un outil de bioindication utilisable en Martinique et donnant des résultats fiables et reproductibles dans le cadre d'un suivi pérenne des MET.

Ce projet s'inscrit dans le respect des objectifs, des recommandations et des principes méthodologiques définis au titre de la DCE.

4.2 Objectifs spécifiques

Comme cité précédemment, cette étude est conduite avec la double préoccupation de l'application des principes des méthodologies existantes en France continentale métropolitaine et DCE compatibles et de la recherche de la meilleure adaptation possible au contexte tropical insulaire de l'île de la Martinique. Les spongiaires étant également présents en métropole, le développement d'un bioindicateur basé sur ce seul embranchement dans un premier temps, peut s'inspirer de l'expertise métropolitaine dans le domaine.

Le développement de cet outil nécessite l'acquisition de connaissances exploitables immédiatement et de données récoltées dans un contexte opérationnel bien défini et organisé. Ces données sont pour certaines acquises dans le cadre de cette étude, d'autres sont intégrées à partir des suivis existants. Plusieurs étapes préalables à l'obtention d'un outil complet se révèlent alors incontournables et peuvent se traduire en objectifs spécifiques.

Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- l'amélioration des connaissances sur les communautés d'épibiontes des racines de palétuviers (en particulier des spongiaires) des mangroves de Martinique : description taxinomique des espèces dominantes, en vue d'une amélioration de la connaissance de la biodiversité de ces milieux ;

¹ Les auteurs distinguent deux groupes d'espèces d'éponges : les généralistes ayant une large gamme d'habitats (racines de palétuviers, herbier, récif corallien, etc) et les spécialistes qui sont essentiellement présentes dans les mangroves.

- la définition d'indices pertinents pour le suivi des épibiontes, sur la base des propositions de la synthèse bibliographique (Impact Mer 2009b) quant aux métriques pertinentes par élément suivi (richesse spécifique, abondance, distribution, pourcentage de recouvrement, etc.) ;
- la définition des classes de qualité et les profils écologiques des espèces de spongiaires dominantes, afin de proposer une stratégie de bioévaluation adaptée aux Masses d'Eau de Transition martiniquaises ;
- la réalisation d'un pré-Atlas des épibiontes des racines de palétuviers, avec une première étape centrée sur les **spongiaires des mangroves martiniquaises**. Cet Atlas doit être utilisable par tous les experts et gestionnaires compétents pour l'identification des espèces rencontrées dans les mangroves de Martinique, et pour une mise en application facilitée de l'indice proposé. Cet outil est central pour la mise en œuvre d'un suivi pérenne. Il doit contenir les clefs de détermination et la classification des différents taxons, leur répartition, leurs exigences écologiques, la liste des taxons ainsi identifiés.

S'intéressant à toutes les étapes qui conduisent à l'utilisation d'un outil indiciel, ce programme doit permettre d'apporter aux divers acteurs intervenant dans le domaine de l'étude et du suivi des milieux aquatiques des protocoles complets d'échantillonnage des matériels biologiques ainsi que des moyens de traitements et d'interprétation des données.

Cette étude correspond à une première étape du programme ambitieux qui vient d'être détaillé. Elle s'inscrit dans la mise en œuvre d'actions proposées par le Schéma Directeur des Données sur l'Eau du bassin Martinique et identifiées au titre du SDAGE, actuellement en révision.

B. Matériel et méthode

1 Sites échantillonnés

Les huit sites échantillonnés pendant l'ensemble des campagnes ont été arrêtés en accord avec le maître d'ouvrage (Tableau 1).

Tableau 1 : Liste détaillée des sites d'étude

| Code Masse d'eau | Masse d'Eau | Station | Type DCE | Code station Sandre / Q2 | X (WGS84 UTM 20 Nord) | Y (WGS84 UTM 20 Nord) |
|------------------|-----------------------------------|------------------|-------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| FRJT003 | Mangrove de la Rivière Lézarde | Cohé du Lamentin | Aucun | | 713140 | 1615286 |
| FRJT004 | Mangrove de la Baie de Génipa | Pointe Merle | Aucun | | 714310 | 1610773 |
| FRJC010 | Baie du Marin | Pointe Marin | Aucun ROCCH | 08999406 125-P-031 | 728704 | 1598311 |
| FRJC010 | Baie du Marin | Baude | Aucun | | 729350 | 1598330 |
| FRJC006 | Littoral du Vauclin à Sainte-Anne | Grenade | Aucun | | 733486 | 1611607 |
| FRJC008 | Littoral du François au Vauclin | Baie de Saintpée | Aucun ROCCH | 08999407 125-P-032 | 728138 | 1621913 |
| MET | MET du Robert | Baie des Requins | Référence | 08999404 | 724775 | 1625187 |
| FRJC013 | Baie du Trésor | Baie du Trésor | Aucun | | 727880 | 1633596 |

Afin d'avoir une vision globale des populations d'épibiontes de racines de palétuviers, ces sites se répartissent sur le pourtour martiniquais (Figure 1). Le descriptif détaillé des 8 sites de suivi est réalisé au chapitre suivant.

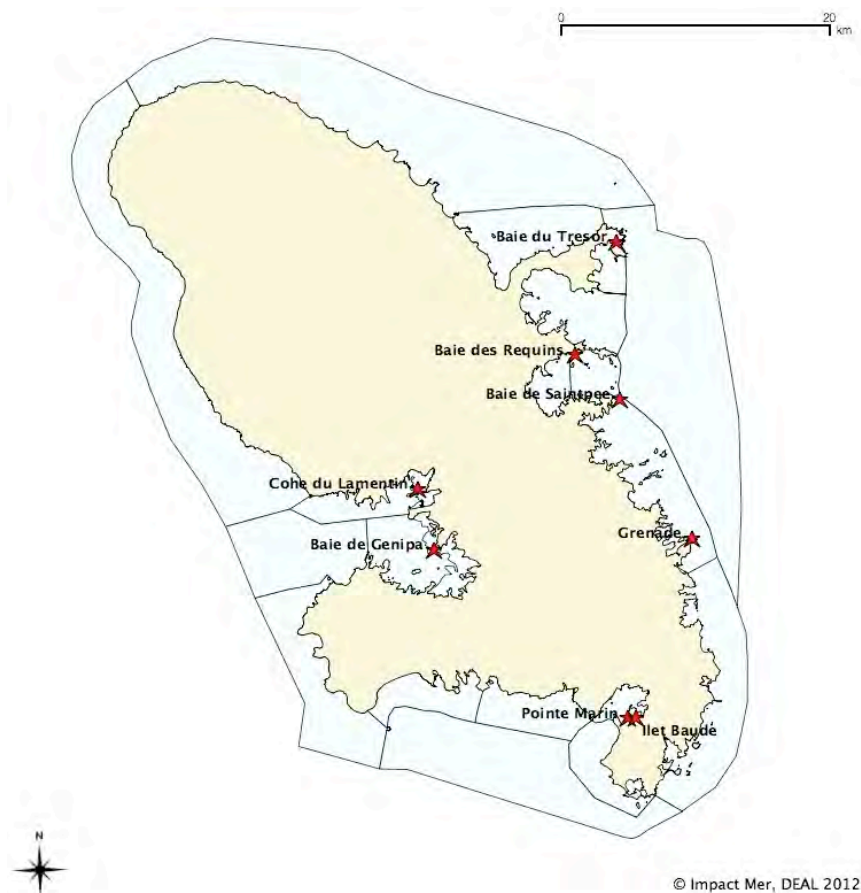


Figure 1 : Cartographie des sites échantillonnés

2 Méthodologie

Les conditions de visibilité dans les mangroves martiniquaises ne permettent pas d'appliquer la plupart des protocoles décrits dans la littérature. Pour cette raison, Toffart 1980 avait choisi en Guadeloupe de récolter les racines (en les sciant) puis de les analyser en laboratoire afin de connaître la composition précise des peuplements fixés sur les racines de palétuviers. Cependant, afin de préserver l'intégrité de l'écosystème, des techniques d'échantillonnage des épibiontes non destructives ont été privilégiées dans la mesure du possible. L'accès aux sites s'est fait par voie nautique puis à la nage pour l'observation sous-marine des racines.

Les différentes techniques d'échantillonnage employées au cours de cette campagne d'observation et de prélèvements sont telles que prévues par la note méthodologique, validée par le maître d'ouvrage et par les experts du groupement de compétences constitué pour cette étude. Les techniques d'échantillonnage utilisées ont été développées en combinant et en adaptant les méthodologies de suivi utilisées dans la région caribéenne. Notons cependant que la plupart de ces études concernent des mangroves caractérisées par une eau particulièrement claire². Les franges littorales des mangroves martiniquaises, à l'inverse, sont des masses d'eau souvent turbides. Ainsi, des ajustements méthodologiques ont du être réalisés sur le terrain.

Les suivis décrits ci après sont réalisés durant deux années, à raison de deux campagnes par année, une en saison sèche (février-mars, saison localement appelée le "Carême") et une en saison humide (novembre, durant l'"Hivernage"), entre novembre 2010 et mars 2012. Au total quatre campagnes ont donc été réalisées, les campagnes intermédiaires ayant fait l'objet chacune d'un rapport séparé (Impact Mer & Ginger Environnement 2011b, Impact Mer & Ginger Environnement 2011a, Impact Mer & Ginger Environnement 2012a).

2.1 Paramètres biologiques

2.1.1 Suivi des groupes taxonomiques généraux

En l'absence de connaissances fondamentales sur les épibiontes des racines de palétuviers de Martinique, il a été choisi de suivre la dynamique de **l'ensemble des groupes faunistiques et floristiques**.

Le protocole décrit dans la note méthodologique a été affiné sur le terrain lors de la première campagne. Il reste cependant basé sur le travail de Díaz *et al.* 1992) réalisé au Venezuela.

Vingt racines, de préférence 10 aériennes et 10 fixées, ont été choisies aléatoirement, puis marquées à l'aide de petites étiquettes en PVC. Les numéros ont été attribués pour chaque site, pour chaque racine de 1 à 20.

L'échantillonnage a été réalisé suivant la technique du point intercept (PIT, Figure 3). Pour 30 points répartis de manière équidistante le long de chaque racine de haut (zéro biologique) en bas, le groupe taxonomique faunistique ou floristique situé sous le point intercept a été noté (Figure 2).

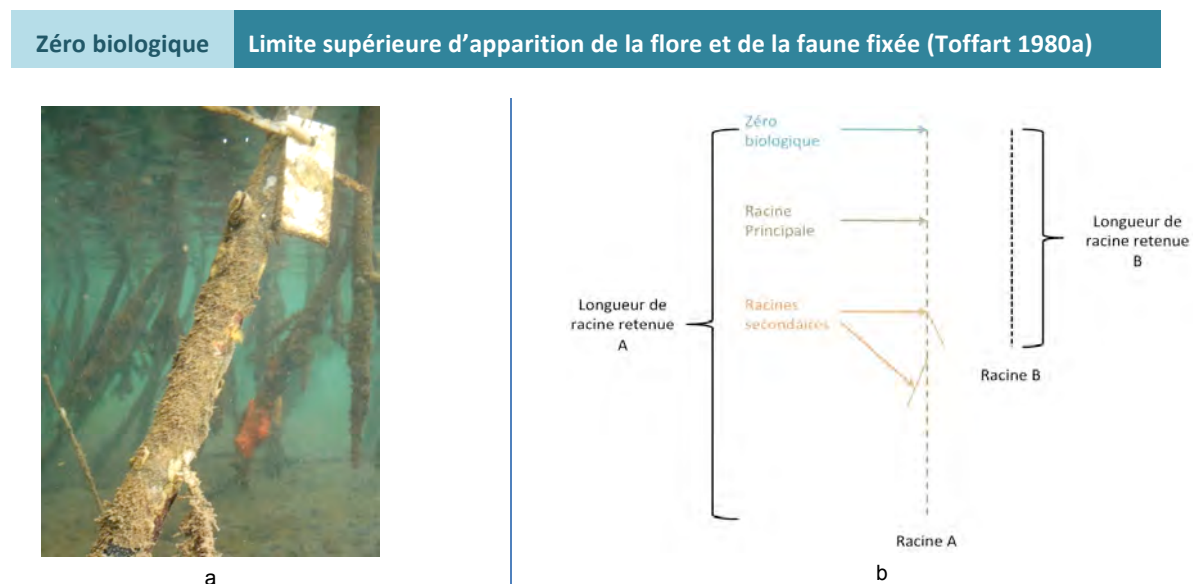


Figure 2 : a) Exemple d'étiquetage et b) Schéma des méthodes de mesures employées pour le suivi des groupes taxonomiques. Chaque tiret correspond à un point intercept, soit 30 tirets par racine (on note que la profondeur des points intercepts échantillonnés varie donc d'une racine à l'autre).

² Raison pour laquelle la plupart des études sur les épibiontes de la littérature concernent ces lieux (facilité d'échantillonnage avec des méthodes non destructives)

Ce suivi a toujours été réalisé sur la face droite de la racine. Les faces avant et arrière ont en effet été évitées, car pouvant être des zones de peuplements particuliers, du fait de leur exposition à la lumière, potentiellement favorable ou non aux organismes photosynthétiques ou sciaphiles. En cas de séparation en racines secondaires, c'est toujours la racine la plus longue ou la racine visiblement principale qui a été observée. Les organismes observés ne pouvant pas tous être déterminés à des niveaux taxonomiques poussés, il a été décidé de les regrouper de la manière suivante : macroalgues (MA), "turf" (TU), cyanophycées et autres organismes photosynthétiques filamenteux (CYA), spongiaires (SP), polychètes (POLY), bivalves (BIV) et autres mollusques (MOLL), cirripèdes (CIR), anémones (AN), bryozoaires (BRYO), gorgones (GO) et ascidies (ASC).



Figure 3 : Observation des paramètres « autres épibiontes » en bordure aquatique de mangrove

2.1.2 Spongiaires des mangroves

L'identification des spongiaires est faite de deux façons complémentaires :

- *in situ*, par observation, mesure et identification des espèces communes présentes sur les racines de palétuviers,
- et en laboratoire, après analyse des éléments des squelettes pour les espèces moins communes. Car les spicules et leur arrangement formant le squelette des spongiaires sont la base de la taxonomie de ce groupe.

Le protocole décrit ci-après a été défini à partir d'une synthèse bibliographique basée sur des études similaires d'inventaire et de suivi spatio-temporel des épibiontes et notamment des spongiaires (Ellison & Farnsworth 1992, Rützler *et al.* 2004, Díaz *et al.* 2004, Díaz & Rützler 2009, Hunting *et al.* 2008).

Trois transects pérennes de 10 m linéaires bordant la mangrove ont été matérialisés sur chacun des sites par un repère fixe (plaquette numérotée). Cette pérennité des transects permet d'assurer une bonne reproductibilité de l'échantillonnage entre les campagnes de terrain.

Le positionnement des transects, choisi lors de la première campagne, est fonction de la présence des spongiaires sur les racines (les zones exemptes d'organismes ont été évitées intentionnellement après un rapide repérage initial du site) et des conditions de terrain (profondeur, visibilité etc.) La distance entre chaque transect est variable d'un site à l'autre (de 0 à 40 m de distance).

Pour chaque campagne, le transect est parcouru à la nage et pour chaque racine colonisée par des éponges (unité d'échantillonnage) sont notées les espèces de spongiaires rencontrées ainsi que divers paramètres. Seules les racines de la frange extérieure sont considérées (racines en contact direct avec le transect ou à moins de 1 mètre de distance).



Figure 4 : Marquage d'un début de transect sur une racine de palétuvier

Observations *in situ*

Pour chaque individu observé, les paramètres relevés sont les suivants :

- *Genre espèce (si identification réalisable in situ)*

Les espèces communes ou facilement identifiables par un spongiologue (Sophie Carteron, Ginger Environnement) ont été indiquées directement sur le terrain, afin de ne pas endommager ou détruire les organismes vivants et de ne pas fausser les suivis ultérieurs.

Si le spécimen n'était pas identifiable ou si un doute subsistait quant à son identification, un morceau d'échantillon était prélevé (8 à 20 cm³) pour analyse ultérieure du squelette et détermination en laboratoire.

- *Profondeur (par rapport au zéro biologique)*

La profondeur de l'individu par rapport au zéro biologique permet d'étudier la répartition verticale des spécimens à partir d'un point fixe. Elle a été mesurée avec un mètre souple en cm. Le fond étant trop variable et le niveau de l'eau n'étant pas identique selon les heures et coefficients de marée, le zéro biologique été retenu comme point de référence vertical.

- *Numéro de la photo prise in situ*

Chaque individu d'éponge rencontré le long d'un transect a été photographié *in situ* pour illustration et pour aider à l'identification.



Figure 5 : Observation des paramètres « spongiaires » en bordure aquatique de mangrove

Détermination des traits écologiques

La notion d'abondance des espèces rencontrées, exprimée en occurrence de chaque espèce par site (très, moyennement, peu abondante ou rare), est associée aux traits écologiques spécifiques (généraliste de plusieurs habitats, spécialisé de l'écosystème de mangrove, ou au contraire généralement absente des mangroves) (selon Díaz *et al.* 2004 et 2009).

La couverture géographique mondiale est déterminée en croisant la bibliographie existante et les données disponibles dans *World Porifera Database* WPD.

Les caractéristiques écologiques et les conditions de vie des différentes espèces sont déterminées conjointement à partir de la bibliographie, des observations de terrain et à dire d'experts. Les taxons principaux de chaque site sont illustrés et donnent une image des secteurs étudiés en fonction des pressions et conditions.

Identification en laboratoire : analyse des squelettes

Les études taxonomiques sont réalisées dans un laboratoire spécialisé dans le domaine : Station Marine d'Endoume, Marseille, UMR CNRS IMBE (ex-DIMAR et Centre d'Océanologie de Marseille).

Les prélèvements de spongiaires réalisés ont été numérotés puis transférés dans l'alcool à 70° puis à 90° (bains successifs). Ils sont ensuite transférés au laboratoire où les analyses de spicules et du squelette sont conduites selon des protocoles éprouvés (Carteron & Boury-Esnault 2005, Vacelet *et al.* 2007, Impact Mer 2008) de manière à réaliser une description complète et une détermination au plus haut niveau taxonomique possible.

◆ **Analyse des spicules**

Des fragments d'échantillon sont prélevés dans le choanosome et l'ectosome et placés sur une lame. Les chairs sont dissoutes par la chaleur et l'acide nitrique. Les spicules de silice conservés sont rincés à l'eau distillée puis fixés avec une résine. Les lames sont séchées à l'étuve pendant 48 heures environ.

◆ **Analyse des arrangements spiculaires**

Des lames minces sont réalisées dans la chair de l'éponge (coupe perpendiculaire, transversale ou latérale) puis placées dans des bains successifs et courts de colorant, et acétone. La coupe est ensuite montée entre lame et lamelle avec quelques gouttes de résine. Les lames sont placées à l'étuve pendant 48 heures environ. Elles sont retirées lorsqu'elles sont prêtes pour l'observation microscopique.

◆ **Observation des squelettes**

A l'aide d'un microscope optique, les spicules sont observés et décrits. 20 spicules de chaque type sont mesurés. Les squelettes des individus sont observés et décrits le plus précisément possible à l'aide de guide d'identification approprié (Boury-Esnault & Rützler 1997).

Note : La description des espèces est présentée dans un document annexe sous la forme d'un atlas illustré (Impact Mer & Ginger Environnement 2012b).

2.1.3 Paramètres complémentaires

Plusieurs paramètres complémentaires potentiellement descriptifs des *preferenda* écologiques des espèces d'éponges sont également relevés. Concernant le site d'étude, les paramètres suivants sont indiqués :

- description qualitative du type d'habitat proche du site (herbier, récifs coralliens, etc.) ;
- type de sédiment ;
- exposition aux vagues et au vent ;
- estimation du niveau de perturbation anthropique ;
- profondeur d'eau moyenne du site.

Les paramètres concernant les racines de palétuviers porteuses de spongiaires notés sur le terrain sont les suivants :

- longueur de la racine (à partir du zéro biologique) ;
- diamètre (au niveau du zéro biologique) ;
- et fixation (ou non) dans le sédiment.

2.1.4 Réalisation de l'atlas

La description des espèces de spongiaires se fait en plusieurs phases :

- identification des espèces de spongiaires (*in situ*, ou d'après les analyses du squelette et étude bibliographique) ;
- description morphologique externe et du squelette ;
- illustration des taxons (photographies et références bibliographiques) ;
- saisie des données et rédaction des fiches « espèce ».

Les données concernant l'identification et la description des espèces sont enregistrées dans la base de données qui servira à la réalisation du pré-atlas. Pour chaque espèce (ou chaque genre lorsqu'il n'est pas possible d'aller jusqu'à l'espèce), une « fiche taxon » illustrée de photographies inclut :

- les caractéristiques morphologiques visant à faciliter l'identification des taxons ;
- des commentaires sur les difficultés éventuelles d'identification de l'espèce ;
- les synonymies nomenclaturales ;
- les exigences écologiques et la répartition biogéographique si elles sont connues ;
- les références bibliographiques permettant d'approfondir la connaissance de l'espèce.

Ces fiches constituent le pré-atlas des spongiaires des mangroves martiniquaises (Impact Mer & Ginger Environnement 2012b).

2.2 Paramètres physicochimiques

Lors des suivis DCE, les paramètres physicochimiques « viennent soutenir l'interprétation des paramètres biologiques » (Pellouin-Grouhel 2005).

Les paramètres physico-chimiques généraux retenus par la DCE sont : la turbidité, la température, la salinité, le bilan en oxygène et les nutriments.

Dans le contexte de la présente étude sur la recherche d'indices de bio-évaluation de la qualité des MET à travers les épibiontes des racines de palétuviers, l'étude de ces mêmes paramètres physicochimiques explicatifs dans les MET est apparue essentielle en parallèle de l'étude des spongiaires et autres épibiontes.

Les méthodologies employées sont celles mises en œuvre dans le cadre de la DCE en Martinique.

2.2.1 Température, salinité, pH & oxygène

L'eau de mer est prélevée à l'aide d'une bouteille Niskin (bouteille Free Flow HYDRO-BIOS 2,5 l) en sub-surface uniquement. La température, la salinité, le pH, l'oxygène dissous et la saturation en oxygène sont analysés simultanément par une sonde multiparamètres (WTW Multi 350i) calibrée quotidiennement (Tableau 2).

Tableau 2 : Détails méthodologiques et précisions pour l'analyse des paramètres généraux

| Paramètre | Lieu d'analyse | Méthode d'analyse | Limite de quantification | Précision |
|-----------------|----------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| Salinité | Sur site | Sonde multiparamètres | 0 à 70 | ± 0,2 |
| Température | Sur site | Sonde multiparamètres | -5 à +105 °C | ± 0,2 |
| pH | Sur site | Sonde multiparamètres | -2 à +20 | ± 0,004 |
| Oxygène | Sur site | Sonde multiparamètres | 0 à 20 mg l ⁻¹ 0 à 200% | ± 0,5% de la valeur mesurée |
| Nitrates | LDA 972 | Méthode Aminot & Chaussepied 1983 | 0,05 µmol l ⁻¹ | 0,01 |
| Nitrites | LDA 972 | Méthode Aminot & Chaussepied 1983 | 0,03 µmol l ⁻¹ | 0,01 |
| Ammonium | LDA 972 | Méthode Aminot & Chaussepied 1983 | 0,1 µmol l ⁻¹ | 0,01 |
| Orthophosphates | LDA 972 | Méthode Aminot & Chaussepied 1983 | 0,05 µmol l ⁻¹ | 0,01 |
| Turbidité | LDA 972 | NF EN ISO 7027 | 40 FNU | 0,01 |

2.2.2 Turbidité, concentration en nutriments

L'eau de mer est prélevée grâce à une bouteille Niskin (bouteilles Free Flow HYDRO-BIOS 2,5 l) en sub-surface uniquement.

Pour le paramètre turbidité, 500 ml d'eau brute sont prélevés et mis en flacon plastique.

Pour les nutriments, l'eau est préalablement filtrée sur une membrane de nylon 10 μm avant d'être mise en flacon (flacons HDPE à col étroit avec capuchon fileté en polypropylène) par un opérateur muni de gants à usage unique. Auparavant tous les flacons sont rincés (bouchés) trois fois avec l'échantillon d'eau. Tous les flacons sont remplis seulement aux trois quarts et fermement refermés.

Dès qu'ils sont remplis, les flacons sont immédiatement placés debout à l'obscurité et au frais (glacière rigide + eutectiques). L'ensemble des échantillons est livré au laboratoire d'analyses (LDA Martinique³) avant 14h00 le jour du prélèvement.

Lors du traitement des données, les mesures inférieures aux seuils de quantification du laboratoire sont considérées comme étant égales à la valeur des seuils de quantification considérés (traitement similaire au RNO).

2.3 Les indices de pression

Une estimation de la pression anthropique est évaluée pour chaque site étudié, à travers la conception d'indices de pression. Ces indices sont intégrés aux analyses des données de peuplements épibiontes.

Ils sont basés sur différentes sources de données croisées et comparées sur les différents sites, suivant 4 niveaux de pression croissante : (1) très faible pression ; (2) faible pression ; (3) pression modérée ; (4) forte pression. Les paramètres considérés sont les suivants :

- occupation du sol du bassin versant : tissu urbain, agriculture, industrie, zones naturelles d'après les données CORINE Land Cover 2006 (BD utilisée dans de nombreux travaux quantifiant les pressions) ;
- facteurs physiques : hydrologie du BV, courantologie du plan d'eau adjacent ;
- usages professionnels et de loisir sur le BV, le site, le plan d'eau adjacent.

Les résultats de notation obtenus ont été comparés à ceux trouvés dans la littérature.

2.4 Hypothèses et traitement statistique

L'objectif principal de cette étude était d'identifier les groupes d'espèces et/ou espèces indicateurs de pressions anthropiques. Cette étude suppose que les sites avec des niveaux de perturbations croissants aient des compositions et/ou structure biologique différentes. Les données ont donc été relevées avec deux niveaux de précision différents pour les spongiaires (au niveau de l'espèce) et les groupes taxonomiques supérieurs. Les deux types de données ont été relevés pendant deux ans, au cours de 4 campagnes, dans 8 sites de la Martinique, dans des mangroves présentant différents niveaux de perturbation. Les données ont été analysées grâce à des analyses multivariées avec le logiciel PRIMER v6 (Anderson *et al.* 2008, Clarke & Warwick 2001).

2.4.1 Les groupes taxonomiques

La matrice des données incluait l'abondance relative des principaux groupes taxonomiques présents sur les racines de palétuviers.

Afin de réduire la contribution des espèces dominantes, les données ont été transformées (racine carrée). Cette transformation est la moins impactante possible et permet que les espèces les moins abondantes et les espèces rares puissent contribuer de manière significative à la dissimilarité entre chaque paire échantillonnée (Clarke 1993).

Le coefficient de Bray Curtis a été utilisé pour estimer la similarité de la composition et de l'abondance des taxons entre chaque paire d'échantillons (c'est-à-dire les racines).

La variation totale dans la matrice de similarité de Bray-Curtis a été décomposée avec une analyse multivariée des variances par permutation PERMANOVA (Anderson 2001a, b). Les facteurs testés étaient les sites, les campagnes et les saisons.

³ Le choix de ce laboratoire a été réalisé en accord avec le maître d'ouvrage. Le LDA a été choisi pour la DCE depuis 2007.

Pour illustrer les différences spatio-temporelles, la matrice de similarité entre les échantillons a été réduite à la distance entre les centroïdes pour chaque « site x campagne ». Les distances entre les centroïdes ont été représentées sur un graphique en utilisant une analyse en coordonnées principales (PCO, Gower 1966). Les groupes taxonomiques responsables des similarités et différences parmi les sites ou les groupes de sites ont été identifiés avec l'outil SIMPER. Cependant, cette technique n'a été utilisée que pour les sites ou groupes qui justifiaient une identification des taxons clés. A la fin de l'analyse, les variables environnementales corrélées avec les structures biologiques ont été identifiées avec l'outil Bio-Env.

Cette analyse a été répétée pour identifier l'impact de la typologie des racines sur les communautés d'épibiontes. Ainsi les facteurs testés étaient les sites, les campagnes et la typologie des racines (aériennes ou fixes).

2.4.2 Les communautés de spongiaires

Les assemblages d'éponges

Les données originales incluaient la présence/absence d'espèces. Le coefficient de Sorensen a été utilisé pour estimer la similarité dans la composition des assemblages d'éponges entre chaque paire d'échantillons (i.e. les racines). La variation totale dans la matrice de similarité de Sorensen a été décomposée avec l'outil PERMANOVA (Anderson 2001a, b). Les facteurs testés étaient : les transects, les sites, les campagnes et les saisons. Le transect est un facteur aléatoire à 3 niveaux imbriqué dans le facteur site. Le facteur site est fixé à 8 niveaux. La campagne est un facteur temporel avec 2 niveaux imbriqués dans les saisons. Ce dernier facteur est quant à lui fixe à 2 niveaux (humide, sèche) et est orthogonal. Le nombre d'échantillons est très variable, entre 4 et 33 racines par transects.

Pour illustrer les différences spatio-temporelles, la matrice de similarité entre les échantillons a été réduite à la différence entre les centroïdes pour chaque « site x campagne ». Les distances entre les centroïdes ont été représentées sur un graphique en utilisant une analyse en coordonnées principales (PCO, Gower 1966). Les espèces responsables des similarités et différences parmi les sites ou les campagnes ont été identifiées avec l'outil SIMPER. Cependant, cette technique n'a été utilisée que pour les sites ou groupes qui justifiaient une identification des taxons clés. A la fin de l'analyse, les variables environnementales corrélées avec les structures biologiques ont été identifiées avec l'outil Bio-Env.

La richesse spécifique

Les données de richesse spécifique de chaque site ont permis de construire des courbes de richesse cumulée, soit le nombre d'espèce inventoriée en fonction des racines observées. La représentation graphique permet de déterminer le manque à gagner nécessaire pour connaître la richesse totale d'un site en fonction de pente de la courbe. On détermine ainsi si l'effort d'échantillonnage est suffisant (lorsque la courbe tend vers une asymptote) ou non. Lorsque la courbe arrive à saturation on peut déterminer par extrapolation de la richesse spécifique totale pour chaque site et pour l'ensemble des mangroves étudiées de l'île. Cette méthode présente l'intérêt de pouvoir comparer des jeux de données récoltés avec un effort d'échantillonnage différents, comme un nombre variable de racines observées par site.

Pour les analyses statistiques le nombre d'espèces par racine a été déterminé à partir de la matrice de base présence/absence. La variabilité de cette donnée a été explorée en suivant la démarche décrite précédemment et la significativité de chaque terme a été évaluée avec une PERMANOVA (dans ce cas, analyse univariée de la variance basée sur des permutations).

Note : Les observations ont été conduites sur un nombre de racines très inégal par transect. L'algorithme de la PERMANOVA ne permettait pas d'obtenir les dénominateurs adéquats pour calculer le pseudo-F. Par conséquent, une sélection au hasard de 10 racines par transect a été faite pour conduire la PERMANOVA. Le nombre de racine restait inégal après la réduction (certains sites présentaient moins de 10 racines par transects). Cependant, la PERMANOVA peut fonctionner avec ce type d'inégalité. Cette procédure (réduction des échantillons) a été réalisée uniquement pour les PERMANOVA sur les spongiaires. Les centroïdes des PCO et les analyses SIMPER ont été conduites sur l'ensemble du jeu de données.

C. Résultats

1 Caractérisation des sites

Dans ce chapitre sont décrits les différents sites de suivi de l'étude, suivant 4 axes différents :

- **la localisation géographique** générale de chaque site,
- **la description de la frange littorale** de mangrove sur le site, dans ses parties aériennes et subaquatiques,
- **la description du sédiment** et du voisinage immédiat au pied des palétuviers,
- **la description et l'analyse du bassin versant** de la zone d'étude et de sa zone d'influence, et des pressions induites. Cette analyse sera ensuite reliée aux indices de pression anthropique développés.

Ce travail ne constitue cependant pas une étude exhaustive des bassins versants qui nécessiterait des sources de données plus précises et mises à jour, et une analyse poussée des types de pressions, de leur nature, de leur quantification et de leurs effets.

Note sur les bassins versants et les données d'occupation du sol :

La Martinique est parcourue par un important réseau hydrographique constitué de 161 rivières, dont 70 considérées comme principales, et 43 ravines. Ces rivières sont relativement courtes et sont concentrées dans la partie nord de l'île.

| | |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| bassin versant (BV) | Surface drainée par une rivière en amont d'un point nommé exutoire. Il est généralement défini par l'étude de la topographie de la zone, mais peut aussi être fixé suivant des facteurs hydrogéologiques naturels (couches géologiques imperméables provoquant l'exclusion de pentes ou la récupération de parties d'autres versants) et anthropiques (modifications de perméabilité par exemple dues à une modification de réseau routier ou d'urbanisation en général). Le BV est alors qualifié de "hydrogéologique". |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Les BV en Martinique sont de taille modeste, le plus souvent inférieurs à 15 km², exceptés les 7 BV principaux, qui concentrent l'essentiel de la ressource en eau (90%). Parmi ceux-ci, les BV de la rivière Lézarde (116 km²) et de la rivière Salée (69,5 km²), sont d'un grand intérêt dans le cadre de cette étude puisqu'ils concernent respectivement les sites Cohé du Lamentin et Génipa.

Notre étude se base sur le découpage des BV de la base de données (BD) Carthage V 1.1 (correction du 30/10/2007, Figure 6) de la DEAL. Cette BD SIG est structurée comme suit :

- *REGION_972_region* : couche surfacique de l'ensemble du territoire,
- *SECTEUR_972_region* : couche surfacique des 10 grands "secteurs" (en rouge),
- *SOUS_SECTEUR_972_region* : découpage des secteurs en 32 "sous-secteurs" (en bleu),
- *ZONES_HYDROGRAPHIQUE_972_region* : découpage des bassins versants en 187 "zones hydrologiques" (en vert).

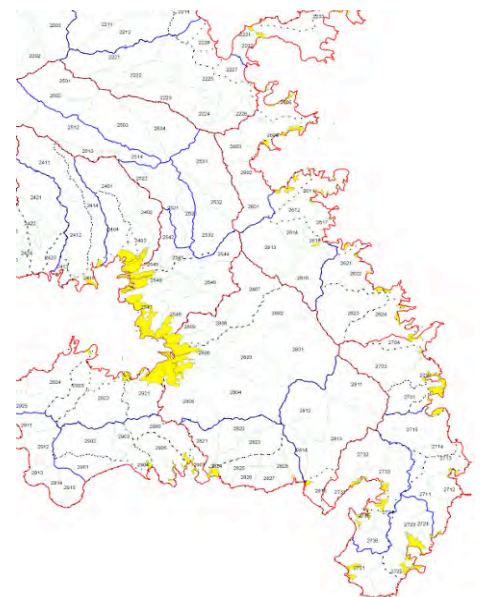


Figure 6 : Réseau hydrographique de la partie sud de la Martinique (BD Carthage)

Dans la couche SOUS_SECTEUR_972_region, les BV sont découpés à l'échelle de la Martinique et les exutoires sont des portions de côte de plusieurs kilomètres.

Dans le cadre de la présente étude ce découpage comporte des avantages et des inconvénients. Il ne concerne pas le point précis de notre échantillonnage en tant qu'exutoire du bassin versant mais permet à l'inverse d'intégrer le fait que la zone d'influence de chaque site de suivi ne se limite pas à un tel exutoire mais à une zone d'influence côtière plus large. En effet, les courants des masses d'eau locales sont susceptibles d'amener des effluents sur un morceau de mangrove littorale qui n'est pas sous son influence directe (exemple de la baie de Fort de France).

De même, des baies voisines peuvent être liées, telles que la baie du Galion et celle du Trésor. Ce problème complexe nécessite des études de la courantologie côtière de l'île mais doit souligner l'interdépendance des milieux voisins, et la prise en compte de l'hydrologie globale dans la prise de mesures de protection de l'environnement.

Pour l'étude des zones humides de la Martinique du PNRM (Acer Campestre *et al.* 2006), des "espaces de fonctionnalité" ont été définis autour des zones humides référencées. Ces espaces sont généralement des fragments de BV encore plus restreints que les "zones hydrologiques".

Pour l'étude de l'**occupation du sol**, la ressource utilisée ici est la BD géographique CORINE Land Cover, dite CLC, produite dans le cadre du programme européen de coordination de l'information de l'environnement CORINE. Elle utilise donc une nomenclature uniformisée à l'échelle européenne, et adaptée aux typologies rencontrées dans les territoires d'Outre-Mer. La dernière version de cette base de données utilisée dans le cadre de notre analyse est la version CLC06, qui concerne l'occupation du sol de l'année 2006.

La légende de CLC06 concernant les typologies rencontrées en Martinique figure en annexe.

Il est à signaler que l'ASP (Agence de Services et de Paiement) produit une BD nommée RPG (Registre Parcellaire Graphique) depuis 2002 (dont la dernière mise à jour date de 2011), permettant l'identification des parcelles agricoles. Cette base de données est constituée à partir du parcellaire cadastral, suivant les déclarations des exploitants agricoles pour bénéficier des aides PAC (Politique Agricole Commune). Elle pourrait permettre de préciser l'occupation des sols pour le thème de l'agriculture.

1.1 Sites de la baie de Fort-de-France

1.1.1 Cohé du Lamentin

Situation

La Cohé du Lamentin (Figure 7) est la partie nord du fond de la baie de Fort-de-France. Le site est situé au sud-ouest de la zone appelée Morne Cabri, juste au nord de l'embouchure de la rivière Lézarde, derrière la zone industrielle de la Lézarde.

L'ensemble de cette mangrove est la deuxième plus vaste étendue de palétuviers de la Martinique avec quelques 3,5 km² après la baie de Génipa (environ 9,5 km²), au sud de l'aéroport.



Figure 7 : Carte de situation du site de la Cohé du Lamentin (Impact-Mer 2011, d'après IGN Scan100 et BD Carthage)

Description de la frange de palétuviers

Cette zone de mangrove présente une frange de palétuviers rouges *Rhizophora mangle* dont la canopée est peu élevée, de l'ordre de 2 à 3 mètres de haut. La profondeur d'eau à proximité immédiate des racines adventives est très faible, entre 40 et 80 cm de hauteur d'eau, selon la marée. Peu de jeunes racines adventives sont observées à ce niveau.

Description du sédiment

Le sédiment situé sous les palétuviers de la frange littorale du site Cohé du Lamentin est une vase fine argileuse nue, et colonisée à partir de 5 m de distance de la côte par un herbier épars à *Thalassia testudinum* et *Halophila stipulacea*, parsemé de macro-algues et très envasé (Figure 8).



Figure 8 : Racines immergées et sédiment de la station Cohé du Lamentin

Pressions du bassin versant

Ce site est situé entre le BV de Longvilliers (son BV considéré comme direct), et le BV majeur de la rivière Lézarde. Ce dernier est le BV le plus étendu de la Martinique (110 km²).

Le BV de **Longvilliers** (plus de 25 km²) est essentiellement agricole, à près de 42 %, dont 10 % de bananeraies, mais aussi fortement urbanisé avec plus de 38 % de typologies urbaines du CLC (Tableau 3 & Figure 9).

Tableau 3 : Occupation du sol du BV de Longvilliers (d'après Corine Land Cover 2006)

| Code CLC | Libellé CLC de niveau 3 | Superficie (ha) | Pourcentage | Pourcentage niveau 1 |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|----------------------|
| 112 | Tissu urbain discontinu | 808,28 | 31,93 | 38,71 |
| 121 | Zones industrielles et commerciales | 117,76 | 4,65 | |
| 131 | Extraction de matériaux | 21,7 | 0,86 | |
| 141 | Espaces verts urbains | 32,28 | 1,27 | |
| 224 | Canne à sucre | 11,52 | 0,46 | 41,89 |
| 225 | Bananeraies | 255,61 | 10,10 | |
| 231 | Prairies | 54,3 | 2,15 | |
| 242 | Systèmes cultureux et parcellaires complexes | 78,51 | 3,10 | |
| 243 | Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants | 660,57 | 26,09 | 18,37 |
| 311 | Forêts de feuillus | 218,3 | 8,62 | |
| 314 | Mangroves | 182,73 | 7,22 | |
| 322 | Landes et broussailles | 12,26 | 0,48 | |
| 324 | Forêt et végétation arbustive en mutation | 51,77 | 2,04 | |
| 411 | Marais intérieurs | 25,96 | 1,03 | 1,03 |
| | Somme des occupations du sol "BV Longvilliers" | 2531,54 | 100 | 100 |

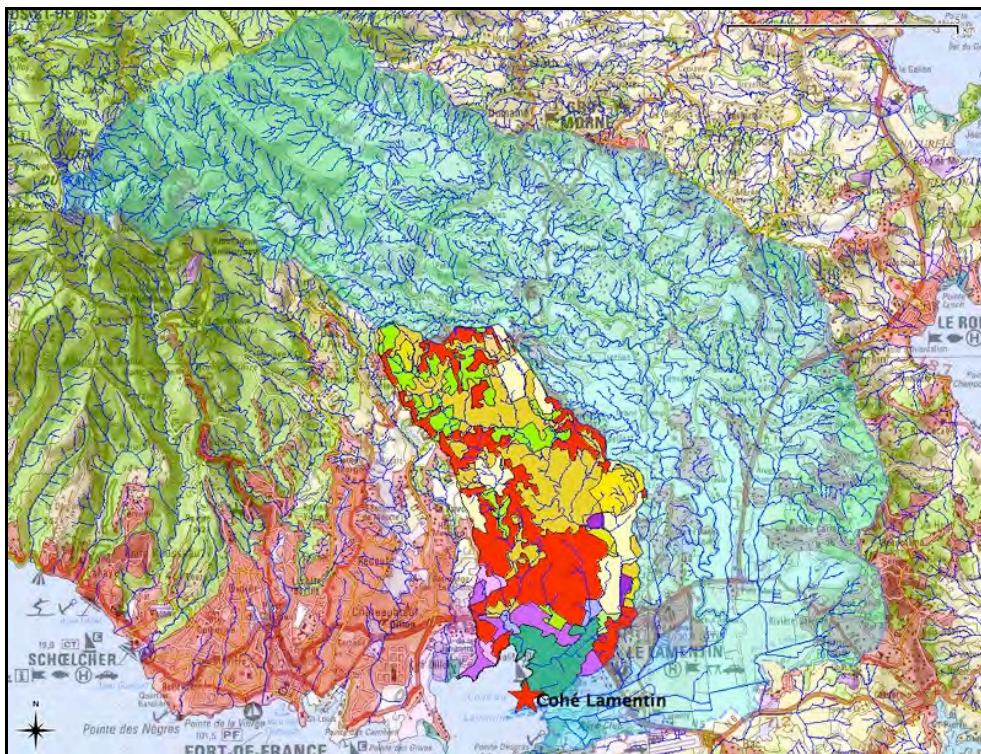


Figure 9 : Carte du BV de Longvilliers (d'après Corine Land Cover 2006)

Le BV de la **Lézarde** est plus marqué encore par l'agriculture (plus de 54 % dont près de 13 % de bananeraies). Il comporte cependant un tiers de zones naturelles et un peu moins de 10 % de zones bâties, principalement dans l'aval du BV (Tableau 4 & Figure 10).

Tableau 4 : Occupation du sol du BV de la Lézarde (d'après Corine Land Cover 2006)

| Code CLC | Libellé CLC de niveau 3 | Superficie (ha) | Pourcentage | Pourcentage niveau 1 |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|----------------------|
| 112 | Tissu urbain discontinu | 1100,93 | 10,04 | 11,81 |
| 121 | Zones industrielles et commerciales | 150,27 | 1,37 | |
| 124 | Aéroports | 31,43 | 0,29 | |
| 142 | Equipements sportifs et de loisirs | 12,31 | 0,11 | |
| 222 | Vergers et petits fruits | 69,22 | 0,63 | 54,07 |
| 224 | Canne à sucre | 441,95 | 4,03 | |
| 225 | Bananaeries | 1419,88 | 12,95 | |
| 231 | Prairies | 173,57 | 1,58 | |
| 242 | Systèmes culturaux et parcellaires complexes | 512,58 | 4,67 | |
| 243 | Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants | 3313,12 | 30,21 | 33,09 |
| 311 | Forêts de feuillus | 3292,81 | 30,02 | |
| 314 | Mangroves | 76,42 | 0,70 | |
| 322 | Landes et broussailles | 81,91 | 0,75 | |
| 324 | Forêt et végétation arbustive en mutation | 178,19 | 1,62 | |
| 411 | Marais intérieurs | 63,87 | 0,58 | 1,03 |
| 423 | Zones intertidales | 48,90 | 0,45 | |
| | Somme des occupations du sol "BV Lézarde" | 10967,36 | 100 | 100 |

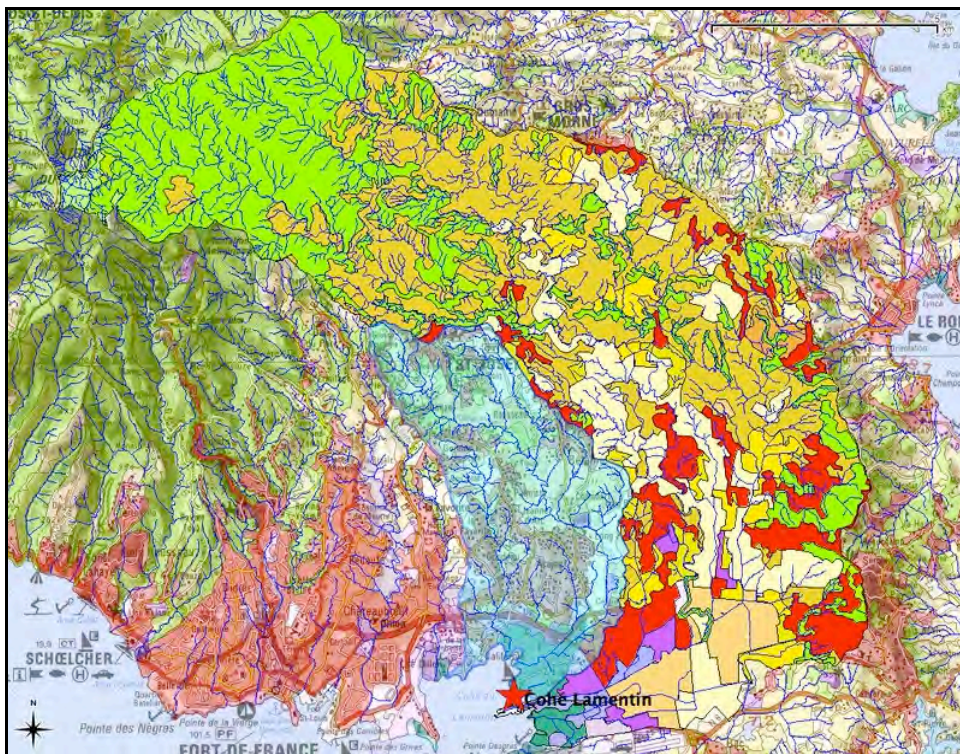


Figure 10 : Carte du BD de la Lézarde (d'après Corine Land Cover 2006)

Les BV de la zone comprennent en outre de nombreuses zones urbanisées, diverses infrastructures, industries (10 des 54 ICPE - Installations Classées pour la Protection de l'Environnement - de l'île) et zones commerciales ainsi qu'une large superficie de terres agricoles dont la majorité est représentée par des bananeraies.

Cette occupation du sol diversifiée est la source de pollutions diverses : intrants de l'agriculture, pollutions domestiques, urbaines et industrielles.

1.1.2 Génipa

Situation

Le site choisi dans la baie de Génipa est situé juste au nord de la pointe Merle, située elle-même au nord de la baie de Génipa *stricto sensu* (Figure 11). La baie de Génipa constitue la plus vaste étendue de mangrove de Martinique avec une superficie d'un peu moins de 1000 ha (Impact Mer & Priam 2011).



Figure 11 : Carte de situation du site de Génipa – Pointe Merle (Impact Mer 2011, d'après IGN Scan100 et BD Carthage)

Description de la frange de palétuviers

La frange littorale de cette zone de la grande mangrove de Génipa sur la pointe Merle est composée d'un rideau de palétuviers rouges *Rhizophora mangle* de faible hauteur de canopée moyenne, environ 2 à 3 mètres de haut. La densité foliaire de ces arbres est élevée. Le front pionnier est dynamique avec de nombreuses jeunes racines adventives.

Description du sédiment

Les racines échasses et aériennes en limite de mangrove prennent racine dans un sédiment de vase fine recouvert par endroit de litière. La hauteur d'eau à ce niveau est d'environ 1 m selon la marée.

Un herbier mixte épars et envasé composé de *Thalassia testudinum* et *Halophila stipulacea* débute à quelques mètres de la mangrove, après une fine bande de vase nue (Figure 12).



Figure 12 : Racines immergées et sédiment de la station Pointe Merle - Génipa

Pressions du bassin versant

Cette zone est liée à un BV direct, nommé Caleçon, de taille réduite, moins de 22 km², autour de la zone nord du quartier de Canal Cocotte et au sud de l'aéroport.

Tableau 5 : Occupation du sol du BV Caleçon (d'après Corine Land Cover 2006)

| Code CLC | Libellé CLC de niveau 3 | Superficie (ha) | Pourcentage | Pourcentage niveau 1 |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|----------------------|
| 112 | Tissu urbain discontinu | 262,51 | 12,00 | 25,80 |
| 121 | Zones industrielles et commerciales | 71,09 | 3,25 | |
| 124 | Aéroports | 188,54 | 8,62 | |
| 131 | Extraction de matériaux | 9,16 | 0,42 | |
| 142 | Equipements sportifs et de loisirs | 33,10 | 1,51 | |
| 224 | Canne à sucre | 104,99 | 4,80 | 49,20 |
| 225 | Bananaies | 71,33 | 3,26 | |
| 231 | Prairies | 450,74 | 20,61 | |
| 242 | Systèmes cultureux et parcellaires complexes | 360,81 | 16,49 | |
| 243 | Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants | 88,48 | 4,05 | 19,23 |
| 311 | Forêts de feuillus | 46,40 | 2,12 | |
| 314 | Mangroves | 349,73 | 15,99 | |
| 324 | Forêt et végétation arbustive en mutation | 24,58 | 1,12 | |
| 411 | Marais intérieurs | 113,10 | 5,17 | 5,25 |
| 423 | Zones intertidales | 1,86 | 0,08 | |
| 521 | Lagunes littorales | 11,09 | 0,51 | 0,51 |
| | Somme des occupations du sol "BV Caleçon" | 2187,51 | 100 | 100 |

L'occupation du sol du BV direct est composée de zones urbanisées (25,80 %), et majoritairement de terres agricoles (près de 49,20 %). Les sources de polluants potentiels de la zone sont donc essentiellement des intrants de l'agriculture et les effluents domestiques (Tableau 5 & Figure 13).

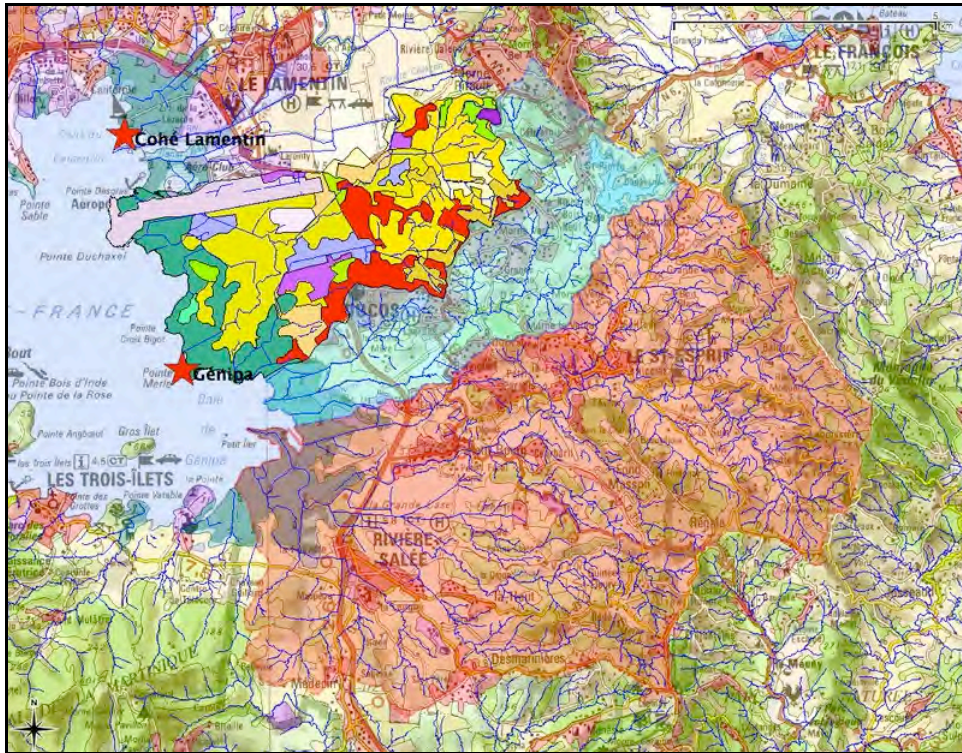


Figure 13 : Carte du BV "Caleçon" (d'après Corine Land Cover 2006)

Cependant, le BV « étendu » et la zone d'influence de ce site sont la baie de Génipa, liée au bassin de la Manche plus au sud (Tableau 6 & Figure 14), et surtout au BV majeur de la rivière Salée (69,5 km² de superficie et environ 240 km de cours d'eau et ravines, Tableau 7 & Figure 15).

Il peut même être étendu à toute la baie de Fort-de-France avec les influences de la rivière Lézarde et de tout le BV de la baie.

Tableau 6 : Occupation du sol du BV de la Manche (d'après Corine Land Cover 2006)

| Code CLC | Libellé CLC de niveau 3 | Superficie (ha) | Pourcentage | Pourcentage niveau 1 |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|----------------------|
| 112 | Tissu urbain discontinu | 4787,89 | 26,51 | 28,45 |
| 121 | Zones industrielles et commerciales | 338,51 | 1,87 | |
| 131 | Extraction de matériaux | 12,15 | 0,07 | |
| 222 | Vergers et petits fruits | 0,11 | 0,00 | 57,09 |
| 224 | Canne à sucre | 1076,55 | 5,96 | |
| 225 | Bananaïes | 655,14 | 3,63 | |
| 231 | Prairies | 910,47 | 5,04 | |
| 242 | Systèmes cultureux et parcellaires complexes | 2241,59 | 12,41 | |
| 243 | Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants | 5428,08 | 30,05 | 10,04 |
| 311 | Forêts de feuillus | 680,34 | 3,77 | |
| 314 | Mangroves | 1133,81 | 6,28 | |
| 411 | Marais intérieurs | 213,21 | 1,18 | |
| 512 | Plans d'eau | 585,31 | 3,24 | 3,24 |
| | Somme des occupations du sol "BV La Manche" | 18063,15 | 100 | 100 |

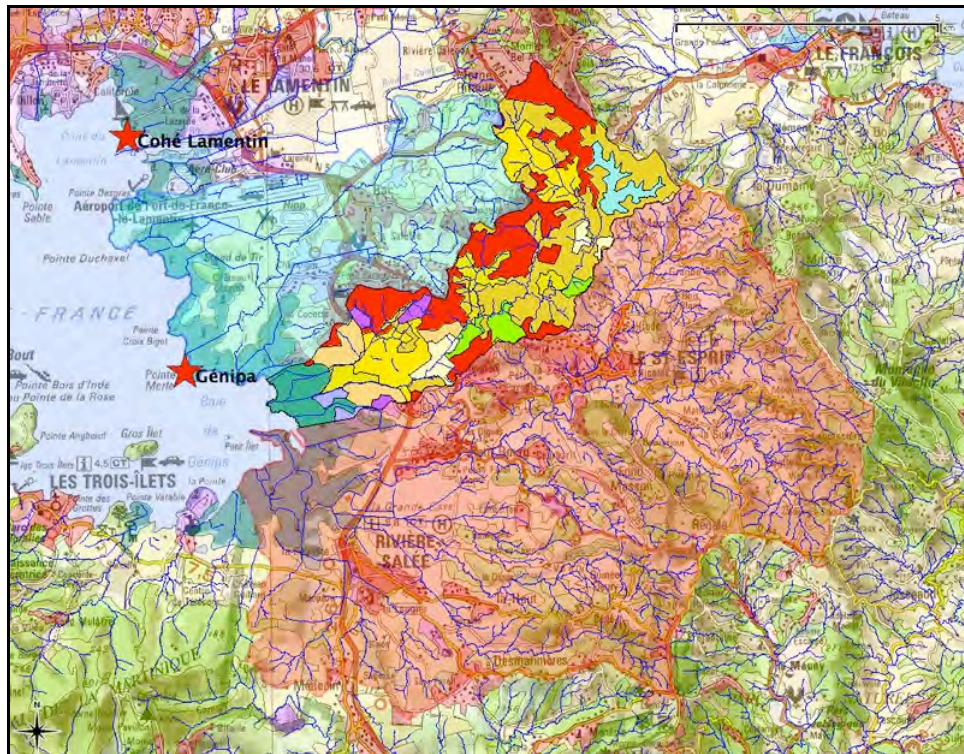


Figure 14 : Carte du BV de la Manche (d'après Corine Land Cover 2006)

Tableau 7 : Occupation du sol du BV de la rivière Salée (d'après Corine Land Cover 2006)

| Code CLC | Libellé CLC de niveau 3 | Superficie (ha) | Pourcentage | Pourcentage niveau 1 |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|----------------------|
| 112 | Tissu urbain discontinu | 540,61 | 7,79 | 8,55 |
| 121 | Zones industrielles et commerciales | 43,00 | 0,62 | |
| 131 | Extraction de matériaux | 10,30 | 0,15 | |
| 222 | Vergers et petits fruits | 24,56 | 0,35 | 69,51 |
| 224 | Canne à sucre | 601,83 | 8,67 | |
| 225 | Bananaïes | 190,20 | 2,74 | |
| 231 | Prairies | 546,35 | 7,87 | |
| 242 | Systèmes cultureux et parcellaires complexes | 993,77 | 14,31 | |
| 243 | Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants | 2468,89 | 35,56 | 21,72 |
| 311 | Forêts de feuillus | 905,42 | 13,04 | |
| 314 | Mangroves | 360,54 | 5,19 | |
| 322 | Landes et broussailles | 77,38 | 1,11 | |
| 323 | Végétation sclérophylle | 125,18 | 1,80 | |
| 324 | Forêt et végétation arbustive en mutation | 39,77 | 0,57 | |
| 411 | Marais intérieurs | 14,91 | 0,21 | 0,21 |
| | Somme des occupations du sol "BV de la rivière Salée" | 6942,71 | 100 | 100 |

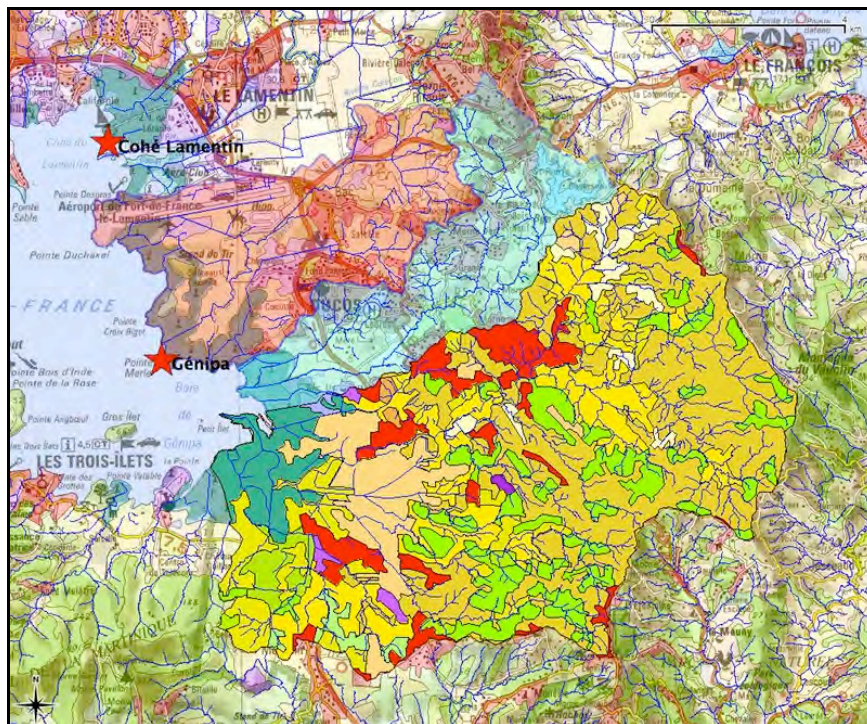


Figure 15 : Carte du BV de la rivière Salée (d'après Corine Land Cover 2006)

L'occupation du sol sur l'ensemble des BV détaillés ici (Caleçon, Manche et rivière Salée) est très majoritairement agricole (près de 70 % sur le BV de la rivière Salée et un peu moins de 60 % sur la Manche).

Il est cependant noté l'importance de la typologie CLC06 "Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants", qui témoigne d'un fort "mitage" de ce territoire entre les activités agricoles et les friches et zones forestières.

Enfin notons qu'en limite ouest du BV de la rivière Salée se trouve une des deux ICPE de la zone : la poterie des Trois-Ilets, en bordure de mangrove et partiellement dans la zone dite des "50 Pas Géométriques".

1.2 Sites de la baie du Marin

1.2.1 Baude

Situation

Le site de Baude se trouve dans une petite anse située dans la zone sud-est de la baie du Marin, derrière l'îlet Baude (Figure 16).

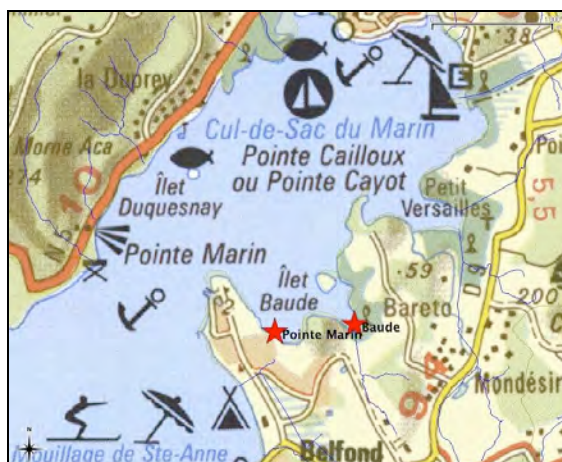


Figure 16 : Carte de situation du site de Baude (Impact Mer 2011, d'après IGN Scan100 et BD Carthage)

Description de la frange de palétuviers

Ce site de la baie du Marin est limité à une frange littorale de palétuviers rouges *Rhizophora mangle*, rapidement adossée à un morne en arrière mangrove. La largeur maximale de la mangrove est de 60 à 120 m. En bordure de mangrove aquatique les branches et feuillages des palétuviers sont souvent adventifs. Les racines de mangliers sont plutôt aériennes, mais proches du sédiment vaseux au nord du site et majoritairement fixées au sud. La hauteur d'eau est en moyenne de 1 m au niveau des racines. La profondeur s'accroît rapidement en allant vers le centre de la petite baie.

Description du sédiment

La frange littorale de cette mangrove prend racine sur un talus de vase fine qui descend ensuite en profondeur (plus de 2 mètres). Par endroits cependant la bathymétrie est moindre et des zones de vase peu profonde se forment dans des renforcements du rideau forestier (Figure 17). Aucun herbier n'a été observé.



Figure 17 : Racines immergées et sédiment de la station Baude

Pressions du bassin versant

Le BV de cette zone très limitée est réduit. Un seul cours d'eau temporaire possède son exutoire dans la baie.. Cependant la petite baie de Baude est incluse dans la baie du Marin. Le BV de celle-ci, d'une superficie de plus de 25 km², entraîne l'existence de pressions au niveau de la baie de Baude, suivant le jeu complexe des courants de la baie du Marin.

Ce BV de la baie du Marin est cependant majoritairement naturel (presque 50 % de forêts et végétation sclérophylle...) et agricole de manière diffuse (plus de 37 %). L'urbanisation totale est inférieure à 14 % de la superficie du BV, mais marquée par le bourg du Marin, où se concentrent quelques industries polluantes et une forte activité portuaire (Tableau 8 & Figure 18).

Tableau 8 : Occupation du sol du BV du Marin (d'après Corine Land Cover 2006)

| Code CLC | Libellé CLC de niveau 3 | Superficie (ha) | Pourcentage | Pourcentage niveau 1 |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|----------------------|
| 112 | Tissu urbain discontinu | 297,63 | 11,69 | 13,16 |
| 121 | Zones industrielles et commerciales | 24,36 | 0,96 | |
| 123 | Zones portuaires | 3,00 | 0,12 | |
| 142 | Equipements sportifs et de loisirs | 10,07 | 0,40 | 37,43 |
| 226 | Palmeraies | 10,08 | 0,40 | |
| 231 | Prairies | 488,81 | 19,20 | |
| 242 | Systèmes cultureux et parcellaires complexes | 67,90 | 2,67 | 49,41 |
| 243 | Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants | 386,30 | 15,17 | |
| 311 | Forêts de feuillus | 381,73 | 14,99 | |
| 314 | Mangroves | 80,86 | 3,18 | 12,14 |
| 322 | Landes et broussailles | 1,21 | 0,05 | |
| 323 | Végétation sclérophylle | 485,13 | 19,05 | |
| 324 | Forêt et végétation arbustive en mutation | 309,13 | 12,14 | |
| | Somme des occupations du sol du BV du Marin Ste-Anne | 2546,22 | 100 | 100 |

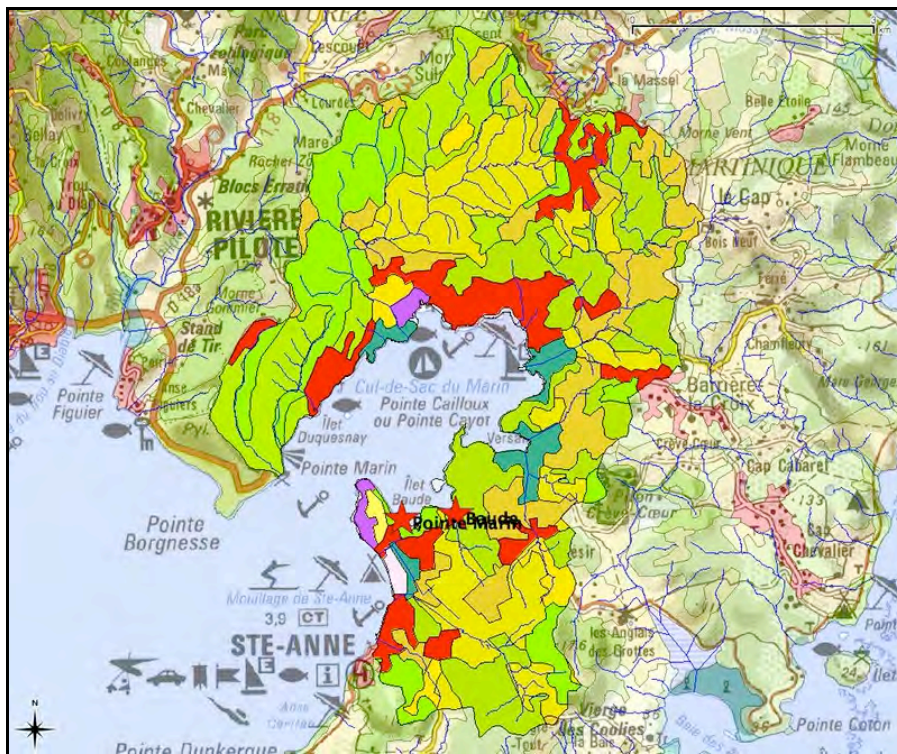


Figure 18 : Carte du BV de la baie du Marin (d'après Corine Land Cover 2006)

1.2.2 Pointe Marin

Situation

La pointe Marin est la pointe qui ferme la baie du Marin, côté oriental, sur le territoire de la commune de Sainte-Anne. Le site étudié est la zone de mangrove située sur la partie sud de cette baie, le long du quartier Belfond (Figure 19).

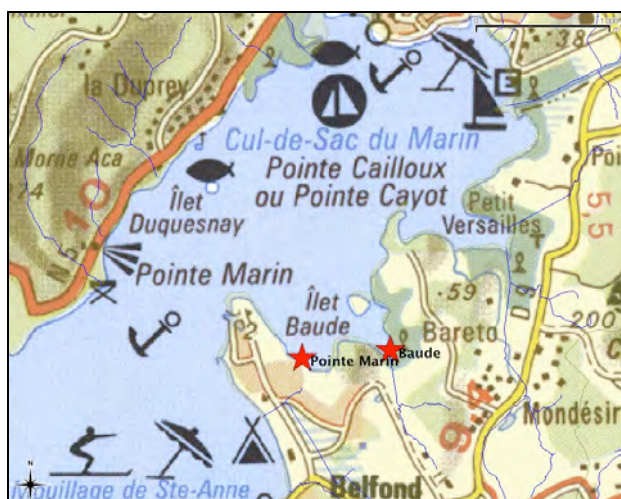


Figure 19 : Carte de situation du site de Pointe Marin (Impact-Mer 2011, d'après IGN Scan100 et BD Carthage)

Description de la frange de palétuviers

La mangrove de la pointe Marin, au nord du domaine des Boucaniers exploité par le Club Med en Martinique, est une zone de mangrove limitée, qui s'est développée sur un substrat sablo-vaseux.

Cette zone présentait voici quelques années une frange de palétuviers rouges *Rhizophora mangle* assez haute et dense. Elle a depuis été fortement impactée par les cyclones Dean (2007) principalement, puis Omar (2008) et Tomas (2010). Beaucoup de palétuviers ont ainsi été déracinés ou sont morts en place. Désormais, la canopée vivante est bien moins haute et relativement défoliée.

Description du sédiment

Le sédiment dans lequel se développe cette zone de mangrove est vaso-argileux à sablo-vaseux. Il présente un gradient, avec plus de vase argileuse en fond de baie vers l'est, en direction de l'émissaire de la station d'épuration (STEP) du domaine de Belfond et un sédiment plus sableux en allant vers l'extrémité de la pointe Marin, à l'ouest.

En s'éloignant de la frange de palétuviers, la zone est sablo-vaseuse, avec de larges zones sableuses peu profondes où se développe une végétation aquatique constituée d'un mélange de phanérogames marines et de macro-algues (Figure 20).



Figure 20 : Racines immergées et sédiment de la station Pointe Marin

Pressions du bassin versant

Cette zone de mangrove ne présente pas réellement de BV propre. Il s'agit en effet d'une pointe avec peu de pente et de terre en amont, outre une partie du domaine de Belfond.

Tout comme le site de Baude, cette zone est cependant incluse dans la baie du Marin, que la pointe Marin ferme à l'est. Tout le BV de cette large baie, d'une superficie de plus de 25 km², concerne donc notre site d'étude.

Ce BV est décrit précédemment, dans la partie traitant du site "Baude".

1.3 Sites de la côte Atlantique

1.3.1 Grenade

Situation

Le site Grenade est situé à l'entrée du Cul-de-Sac Petite Grenade, au nord-ouest de la Pointe Vauclin (Figure 21). La zone d'étude est constituée d'un mince cordon de palétuviers rouges principalement, colonisant la partie protégée d'une pointe de galets exposée à la houle d'ouest. La mangrove s'étend sur la zone sous le vent de cette pointe, dans la continuité du Cul-de-Sac de Petite Grenade.



Figure 21 : Carte de situation du site de Grenade
(Impact-Mer 2011, d'après IGN Scan100 et BD Carthage)

Description de la frange de palétuviers

Le front de palétuviers est principalement constitué de palétuviers rouges, *Rhizophora mangle*. La densité foliaire est importante et la hauteur de canopée moyenne (environ 2 à 3 m). La zone ne présente guère de dynamique de colonisation, du fait de la grande profondeur d'eau en aval des zones de palétuviers.

Description du sédiment

Le sédiment dans lequel se développe cette mangrove est sablo-vaseux. Un gradient est observé, avec plus de vase fine en fond de baie vers l'est, et un sédiment légèrement sableux en allant vers la pointe Sud de l'îlet Petite Grenade.

En s'éloignant de la frange de palétuviers, la zone est sablo-vaseuse, avec de larges zones sableuses peu profondes. La végétation aquatique est constituée d'un mélange de phanérogames marines et de macro-algues (Figure 22).



Figure 22 : Racines immergées et sédiment de la station Grenade

Pressions du bassin versant

Ce site isolé est placé à la limite entre le BV du nord du Vauclin, sur lequel il est directement placé d'après la BD Carthage, et le BV du sud du François (BV du Simon).

D'après les observations de terrain, le BV direct est limité et très peu anthropisé, avec seulement quelques habitations et chemins. La baie présente quelques pontons pour les accès maritimes.

Tableau 9 : Occupation du sol du BV du nord du Vauclin (d'après Corine Land Cover 2006)

| Code CLC | Libellé CLC de niveau 3 | Superficie (ha) | Pourcentage | Pourcentage niveau 1 |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|----------------------|
| 112 | Tissu urbain discontinu | 148,99 | 6,30 | 6,76 |
| 131 | Extraction de matériaux | 10,87 | 0,46 | |
| 211 | Terres arables hors périmètres d'irrigation | 15,88 | 0,67 | 59,41 |
| 225 | Bananaïes | 312,75 | 13,22 | |
| 231 | Prairies | 590,35 | 24,96 | |
| 242 | Systèmes cultureux et parcellaires complexes | 144,69 | 6,12 | |
| 243 | Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants | 341,70 | 14,44 | |
| 311 | Forêts de feuillus | 464,84 | 19,65 | 33,16 |
| 314 | Mangroves | 92,85 | 3,93 | |
| 322 | Landes et broussailles | 43,39 | 1,83 | |
| 323 | Végétation sclérophylle | 69,98 | 2,96 | |
| 324 | Forêt et végétation arbustive en mutation | 113,37 | 4,79 | |
| 521 | Lagunes littorales | 15,92 | 0,67 | 0,67 |
| | Somme des occupations du sol du BV du Vauclin | 2365,59 | 100 | 100 |

Le BV du Vauclin est peu urbanisé (6,76 %), très largement agricole avec en particulier 25 % de prairies et plus de 13 % de bananeraies. Un tiers du territoire est aussi maintenu à l'état naturel, avec près de 25 % de forêts (Tableau 9 & Figure 23).

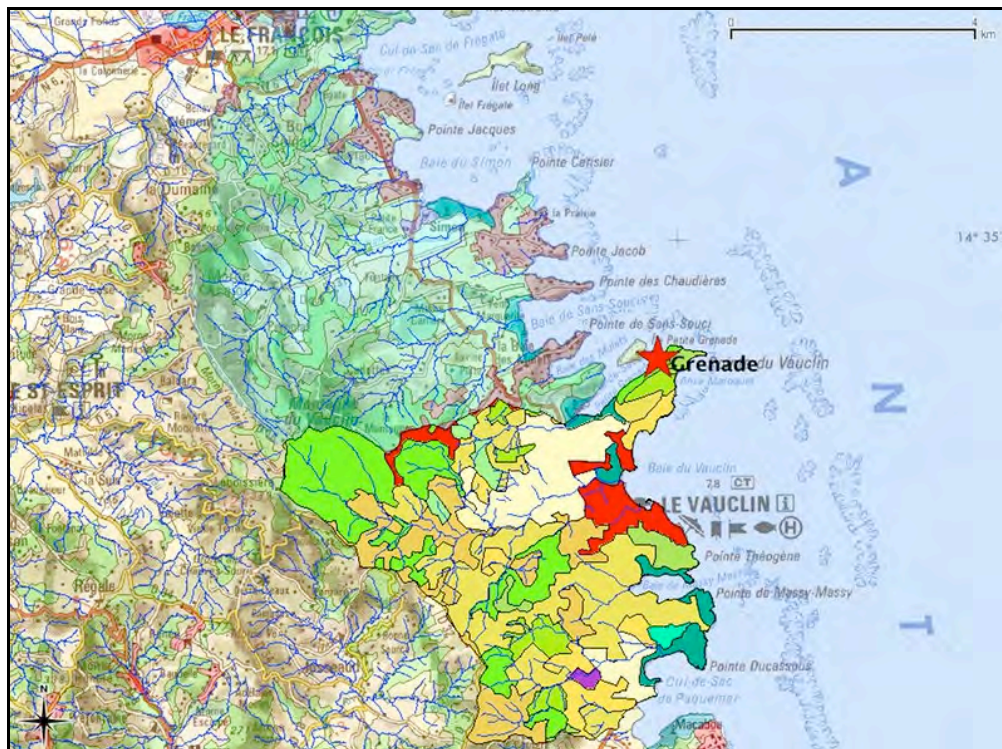


Figure 23 : Carte du BV de la baie du Vauclin (d'après Corine Land Cover 2006)

Tableau 10 : Occupation du sol du BV du nord du Simon (d'après Corine Land Cover 2006)

| Code CLC | Libellé CLC de niveau 3 | Superficie (ha) | Pourcentage | Pourcentage niveau 1 |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|----------------------|
| 112 | Tissu urbain discontinu | 348,41 | 12,07 | 12,88 |
| 121 | Zones industrielles et commerciales | 12,90 | 0,45 | |
| 142 | Equipements sportifs et de loisirs | 10,68 | 0,37 | |
| 224 | Canne à sucre | 79,44 | 2,75 | 58,30 |
| 225 | Bananaïeries | 166,90 | 5,78 | |
| 231 | Prairies | 406,12 | 14,06 | |
| 242 | Systèmes culturaux et parcellaires complexes | 181,25 | 6,28 | |
| 243 | Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants | 849,78 | 29,43 | 28,82 |
| 311 | Forêts de feuillus | 404,57 | 14,01 | |
| 314 | Mangroves | 53,00 | 1,84 | |
| 322 | Landes et broussailles | 62,87 | 2,18 | |
| 323 | Végétation sclérophylle | 160,19 | 5,55 | |
| 324 | Forêt et végétation arbustive en mutation | 151,45 | 5,24 | |
| | Somme des occupations du sol du BV du Simon | 2887,56 | 100 | 100 |

Pour le BV du Simon (Tableau 10 & Figure 24), les zones bâties représentent plus de territoire, de l'ordre de 13%. Le reste de l'occupation du sol est constitué de zones boisées (environ 30 %) et de zones agricoles (presque 60 %, dont 14 % de prairies et un peu moins de 6 % de bananeraies).

A noter la présence de la distillerie du Simon (classée ICPE) au nord de la Pointe Cerisier, rejetant ses effluents dans la baie du même nom.

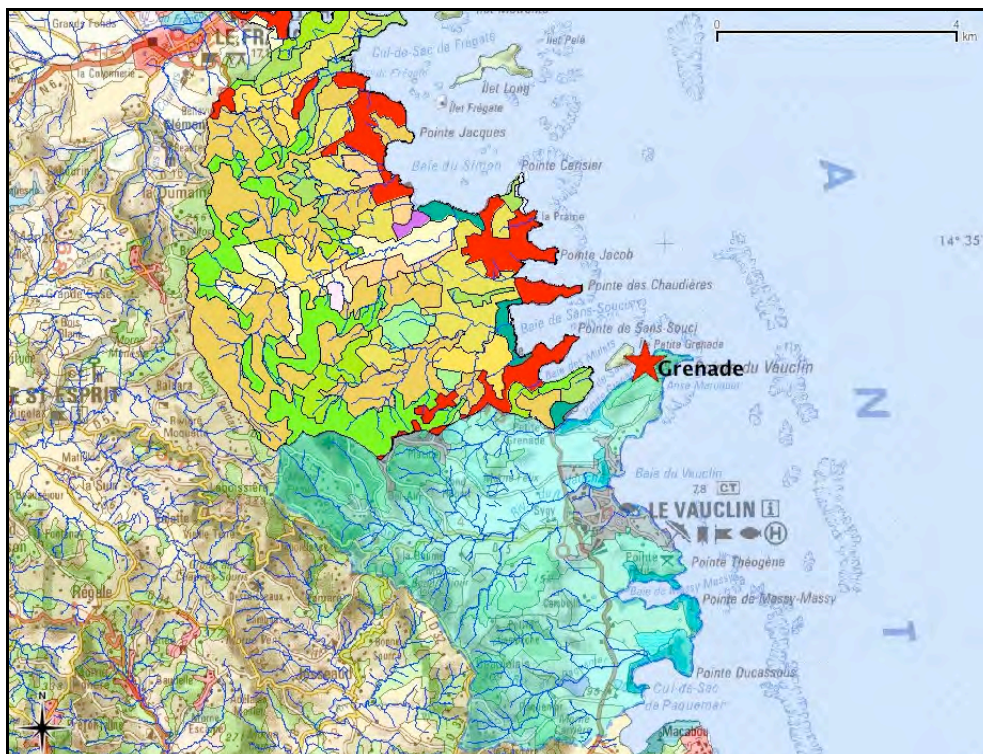


Figure 24 : Carte du BV de la baie du Simon (d'après Corine Land Cover 2006)

1.3.2 Saintpée

Situation

La partie occidentale de la baie de Saintpée fait l'objet d'un suivi de la pollution des huîtres plates épibiontes des racines de palétuviers dans le cadre du suivi ROCCH (Ifremer, ODE).

Pour le suivi des peuplements épibiontes, c'est la façade orientale de la baie de Saintpée (Figure 25) qui est choisie pour sa richesse et son accessibilité (profondeur sous les racines).



Figure 25 : Carte de situation du site de Saintpée (Impact-Mer 2011, d'après IGN Scan100 et BD Carthage)

Description de la frange de palétuviers

Les zones de mangrove de la baie s'étendent sur seulement quelques mètres à quelques dizaines de mètres de largeur. La zone la plus large est située au sud-est du fond de baie. La majeure partie du peuplement forestier est composée de palétuviers rouges *Rhizophora mangle*. Il y a cependant d'autres essences de

palétuviers disséminées dans différentes zones de la baie, souvent dans les transitions avec les autres biotopes terrestres.

Description du sédiment

Le sédiment dans lequel se développe cette zone de mangrove est vaseux.

En s'éloignant de la frange de palétuviers, le sédiment devient sablo-vaseux, avec de larges zones sableuses peu profondes à plusieurs dizaines de mètres de la côte. La végétation aquatique est constituée d'un herbier mixte de phanérogames marines et de macro-algues (Figure 26).



Figure 26 : Racines immergées et sédiment de la station Saintpée

Pressions du bassin versant

Le BV "visuel" de cette petite baie est très limité. Il est essentiellement naturel (forêts, mangrove, prairie) et ne présente que peu de pressions : quelques habitations et routes d'accès souvent simplement empierrées, quelques pontons de construction légère. La baie compte une vingtaine de mouillages, ainsi qu'un ponton et un baraquement de pêcheurs.

Le BV direct, défini par la BD Carthage, est celui du sud Robert / nord François.

Tableau 11 : Occupation du sol du BV du nord du François (d'après Corine Land Cover 2006)

| Code CLC | Libellé CLC de niveau 3 | Superficie (ha) | Pourcentage | Pourcentage niveau 1 |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|----------------------|
| 112 | Tissu urbain discontinu | 616,29 | 17,11 | 17,65 |
| 121 | Zones industrielles et commerciales | 5,65 | 0,16 | |
| 142 | Equipements sportifs et de loisirs | 13,79 | 0,38 | |
| 224 | Canne à sucre | 115,99 | 3,22 | 58,05 |
| 225 | Bananaïes | 606,99 | 16,85 | |
| 231 | Prairies | 268,55 | 7,46 | |
| 242 | Systèmes cultureux et parcellaires complexes | 526,06 | 14,60 | |
| 243 | Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants | 573,40 | 15,92 | 24,30 |
| 311 | Forêts de feuillus | 429,72 | 11,93 | |
| 314 | Mangroves | 60,08 | 1,67 | |
| 323 | Végétation sclérophylle | 77,54 | 2,15 | |
| 324 | Forêt et végétation arbustive en mutation | 307,94 | 8,55 | |
| | Somme des occupations du sol du BV du nord du François | 2887,56 | 100 | 100 |

Ce BV (Tableau 11) est largement agricole (58 %), avec beaucoup de bananaïes (près de 17 %). Le taux d'urbanisation est assez élevé, partagé entre le bourg du François et l'urbanisation disparate de la zone (17,65 %). Les zones naturelles représentent enfin 24,30 % de la zone (principalement des forêts).

La carte avec l'occupation du sol de ce BV figure dans le paragraphe suivant (Figure 29).

La zone d'étude subit cependant principalement des pressions issues de l'ensemble du BV de la baie du Robert (détaillé ci-dessous), ainsi que d'éventuels résidus venant des courants transverses provenant des BV voisins, depuis le sud de Trinité au nord (BV de la rivière du Galion) ou bien le secteur du François (son BV "officiel").

1.3.3 Baie des Requins

Situation

La baie des Requins est située sur la pointe nord de la baie du Robert. Elle s'ouvre vers le sud-ouest et s'adosse à la pointe Melon (Figure 27).



Figure 27 : Carte de situation du site de la baie des Requins (Impact-Mer 2011, d'après IGN Scan100 et BD Carthage)

Description de la frange de palétuviers

La frange de palétuviers est ici encore principalement composée de palétuviers rouges *Rhizophora mangle*. Elle est moyennement élevée avec une canopée avoisinant les 4 mètres. La densité foliaire est assez élevée dans cette partie de mangrove. Le site est peu profond, entre 40-60 cm à l'ouest et 80-100 cm à l'est. Les racines sont plus adventives à l'est.

Description du sédiment

Le sédiment dans lequel se développe cette zone de mangrove est vaseux à sablo-vaseux. Un gradient est observé, avec plus de vase fine en fond de baie au nord-est, et un sédiment plus vaso-sableux en allant vers l'ouest.

En s'éloignant de la frange de palétuviers, la zone est sablo-vaseuse, avec de larges zones sableuses peu profondes. La flore marine est constituée d'un mélange de phanérogames marines (*Thalassia testudinum*) et de macro-algues (*Halimeda sp.* en particulier, Figure 28).



Figure 28 : Racines immergées et sédiment de la station Requins

Pressions du bassin versant

Le BV direct de la zone est réduit aux pentes de la baie des Requins, entre Pointe Savane et Bois Pothau (ZNIEFF). Il est constitué de zones naturelles principalement.

Le site de suivi est inclus dans le BV du Robert, qui fait moins de 25 km² de surface. Il est majoritairement occupé par l'agriculture (presque 40 %) et des écosystèmes relativement naturels à plus de 34 %, avec néanmoins 25 % de territoire urbanisé (Tableau 12 & Figure 29).

La baie des Requins se trouve sous l'influence de la circulation dans la baie du Robert, donc de l'ensemble de son BV (Figure 29), ainsi que de retours de courants transversaux d'autres baies, dont des résidus de la courantologie afférents à la baie du Galion et à son BV.

Tableau 12 : Occupation du sol du BV du nord du Robert (d'après Corine Land Cover 2006)

| Code CLC | Libellé CLC de niveau 3 | Superficie (ha) | Pourcentage | Pourcentage niveau 1 |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|----------------------|
| 112 | Tissu urbain discontinu | 560,37 | 22,99 | 25,41 |
| 121 | Zones industrielles et commerciales | 26,09 | 1,07 | |
| 131 | Extraction de matériaux | 17,68 | 0,73 | |
| 133 | Chantiers | 15,13 | 0,62 | |
| 224 | Canne à sucre | 178,78 | 7,33 | 39,95 |
| 225 | Bananeraies | 50,26 | 2,06 | |
| 231 | Prairies | 219,67 | 9,01 | |
| 242 | Systèmes culturaux et parcellaires complexes | 83,76 | 3,44 | |
| 243 | Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants | 441,36 | 18,11 | 34,64 |
| 311 | Forêts de feuillus | 406,98 | 16,70 | |
| 314 | Mangroves | 57,17 | 2,35 | |
| 323 | Végétation sclérophylle | 30,79 | 1,26 | |
| 324 | Forêt et végétation arbustive en mutation | 349,44 | 14,34 | |
| Somme des occupations du sol du BV du Robert | | 2437,49 | 100 | 100 |

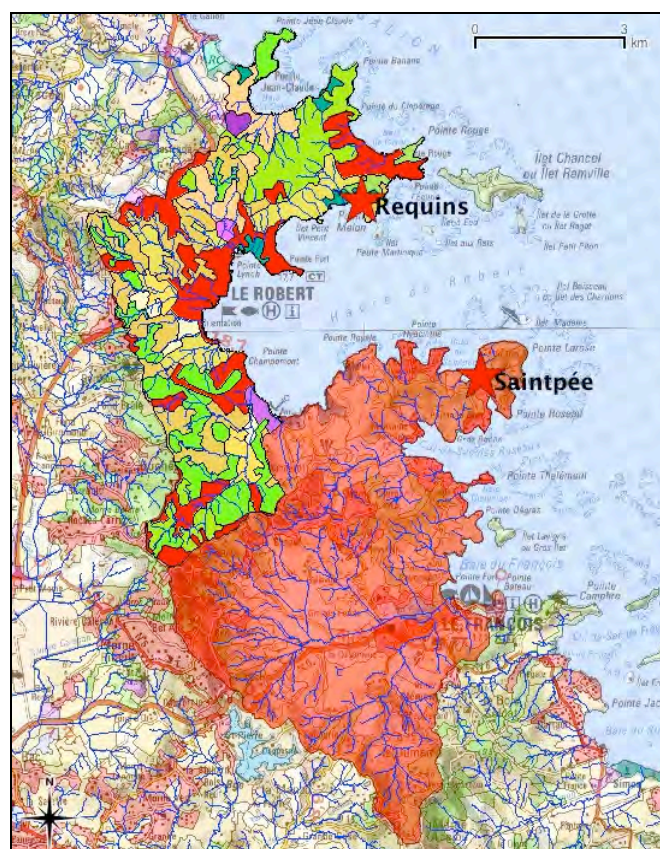
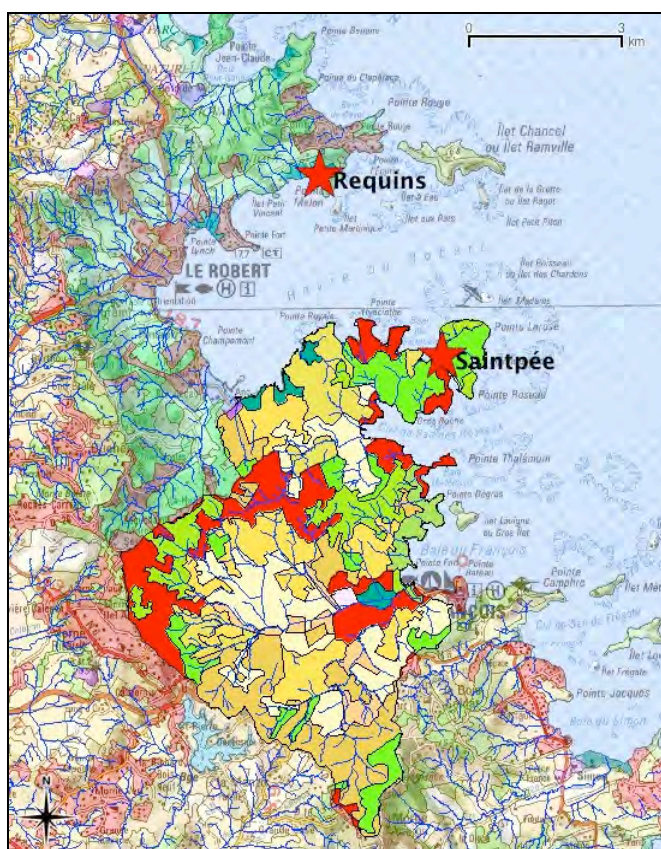


Figure 29 : Cartes des BV de la baie du Robert et nord François (d'après Corine Land Cover 2006)

1.3.4 Baie du Trésor

Situation

La baie du Trésor s'ouvre au sud de la presqu'île de la Caravelle, qui constitue une pointe très exposée. La baie abritée constitue cependant un havre calme, propice à l'établissement d'une frange littorale de mangrove, en particulier au nord (Figure 30).



Figure 30 : Carte de situation du site de la baie du Trésor (Impact-Mer 2011, d'après IGN Scan100 et BD Carthage)

Description de la frange de palétuviers

La frange littorale de mangrove de la zone commence sur un substrat sablo-vaseux. Le rideau de palétuviers du front de mer est constitué exclusivement de l'essence de palétuvier rouge, *Rhizophora mangle*. Les arbres prennent ici une forme plutôt arbustive, et atteignent des hauteurs peu élevées, de l'ordre de 2 ou 3 mètres. La densité foliaire est bonne, à l'exception de quelques zones de trouées. La dynamique de colonisation observée sur ce site est faible.

Description du sédiment

Le sédiment dans lequel se développe cette zone de mangrove est sablo-vaseux. Un gradient est observé, avec plus de vase en fond de baie vers le nord-ouest, et un sédiment largement plus sableux en allant dans l'autre direction, vers la plage au sud-est de la zone d'étude.

En s'éloignant de la frange de palétuviers, le sédiment est sablo-vaseux, avec de larges zones sableuses. La profondeur d'eau augmente doucement, tandis qu'une végétation constituée d'un mélange de phanérogames marines et de macro-algues alterne avec quelques massifs coralliens isolés (Figure 31).



Figure 31 : Racines immergées et sédiment de la station Trésor

Pressions du bassin versant

Le BV direct de cette petite baie isolée est limité. Il est composé d'une ZNIEFF terrestre (morne Pavillon) et d'une réserve naturelle nationale (RNN de la Caravelle).

L'ensemble de la presqu'île de la Caravelle (16 km²) est principalement constitué de zones naturelles (plus des deux tiers), tandis que 20% sont des terres agricoles et un peu plus de 12 % du tissu urbain, principalement représenté par la commune de la Trinité et le bourg de Tartane, au nord de la presqu'île (Tableau 13 & Figure 32).

Cependant la zone subit aussi les pressions issues de la rivière du Galion qui draine un large BV sur les communes de Trinité et Gros Morne et dont les polluants drainés sont nombreux.

Tableau 13 : Occupation du sol du BV de la Caravelle (d'après Corine Land Cover 2006)

| Code CLC | Libellé CLC de niveau 3 | Superficie (ha) | Pourcentage | Pourcentage niveau 1 |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|----------------------|
| 112 | Tissu urbain discontinu | 189,69 | 11,42 | 12,51 |
| 142 | Equipements sportifs et de loisirs | 18,23 | 1,10 | |
| 224 | Canne à sucre | 167,39 | 10,07 | 19,74 |
| 231 | Prairies | 108,96 | 6,56 | |
| 243 | Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants | 51,65 | 3,11 | |
| 311 | Forêts de feuillus | 7,77 | 0,47 | 67,16 |
| 314 | Mangroves | 13,77 | 0,83 | |
| 323 | Végétation sclérophylle | 1080,84 | 65,05 | |
| 332 | Roches nues | 13,52 | 0,81 | |
| 521 | Lagunes littorales | 9,82 | 0,59 | |
| | Somme des occupations du sol du BV de la Caravelle | 1661,65 | 100 | 100 |

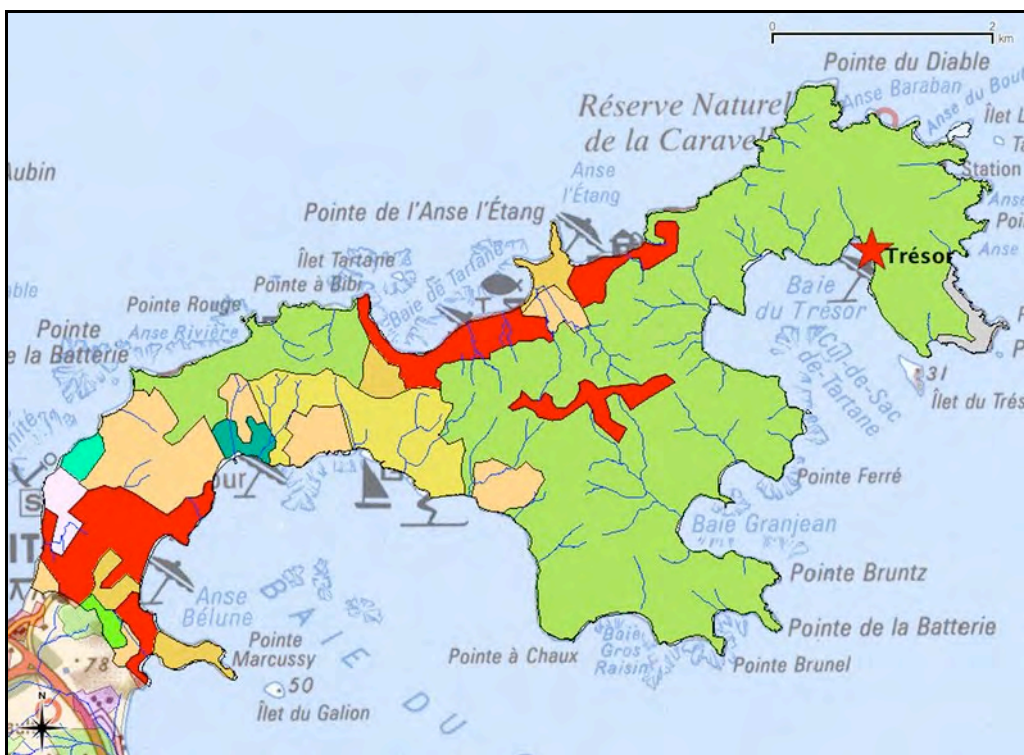


Figure 32 : Carte du BV de la presqu'île de la Caravelle (d'après Corine Land Cover 2006)

1.4 Les indices de pression

Les indices de pression déterminés pour chaque site étudié sont présentés dans le Tableau 14. Les sites étudiés obtiennent des indices s'échelonnant entre 1 (Baie du Trésor) et 4 (Cohé du Lamentin). L'indice 1 correspond à un site peu soumis aux pressions anthropiques tandis que l'indice 4 à un site soumis à des perturbations importantes et/ou diversifiées. Deux sites sont classés en 2 (Saintpée et Grenade) tandis que 4 sites obtiennent l'indice de pression 3 : Génipa, Requins et les sites voisins de Marin et Baude. Les principales pressions venant impacter chacun des sites d'étude sont résumées dans le tableau.

Tableau 14 : Description des principales pressions subies par les sites d'études

| Site | Station | Indice de pression | Description des principales pressions |
|-------------------------------|----------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cohé du Lamentin | Cohé | 4 | Immense BV très anthropisé (urbain, agricole, industries et commerces), plan d'eau à usages industriels, professionnels et de loisirs importants. Pollutions avérées. |
| Baie de Génipa | Merle | 3 | Grand BV anthropisé (agricole surtout), plan d'eau à usages professionnels et de loisirs importants. Pollutions suspectées. |
| Ilet Baude | Baude | 3 | Grand BV très anthropisé (urbain, agricole, industries et commerces), plan d'eau à usages industriels, professionnels et de loisirs importants (nautisme). Pollutions avérées. |
| Pointe Marin Baie du Marin | Marin | 3 | Grand BV très anthropisé (urbain, agricole, industries et commerces), plan d'eau à usages industriels, professionnels et de loisirs importants (nautisme). Pollutions avérées. |
| Grenade | Grenade | 2 | Petit BV peu anthropisé (agricole surtout), plan d'eau modérément fréquenté. |
| Baie de Saintpée | Saintpée | 2 | Petit BV peu anthropisé (mais BV du Robert proche), plan d'eau modérément fréquenté. |
| Baie des Requins | Requins | 2 | Grand BV adjacent anthropisé (urbain, agricole, industries), plan d'eau à usages industriels, professionnels et de loisirs. |
| Baie du Trésor | Trésor | 1 | Petit BV très peu anthropisé, plan d'eau modérément fréquenté, possibles influences du Galion non quantifiées. |

2 Physico-chimie

2.1 Température de l'eau

La température a varié de 25,9°C (Grenade, campagne 4) à 30°C (Grenade, campagne 1). Les températures les plus froides sont majoritairement les températures de saison sèche (C2 et C4) et les plus chaudes celles de saison humide (C1 et C3). Ceci est cohérent avec les variations saisonnières de température observées dans la Caraïbe, où les températures de l'eau de mer sont plus fortes en saison humide.

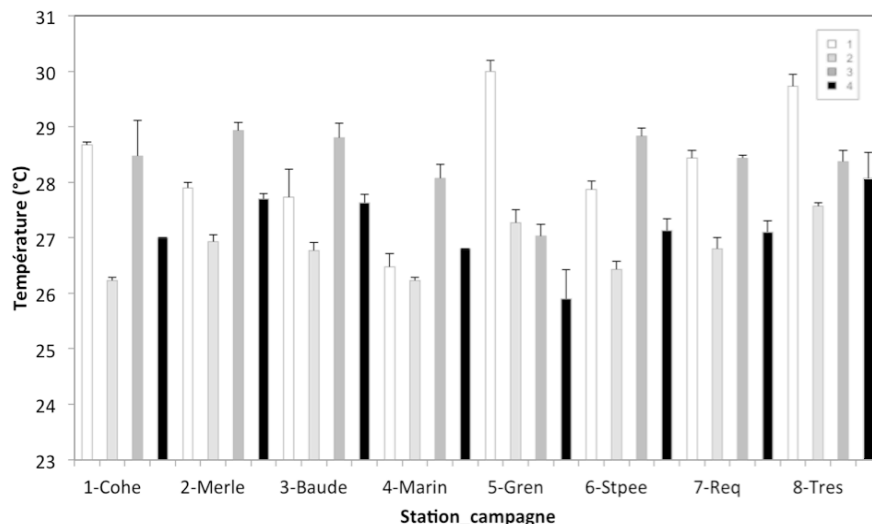


Figure 33 : Températures mesurées lors des 4 campagnes aux 8 sites (n=3±SD)

2.2 Salinité

La salinité a varié entre 23,2 à Grenade (campagne 3) et 35,9 à Marin (campagne 2). Sauf quelques exceptions, la salinité est en général moins élevée pendant la saison humide. Ceci pourrait être expliqué par le fait que les fortes pluies observées à cette saison entraînent une dilution des eaux de mer côtières par l'apport important d'eau douce.

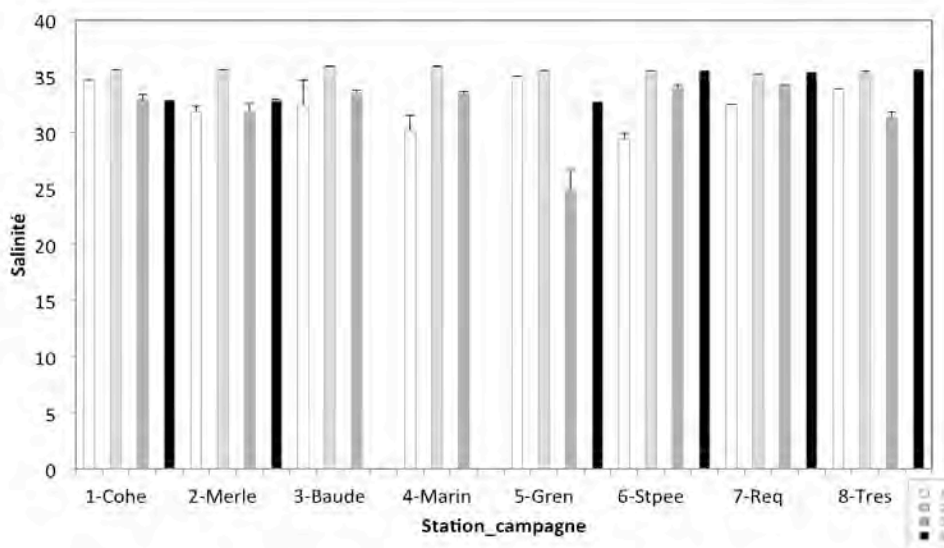


Figure 34 : Salinités mesurées lors des 4 campagnes aux 8 sites (n=3±SD)

2.3 pH

Le pH a varié entre 7,87 à Grenade et 8,41 à Pointe Merle. Les variations sont faibles et ne semblent pas montrer de saisonnalité.

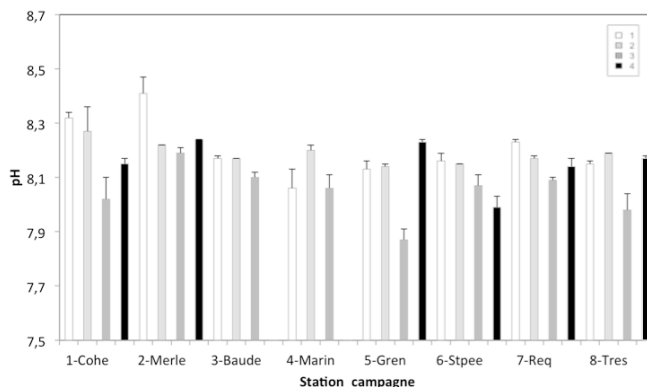


Figure 35 : pH mesurés lors des 4 campagnes aux 8 sites (n=3±SD)

2.4 Oxygène dissous

Les valeurs moyennes des concentrations et de la saturation en **oxygène** dissous sont de $6,58 \pm 0,17 \text{ mg l}^{-1}$ et $87,5 \pm 1,8\%$, respectivement, pour l'ensemble des campagnes.

Les valeurs minimales ont été mesurées à Cohé du Lamentin (campagne 3 : $3,97 \pm 0,31 \text{ mg l}^{-1}$ et $62,33 \pm 4,51\%$, respectivement). Les valeurs maximales ont été mesurées à Marin (campagne 4 : $8,34 \pm 0,48 \text{ mg l}^{-1}$) et Merle (campagne 4 : 105 %).

Les valeurs semblent moins élevées durant la dernière saison humide que durant les autres campagnes. Durant cette saison (Hivernage) les vents sont en général moins forts, les températures plus élevées et les apports d'eau douce fréquents, ce qui ne favorise pas l'oxygénation des eaux, surtout dans les zones typiquement confinées où s'établissent les mangroves.

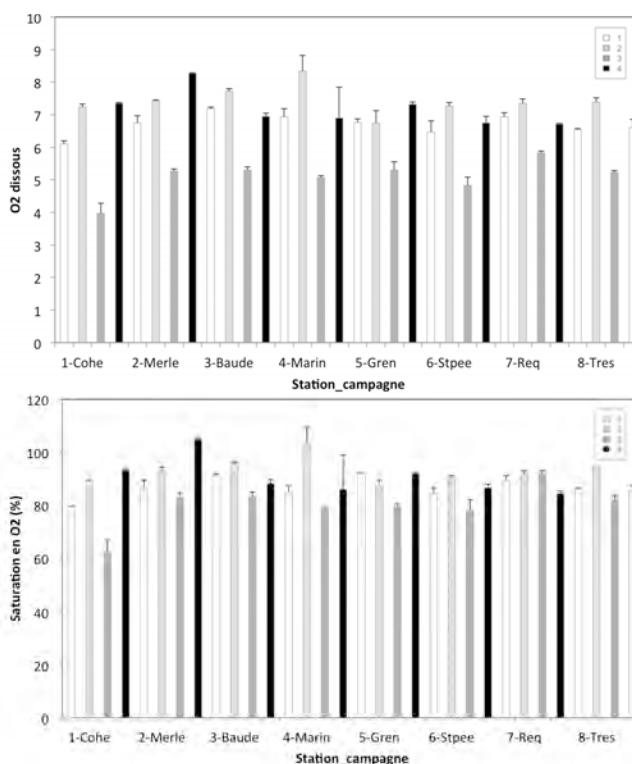


Figure 36 : a) Quantité d'O₂ dissous et b) Saturation en O₂, mesurées lors des 4 campagnes aux 8 sites (n=3±SD)

2.5 Turbidité

La turbidité a varié entre $0,33 \pm 0,07$ FNU à Trésor (campagne 1) et $16,67 \pm 0,58$ FNU à Cohé (campagne 3). La majorité des relevés sont entre 0,33 et 3 FNU. On note certaines mesures extrêmes, notamment lors de la campagne 3 aux sites de Cohé, Merle, Marin et Trésor, ainsi qu'à Baude lors de la campagne 1 (mais l'écart-type est très grand pour cette valeur). La tendance saisonnière semble cependant robuste et directement reliée aux apports terrigènes des bassins versants très lessivés par les précipitations (50,2 mm la veille de la mesure lors de la campagne 3 sur Génipa et Cohé, 24,2 mm le jour même).

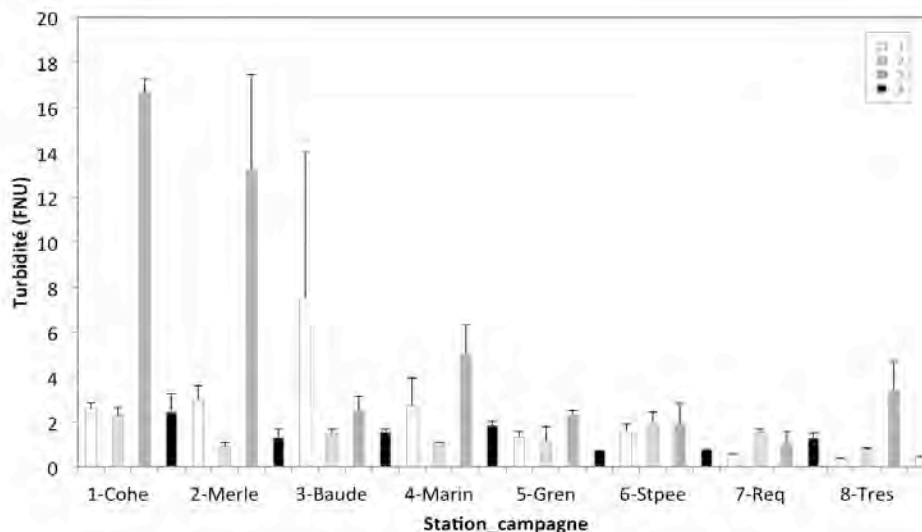


Figure 37 : Turbidités mesurées lors des 4 campagnes aux 8 sites (n=3±SD)

2.6 Phosphates

La concentration en orthophosphates a varié entre $0,05 \pm 0$ $\mu\text{mol l}^{-1}$ à Cohé (campagne 3) et $2,66 \pm 2,03$ $\mu\text{mol l}^{-1}$ à Marin (campagne 1). Cette valeur présente cependant un fort écart type. De plus la plupart des valeurs sont très faibles (inférieurs au seuil de détection de $0,05 \mu\text{mol l}^{-1}$).

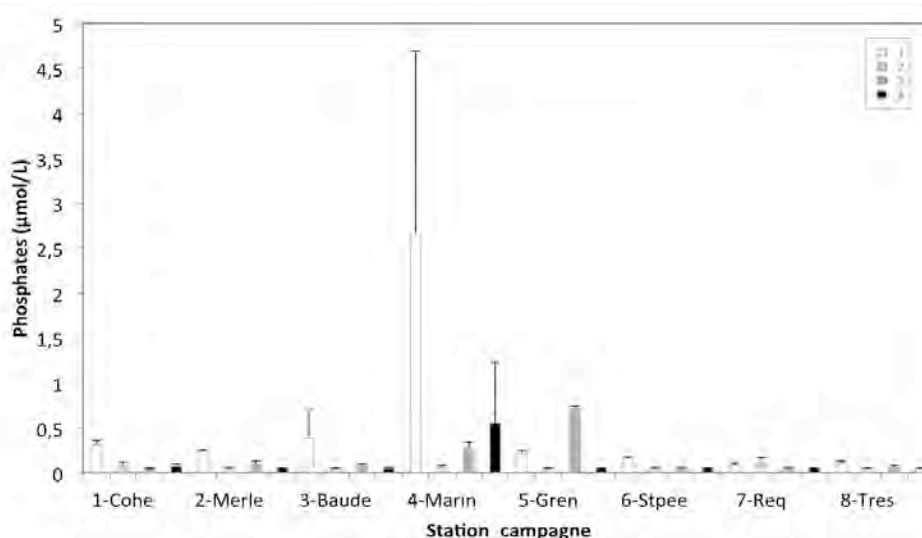


Figure 38 : Phosphates mesurés lors des 4 campagnes aux 8 sites (n=3±SD)

2.7 DIN

Les concentrations en ammonium ont varié entre $0,1 \pm 0,01 \mu\text{mol l}^{-1}$ à Cohé (C₄) et $7,08 \pm 8,72 \mu\text{mol l}^{-1}$ à Marin (C₄). Il est important de noter que cette valeur présente un très fort écart type et que la plupart des valeurs son inférieures à $1 \mu\text{mol l}^{-1}$.

Les concentrations en nitrates se sont étalées entre $0,06 \pm 0,02$ à Requin (C₂) et $5,95 \pm 5,5 \mu\text{mol l}^{-1}$ à Marin (C₁). De même l'écart type de la dernière valeur est très important et ne permet pas de conclure quant à cet extrême. La majorité des valeurs sont là aussi inférieures à $1 \mu\text{mol l}^{-1}$.

Les concentrations en nitrites ont varié entre $0,03 \pm 0,0$ $\mu\text{mol l}^{-1}$ à Merle (C₄) et $0,6 \pm 0,27 \mu\text{mol l}^{-1}$ à Cohé (C₂). La majorité des valeurs sont inférieures à $0,07 \mu\text{mol l}^{-1}$.

Aucune variation saisonnière claire n'a pu être notée pour l'ensemble des DIN.

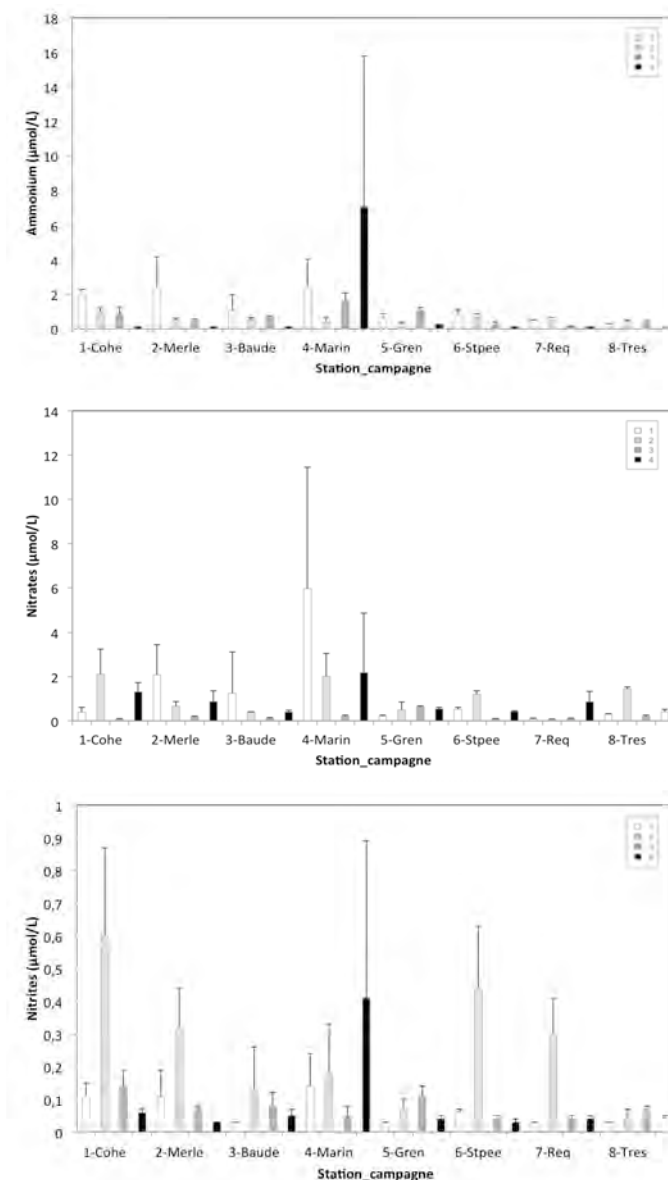


Figure 39 : a) Ammonium, b) Nitrates et c) Nitrites mesurés lors des 4 campagnes aux 8 sites ($n=3\pm SD$)




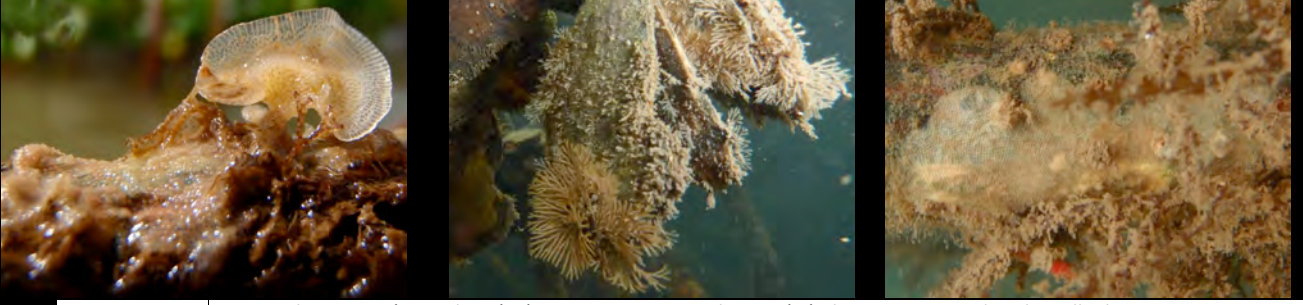
3 Les divers groupes taxonomiques



3.1 Définition des groupes

Suite aux observations terrain, les groupes pressentis (Matériel et méthodes) ont été adaptés (Tableau 15).

Note : Certains de ces groupes d'études rencontrés que rarement (AN, GO, MOLL) ont été écartés des analyses après examen.

Tableau 15 : Définition des groupes utilisés dans l'étude des autres épibiontes.

| | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AN | Anémones | Ce groupe est peu rencontré. Il s'agit de cnidaires hexacoralliaires sessiles généralement solitaires de l'ordre des actiniaires. |
|  | | |
| ASC | Ascidies | Ce groupe est peu représenté. Il s'agit d'organismes chordés, fixés, solitaires ou coloniaux, possédant deux siphons, un inhalant au sommet et un exhalant latéral. |
|  | | |
| BIV | Bivalves | Ce groupe de mollusques très représenté sur les racines de palétuviers possède une coquille composée de deux valves. |
|  | | |
| BRYO | Bryozoaires | Ce groupe d'organismes coloniaux est représenté par des ensembles de zoïdes, aux formes encroûtantes et arbustives, souples ou calcifiées. Il est faiblement représenté sur les racines de palétuviers. |
|  | | |
| CIR | Cirripèdes | Se sont des crustacés sessiles sécrétant une carapace calcaire généralement conique dans laquelle ils vivent, se nourrissant par filtration à l'aide de palettes de cirres. Ils sont assez représentés, mais de manière très inégale suivant les sites. |

| | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>CYA Cyanobactéries</p> | <p>Dans cette catégorie, on regroupe des épiphytes filamenteux de différents groupes taxonomiques photosynthétiques et notamment des chlorophytes et cyanobactéries. Ce groupe est peu représenté.</p> |
|  | <p>GO Gorgones</p> | <p>Ce groupe est peu rencontré. Il s'agit de cnidaires octocoralliaires dont les axes squelettiques, souvent ramifiés, portent les polypes.</p> |
|  | <p>MA Macro-algues</p> | <p>Ce groupe très présent comprend les organismes pluricellulaires photosynthétiques appartenant à plusieurs entités taxonomiques. rhodophytes, les chlorophytes et chromophytes.</p> |
|  | <p>POLY Polychètes</p> | <p>Ce groupe peu représenté est celui des annélides polychètes sédentaires, vivant dans un tube constitué de mucus et de débris dont ne sort que le panache branchial permettant la respiration et la nutrition.</p> |
|  | <p>SP Spongiaires</p> | <p>Il s'agit d'organismes solitaires, toujours sessiles, dont les formes de croissance sont très variées (massives, érigées ou encroûtantes). Ces filtreurs puissants sont très présents.</p> |



3.2 Généralités

Les quatre campagnes menées entre novembre 2010 et février 2012 ont permis de récolter 19 200 enregistrements de points intercept (PIT) sur l'ensemble des sites (30 PIT x 20 racines x 8 sites x 4 campagnes). Parmi ces enregistrements, un nombre restreint d'occurrences correspond à des racines qui ont dû être remplacées au cours de la seconde ou de la troisième campagne. Ne s'agissant pas d'un "suivi" réel de l'évolution des racines, les résultats de ces racines nouvellement suivies ont été amalgamés aux autres, dans le souci de conserver un nombre constant de PIT à travers les 4 campagnes.

La Figure 40 présente le pourcentage des occurrences des divers groupes étudiés sur les racines de palétuviers. Les épiphytes représentent la majeure partie des peuplements épibiontes des racines du palétuvier rouge sur les sites étudiés, avec 37 % de macroalgues et 21 % de turf (qui peut cependant rassembler des espèces animales). La faune sessile est en majorité composée de bivalves (19%) et d'éponges (15%). Les autres groupes d'organismes de moindre occurrence (CIR, BRYO, CYA, ASC...) ont une représentation comprise entre 1 et 4 %.

Il est précisé que la proportion de points intercepts non colonisés (« VIDE ») sur l'ensemble des observations aux différentes campagnes et sur l'ensemble des sites est d'environ 25 %. Les pourcentages présentés ci-dessus excluent ces occurrences de la catégorie d'enregistrements de terrain "VIDE".

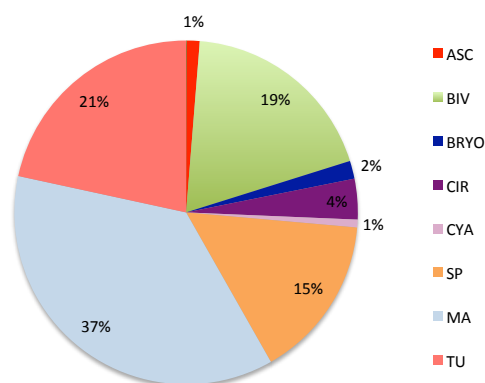


Figure 40 : Pourcentage général des occurrences des divers groupes étudiés sur les racines de palétuvier (n=80±SD). ASC=ascidies, BIV=bivalves, BRYO=bryozoaires, CIR=cirripèdes, CYA=cyanobactéries, SP=éponges, MA=macroalgues, TU=turf

3.3 Variabilité intra et inter sites

Variabilité générale inter-sites

Les pourcentages d'occurrence des divers groupes sur les racines de palétuviers varient d'un site à l'autre (Figure 41). Le pourcentage de points intercept colonisés varie entre 66,3% à Cohé et 76,4% à Baude. D'une manière générale, les groupes les plus représentés sont les macroalgues (9-38%), le turf (8-24%) et les éponges (4-19%). Les gorgones, les polychètes, les annélides, les ascidies et les mollusques (sauf bivalves) sont rarement observés. Des différences peuvent être notées dans les assemblages de ces groupes en fonction des sites. Ainsi les sites Cohé, Merle et Requin présentent peu de spongiaires en comparaison avec les autres.

Les cirripèdes sont décrits presque exclusivement aux sites de Merle et Trésor. Ces différences seront étudiées plus en détail par site ci-après.

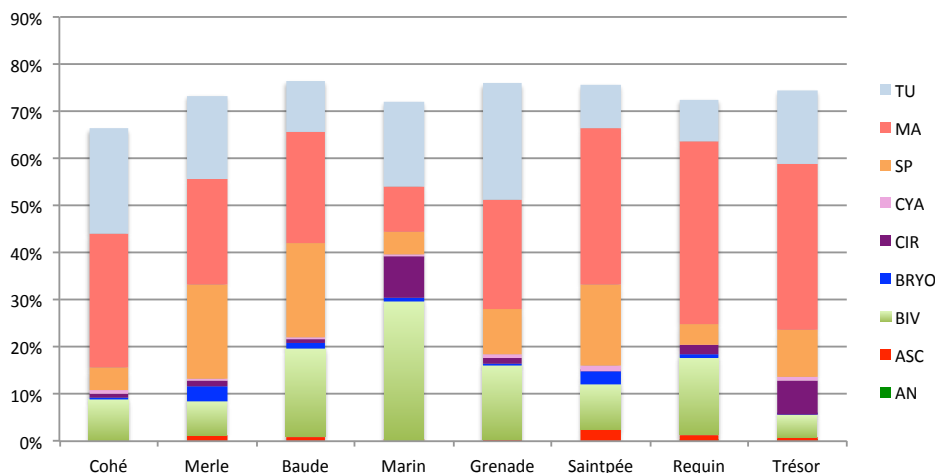


Figure 41 : Pourcentage d’occurrence des divers groupes étudiés sur les racines de palétuvier (n=80±SD) aux 8 stations. AN=anémones, ASC=ascidies, BIV=bivalves, BRYO=bryozoaires, CIR=cirripèdes, CYA=cyanobactéries, SP=éponges, MA=macroalgues, TU=turf

Distribution sur les racines

Une zonation verticale a pu être observée sur les racines de palétuviers (Figure 42). Bien que certaines différences soient notées entre les sites étudiés, cette zonation est similaire pour l’ensemble des stations. Les bivalves se situent entre 0 et 90 cm de fond, avec un pic entre 15-35 cm de profondeur. Les cirripèdes sont également surtout présents dans la partie haute de la racine, majoritairement de 0 à 45 cm. Les éponges, le turf et les macroalgues sont présents sur l’ensemble de la racine, étant parfois les seules espèces présentes en milieu profond. Il est important de souligner que le nombre de racines longues échantillonnées est faible et que par conséquent cette observation est à prendre avec réserve. Les longueurs maximale et moyenne des racines de palétuviers varient en fonction des sites. Les racines les plus longues sont observées aux sites de Cohé (195-200 cm) et de baie des Requins (185-190 cm).

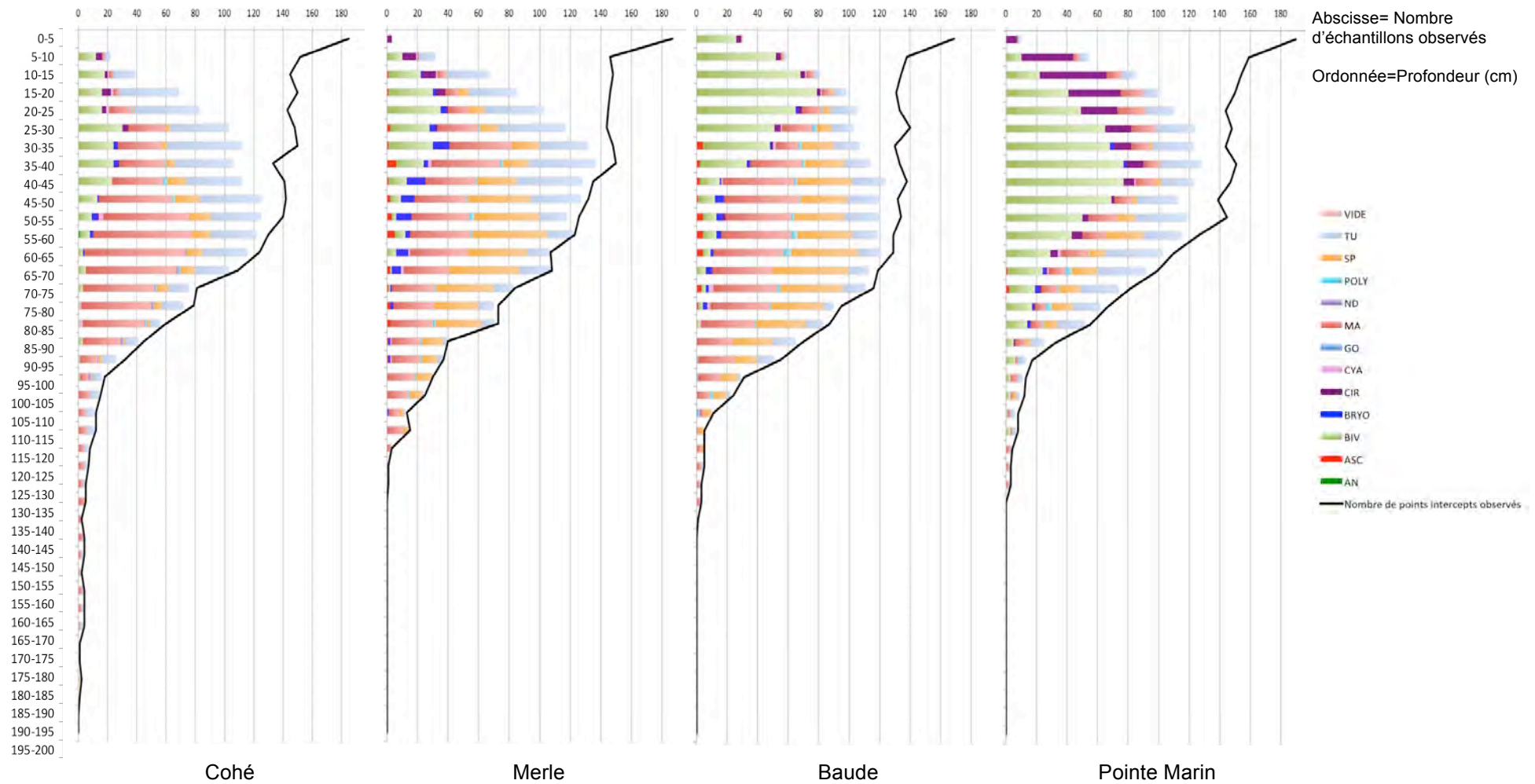
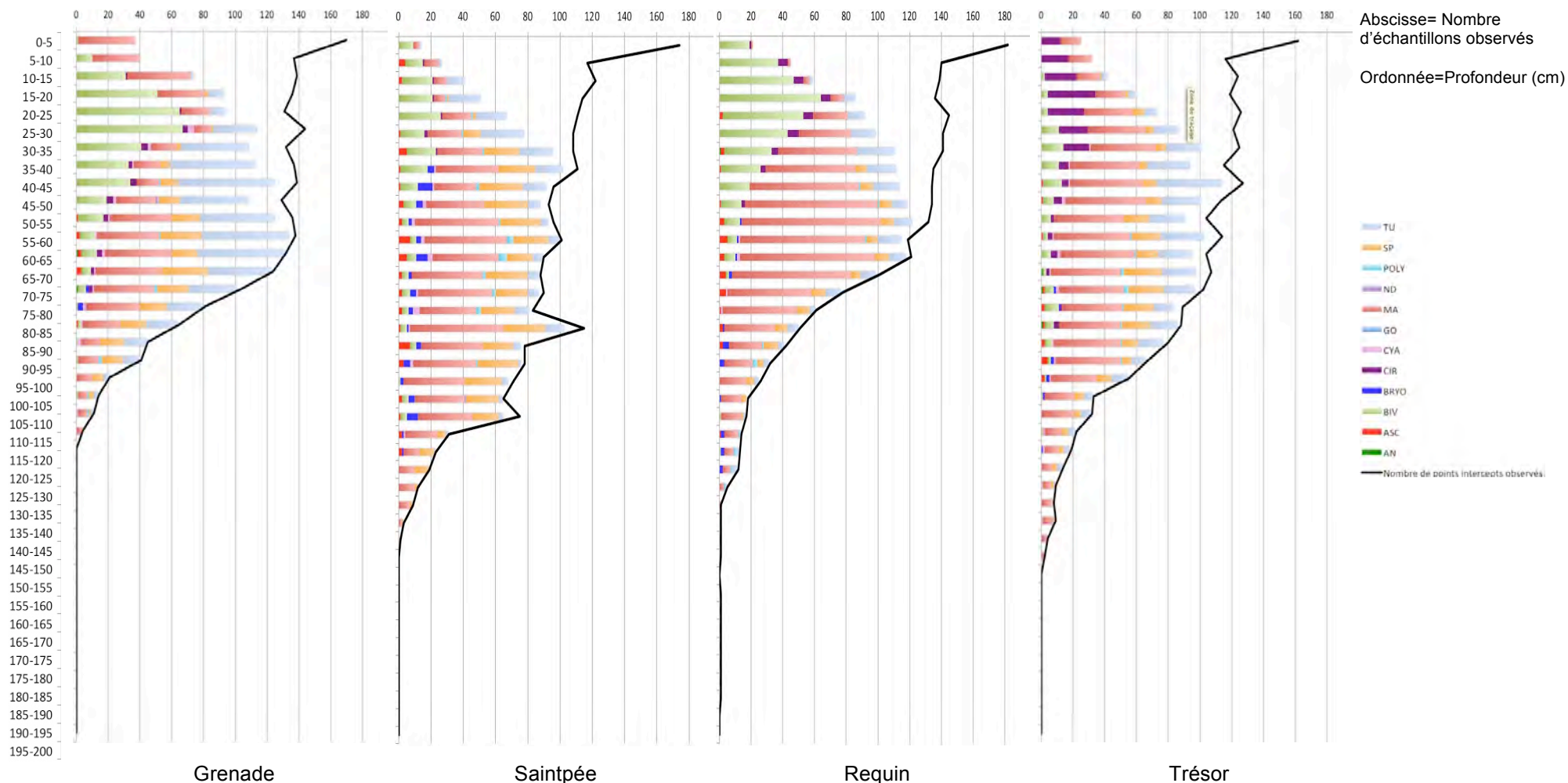


Figure 42 : Répartition des différents groupes taxonomiques échantillonnés en fonction de leur profondeur sur les racines.

AN=anémones, ASC=ascidies, BIV=bivalves, BRYO=bryozoaires, CIR=cirripèdes, CYA=cyanobactéries, GO=gorgones, MA=macroalgues, ND=non déterminé, POLY=polychètes, SP=éponges, TU= turf



Répartition des différents groupes taxonomiques échantillonnés en fonction de leur profondeur sur les racines.

AN=anémones, ASC=ascidies, BIV=bivalves, BRYO=bryozoaires, CIR=cirripèdes, CYA=cyanobactéries, GO=gorgones, MA=macroalgues, ND=non déterminé, POLY=polychètes, SP=éponges, TU=turf

Il faut noter que ce graphique ne donne pas d'indications quant au nombre d'organismes réellement présents aux différentes profondeurs, mais renseigne sur les occurrences des groupes à chaque classe de profondeur. Le nombre de points interceptés échantillonnés diminue avec la profondeur (moins de grandes racines).

Zonation Caraïbe / Atlantique

Aucune différence n'a pu être observée en groupant les données par côte (Caraïbe / Atlantique). Il est important de noter que les relevés sont réalisés au niveau du groupe taxonomique et non pas au niveau spécifique pour lequel des barrières physiques existent peut-être. Les analyses statistiques ci-après permettent de mieux renseigner ce paramètre de zonation.

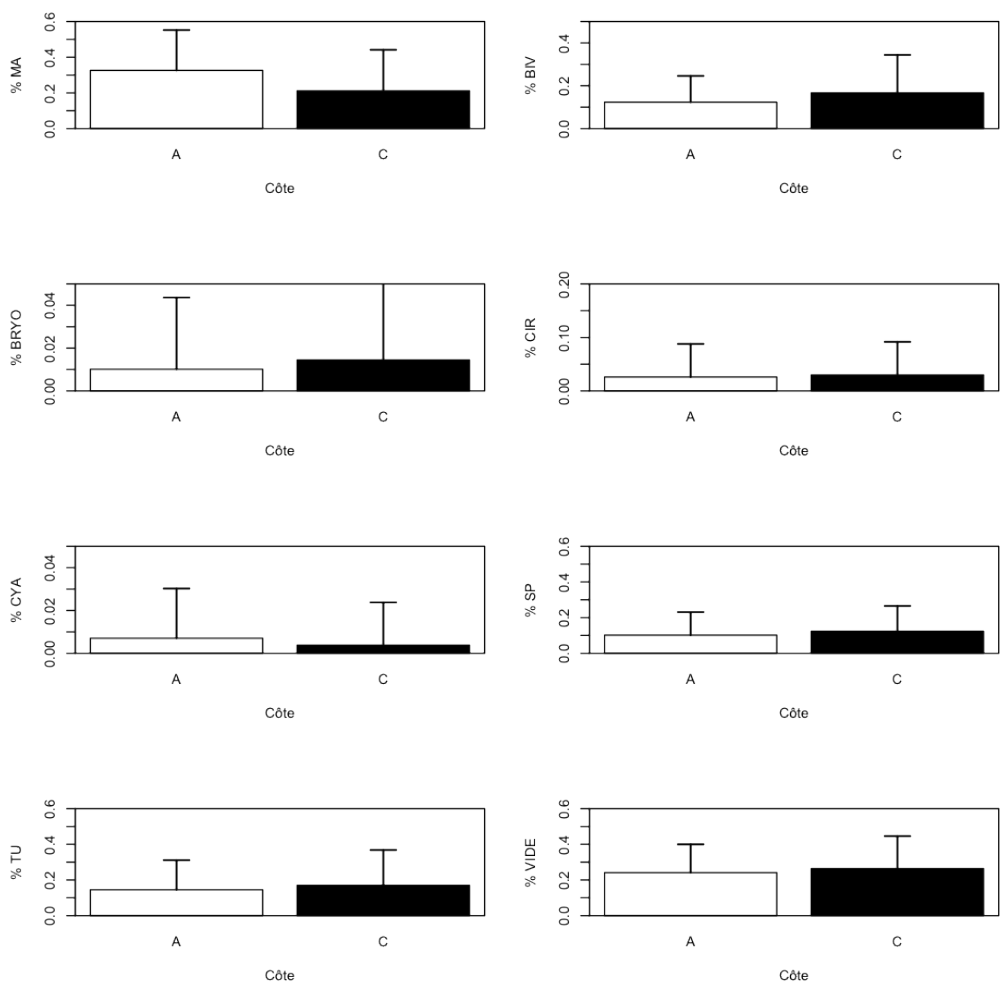


Figure 43 : Pourcentage de présence des organismes sur les racines de palétuvier par côte (A=Atlantique et C=Caraïbe). (n=240±SD) ; MA=Macroalgues, BIV=bivalves, BRYO=bryozoaires, CIR=Cirripèdes, CYA=cyanobactérie, SP=éponges, TU=turf, Vide=substrat non colonisé.

3.4 Les divers groupes étudiés

3.4.1 Les ascidies

Les ascidies présentent des occurrences faibles comprises entre 0% à Cohé du Lamentin et 2% à Saintpée (Figure 44). Ces organismes sont présents de manière très ponctuelle sur un nombre de racines réduit par site (Figure 45). Seuls les sites de Saintpée (C_{1,3}), Requin (C₂) et Merle (C₁) semblent présenter des ascidies de manière plus fréquente. Cette présence ponctuelle explique en partie les forts écarts types notés sur la Figure 44.

Les occurrences semblent varier d'une campagne à l'autre sans pour autant montrer de tendance claire. Ces observations sont également valables à l'échelle des saisons. Les occurrences sont stables entre les deux saisons à Saintpée, plus fortes en saison humide qu'en sèche pour le site de Merle et plus faibles en saison humide qu'en sèche pour toutes les autres stations.

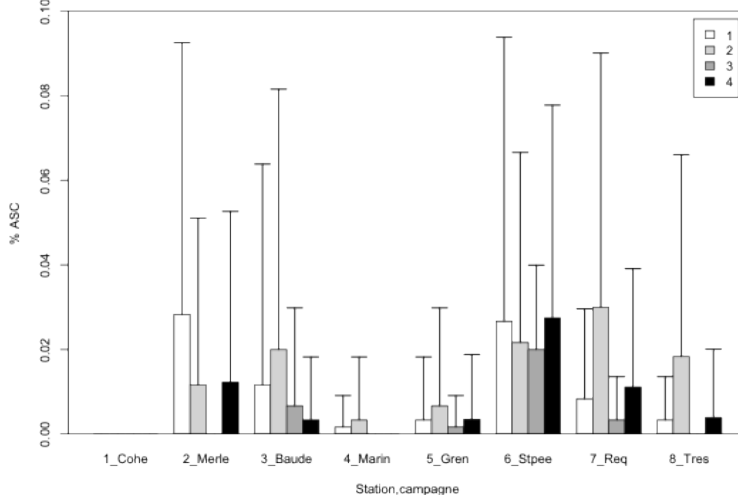


Figure 44 : Pourcentage d'occurrences des ascidies sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites (n=20±SD).

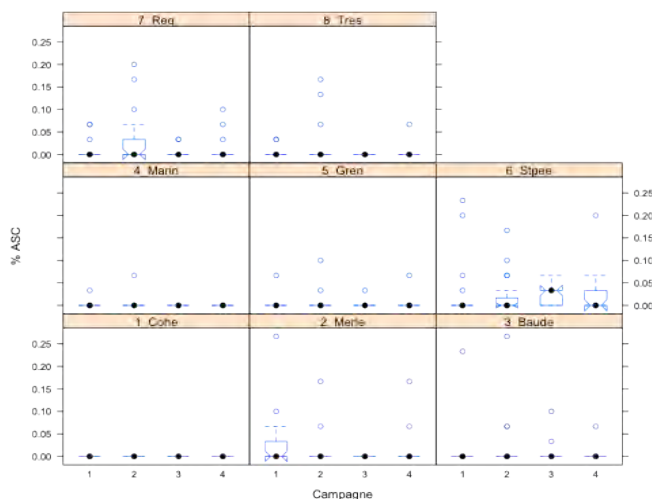


Figure 45 : Boxplot du pourcentage d'occurrences des ascidies sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites (n=20±SD).

A retenir :

- Pas de variation selon les campagnes ou les saisons claire.
- Absence complète au site de Cohé.
- Plus fréquentes au site de Saintpée.

3.4.2 Les bivalves

Les occurrences des bivalves varient entre 1,2% à Trésor (C₁) et 35,2% à Pointe Marin (C₁). De manière générale, la présence des bivalves est plus forte aux sites de la Pointe Marin (23-35%), de Baude (15-25%), de Grenade (11-20%) et de Requin (11-20%). La présence des bivalves ne semble pas varier selon les campagnes, ou selon des saisons. Seul le peuplement de Pointe Marin semble décroître en abondance de manière régulière entre les campagnes 1 et 4 (C₁ : 35% ; C₂ : 32% ; C₃ : 27% et C₄ : 23%). Il est cependant important de noter que la variabilité mise en évidence par les écarts types est assez forte.

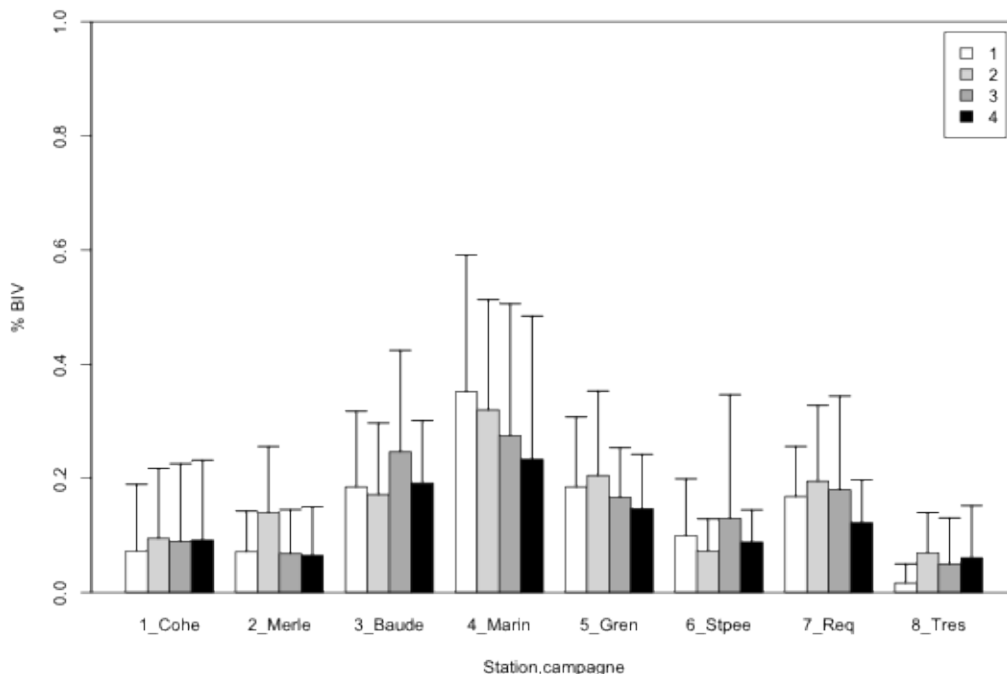


Figure 46 : Pourcentage d’occurrences des bivalves sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites (n=20±SD).

A retenir :

- Pas de variations claires selon les campagnes ou les saisons (échantillonner Pointe Marin dans le futur pour surveiller la tendance particulière observée).
- Présence plus forte aux sites de Pointe Marin, de Baude, de Grenade et de Requin.

3.4.3 Les bryozoaires

Les occurrences de bryozoaires sont très faibles sur les sites étudiés (Figure 47). Elles sont nulles pour de nombreux sites et campagnes (Cohé C_{1,2} ; Requin C₄ ; Trésor C_{2,4} ; et Grenade, C_{2,4}) et atteignent un maximum de 4,5 % à Merle (C₁). Une variabilité très importante est notée. Ces organismes sont observés de manière ponctuelle dans la plupart des sites, sauf Merle et Saintpée où ils semblent présents de manière plus fréquente (Figure 48).

Ce groupe ne présente pas de variations claires en fonction des campagnes ou de la saison.

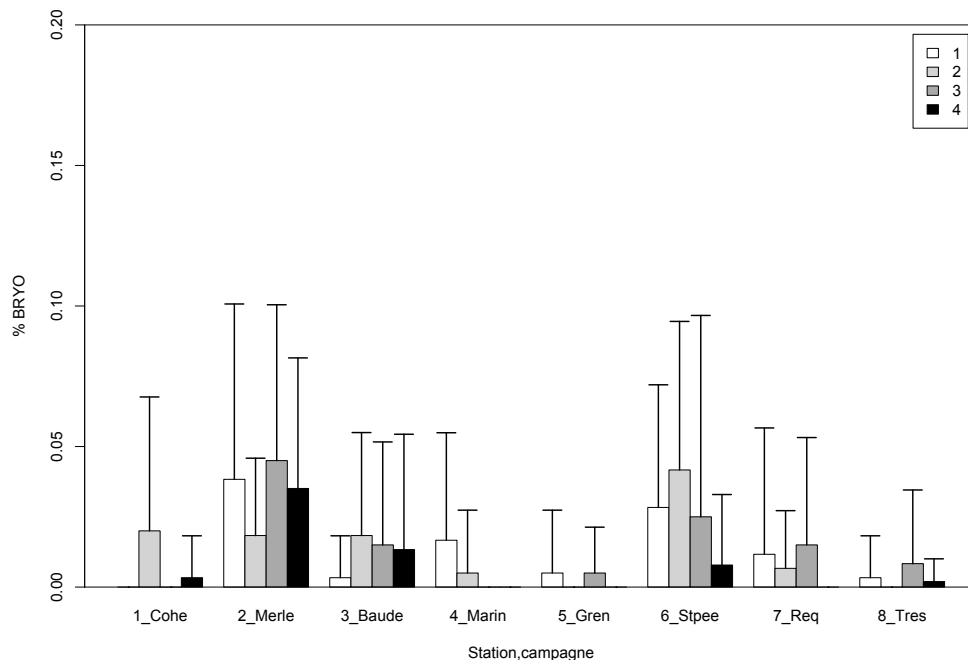


Figure 47 : Pourcentage d’occurrences des bryozoaires sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites (n=20±SD).

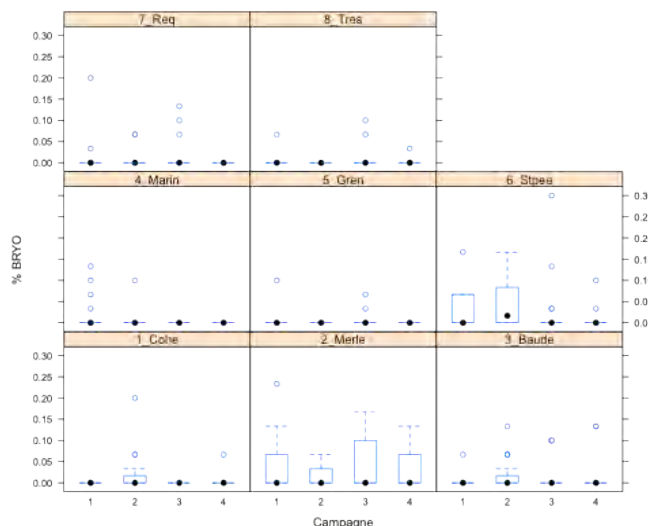


Figure 48 : Boxplot du pourcentage d’occurrences des bryozoaires sur les racines de palétuviers pour les 4 campagnes aux 8 sites (n=20±SD).

A retenir :

- Pas de variations claires selon les campagnes ou les saisons.
- Occurrences très faibles.

3.4.4 Les cirripèdes

Les cirripèdes ont des occurrences faibles sur l'ensemble des sites. Ils sont absents dans de nombreux sites et campagnes (Cohé C₃ ; Saintpée C₃ ; Baude C₁) et présentent une occurrence maximale de 12,5% à Pointe Marin (C₁). Ils sont également abondant sur le site du Trésor (Figure 49). Leur présence ne semble pas varier avec les campagnes ou les saisons. La Figure 50 souligne leur présence ponctuelle sauf à Trésor et Marin.

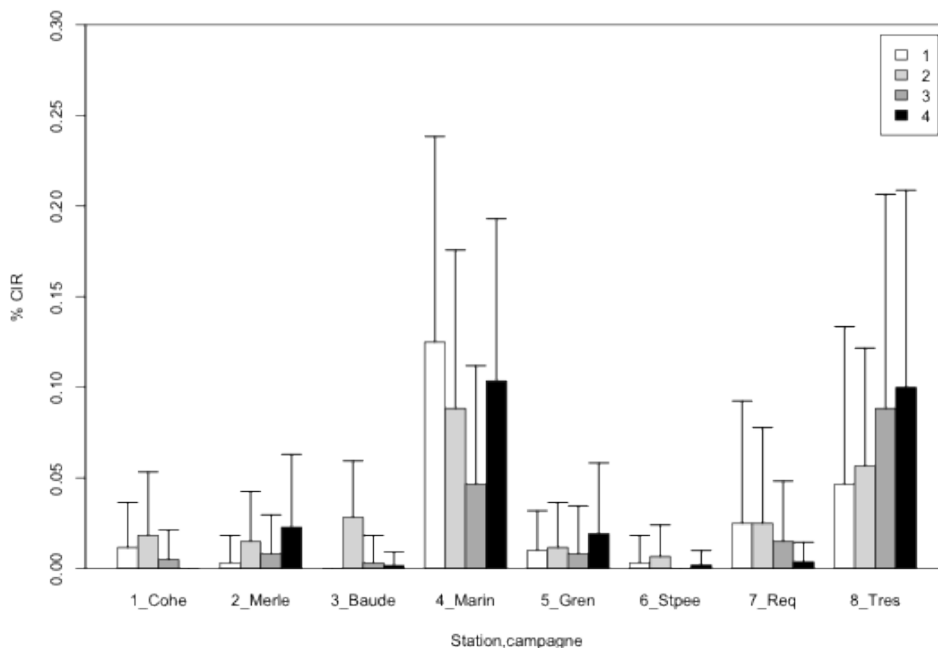


Figure 49 : Pourcentage d’occurrences des cirripèdes sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites (n=20±SD).

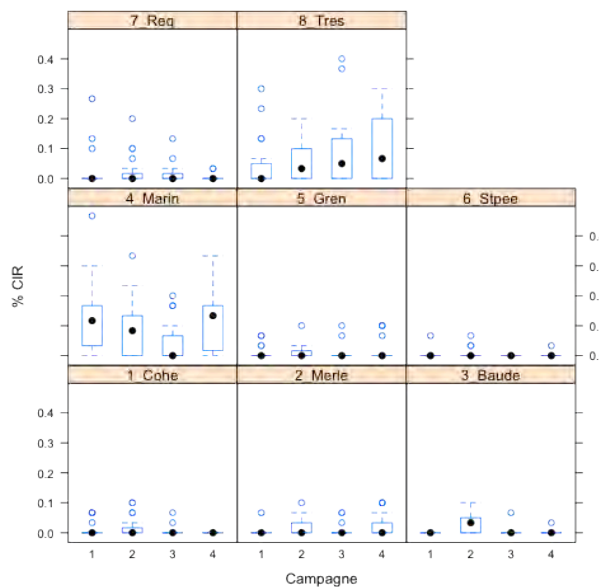


Figure 50 : Boxplot du pourcentage d’occurrences des cirripèdes sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites (n=20±SD).

A retenir :

- Pas de variations claires selon les campagnes ou les saisons.
- Occurrences très faibles.

3.4.5 Les éponges

Les occurrences d'éponges sont comprises entre 0% à Cohé (C₃) et 23,2% à Merle (C₃). La présence des éponges semble être « site-dépendante » avec certaines stations telles que Merle, Baude et Saintpée plus colonisées (17-22%) que les autres (4-12%). Une disparition brutale et totale des éponges a été notée à Cohé lors de la campagne 3 en novembre 2011. Les éponges semblent recoloniser le milieu depuis (résultats de la campagne 4 : observation d'une dizaine de jeunes individus sur le site). Le site de Trésor présente cependant une régression constante des enregistrements de spongiaires de C₁ à C₄.

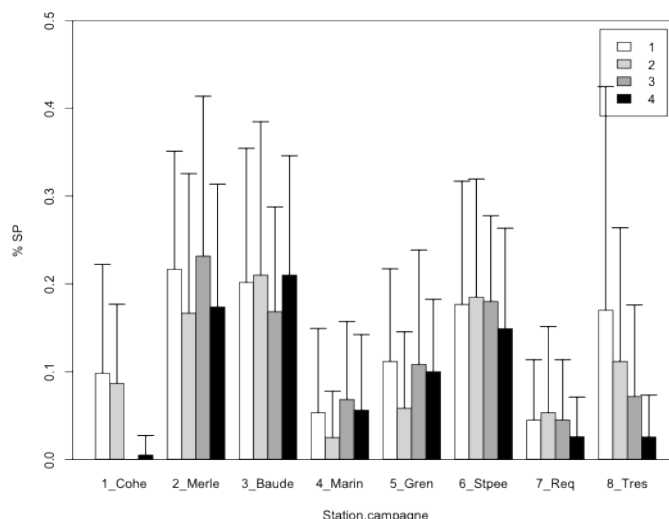


Figure 51 : Pourcentage d'occurrences des éponges sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites (n=20±SD).

A retenir :

- Occurrences très variables en fonction des sites.
- Pas de variation claire en fonction des saisons.
- Disparition au site de Cohé en C₃, et diminution constante à Trésor entre C₁ et C₄. (suivi à poursuivre).

3.4.6 Les polychètes

Les polychètes sont rares sur les racines de palétuviers et présents de manière sporadique, sauf à Saintpée où ils sont présents de manière plus fréquente (Figure 52). Généralement, le nombre d'observations est réduit (seulement une à deux racines présentant des polychètes par campagne, Figure 53). Les occurrences sont donc comprises entre 0% (Cohé, C₃) et 1,4% (Saintpée, C₄). Aucune variation par campagne ou par saison claire ne peut être notée. Cependant, il est noté, que comme pour les spongiaires, les polychètes ont complètement disparu du site de Cohé pendant la campagne 3.

La Figure 53 met en évidence le nombre d'observations très limité.

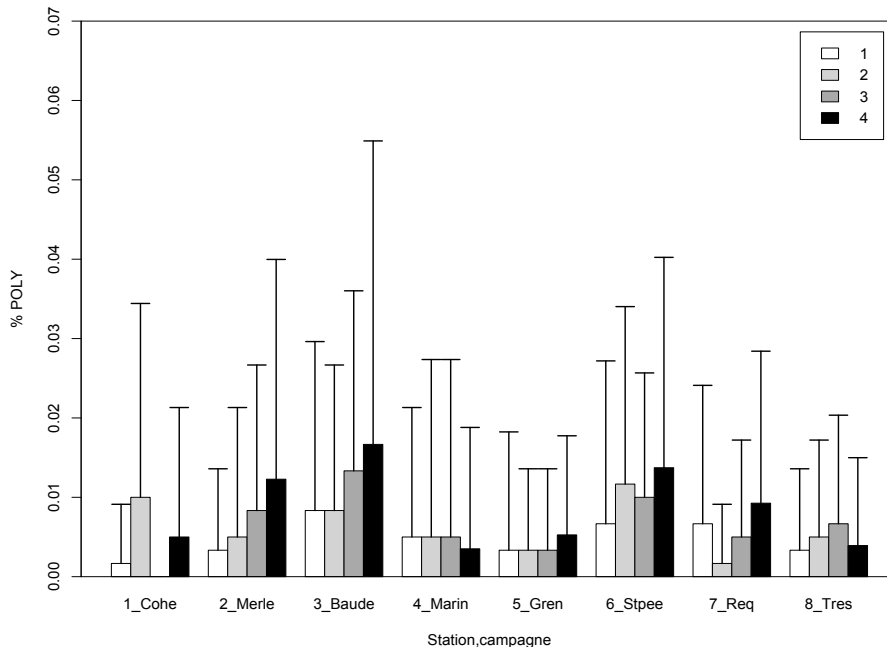


Figure 52 : Pourcentage d’occurrences des polychètes sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites (n=20±SD).

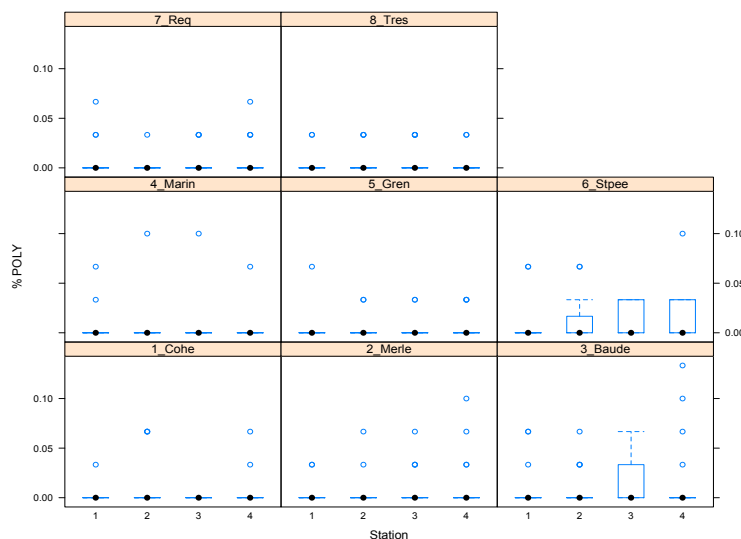


Figure 53 : Boxplot du pourcentage d’occurrences des polychètes sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites (n=20±SD).

A retenir :

- *Présence très limitée.*
- *Pas de variations claires en fonction des campagnes ou des saisons.*

3.4.7 Les cyanobactéries

Les cyanobactéries sont peu observées dans les sites étudiés (<2%). Ce groupe d'organismes est présent de manière très sporadique (Figure 54) et il est impossible de conclure quant à d'éventuelles variations entre les campagnes ou les saisons.

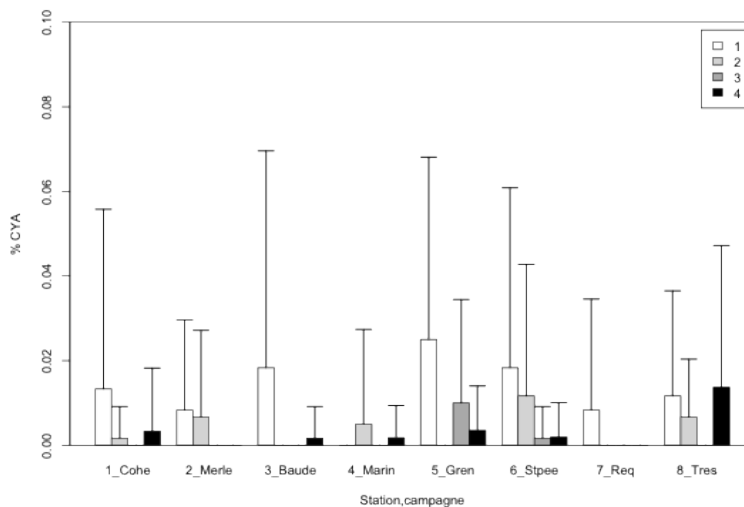


Figure 54 : Pourcentage d'occurrences des cyanobactéries sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites (n=20±SD).

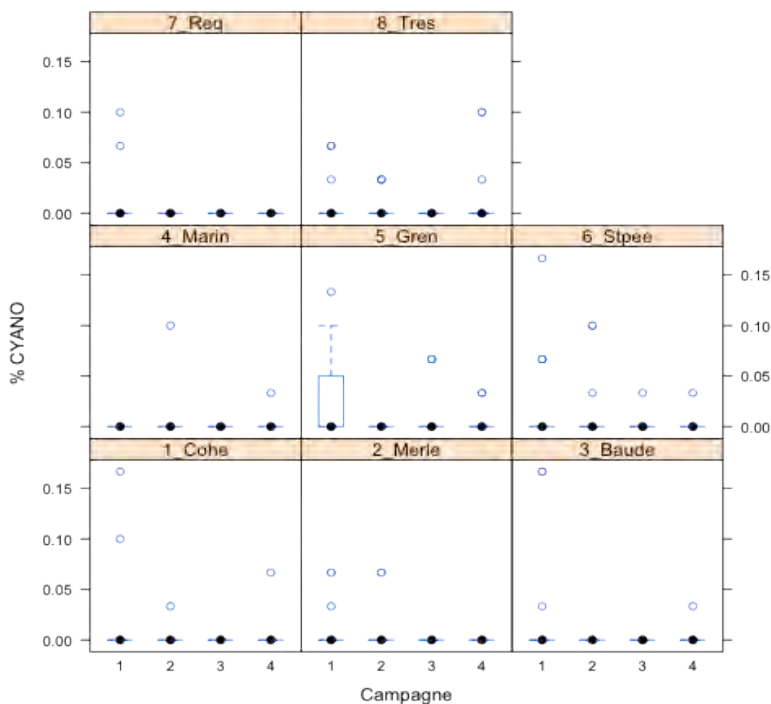


Figure 55 : Boxplot du pourcentage d'occurrences des cyanobactéries sur les racines de palétuviers pour les 4 campagnes aux 8 sites (n=20±SD).

A retenir :

- Groupe présent de manière ponctuelle.
- Pas de variations claires en fonction des campagnes ou des saisons.

3.4.8 Les macroalgues

Les occurrences des macroalgues varient entre 5% à Pointe Marin (C₁, C₃) en saison humide et 49% à Trésor (C₁).

Les peuplements semblent avoir fortement chuté au site du Marin lors des saisons humides. Cela va à l'encontre de l'idée communément admise selon laquelle les macroalgues seraient plus abondantes durant la saison humide, en bénéficiant durant cette période de plus forts apports en matières nutritives.

Il est possible que la turbidité accrue dans les mangroves en saison humide (apports terrigènes) diminue la pénétration de la lumière et donc l'activité photosynthétique des organismes. Cependant, une telle chute de la présence des macroalgues en saison humide n'est notée que pour le site du Marin. Les peuplements semblent stables sur les autres sites et augmentent parfois entre la saison sèche et la saison humide (exemple de Trésor).

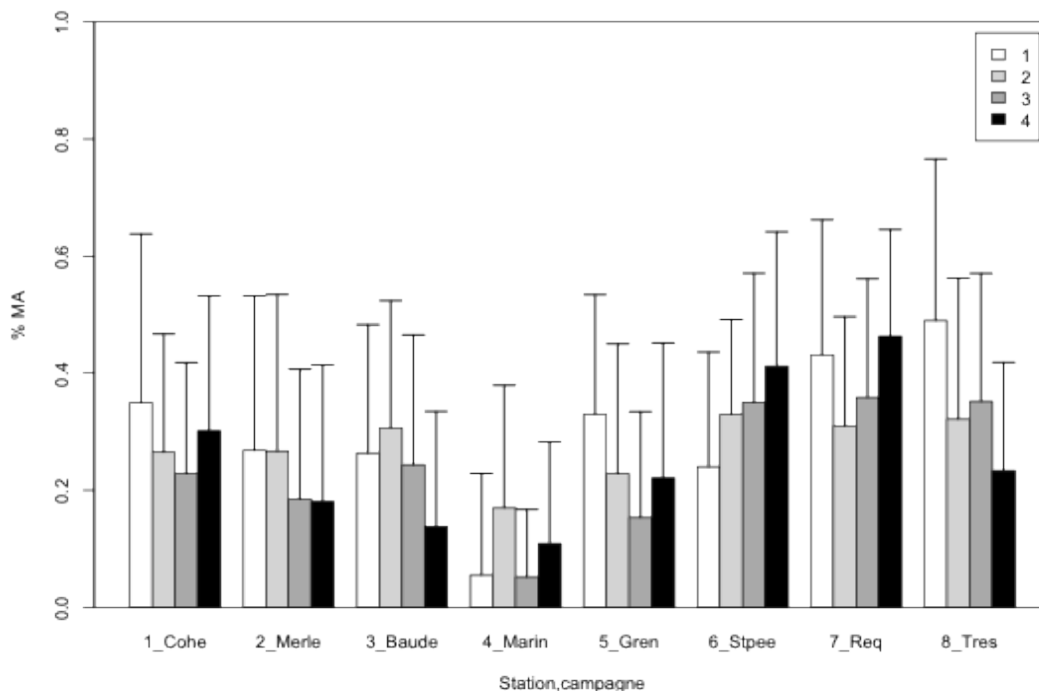


Figure 56 : Pourcentage d’occurrences des macroalgues sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites (n=20±SD).

A retenir :

- Groupe fortement présent.
- Pas de variations claires en fonction des campagnes ou des saisons.
- Variation saisonnière possible mais visible uniquement à Pointe Marin.

3.4.9 Le turf

Les occurrences du groupe assimilé au "turf" relevées sur les racines varient entre 2,3% (Baude, C₂) et 38,5% (Grenade, C₃). Cette occupation ne suit pas d'évolution marquée en fonction des campagnes ou des saisons. En effet, la couverture semble plus importante en saison humide aux sites Cohé, Marin, Saintpée et Requin, mais semble plus faible pour les sites de Merle, Baude et reste stable pour les sites Grenade et Trésor.

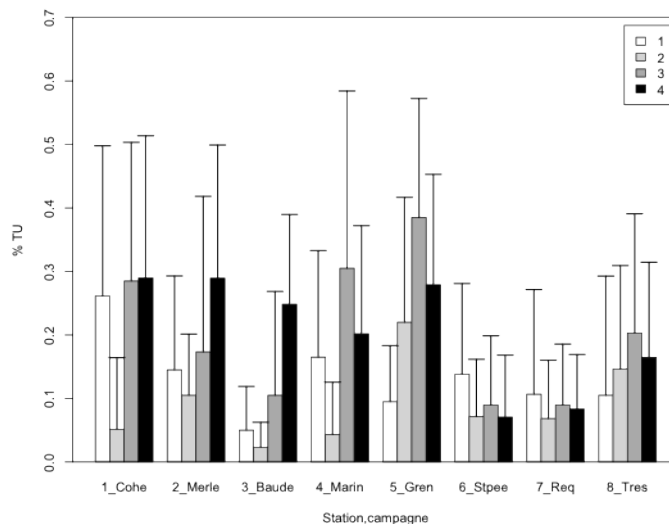


Figure 57 : Pourcentage d'occurrences du turf sur les racines de palétuviers pour les quatre campagnes aux 8 sites (n=20±SD).

A retenir :

- Groupe fortement présent.
- Pas de variation claire en fonction des campagnes ou des saisons.

3.5 Variations des groupes en fonction de la pression anthropique

A ce niveau de détermination taxonomique, la présence des groupes étudiés, pour la plupart d'entre eux, ne semble pas varier avec la pression anthropique. Les seules variations significatives sont pour les cirripèdes qui semblent plus abondants dans les zones en bon état de santé tandis que les bivalves et les bryozoaires semblent moins abondants dans ces zones. Enfin, les ascidies sont totalement absentes des zones très fortement impactées.

Note : il se peut qu'une étude au niveau spécifique montre des variations en fonction de la pression anthropique.

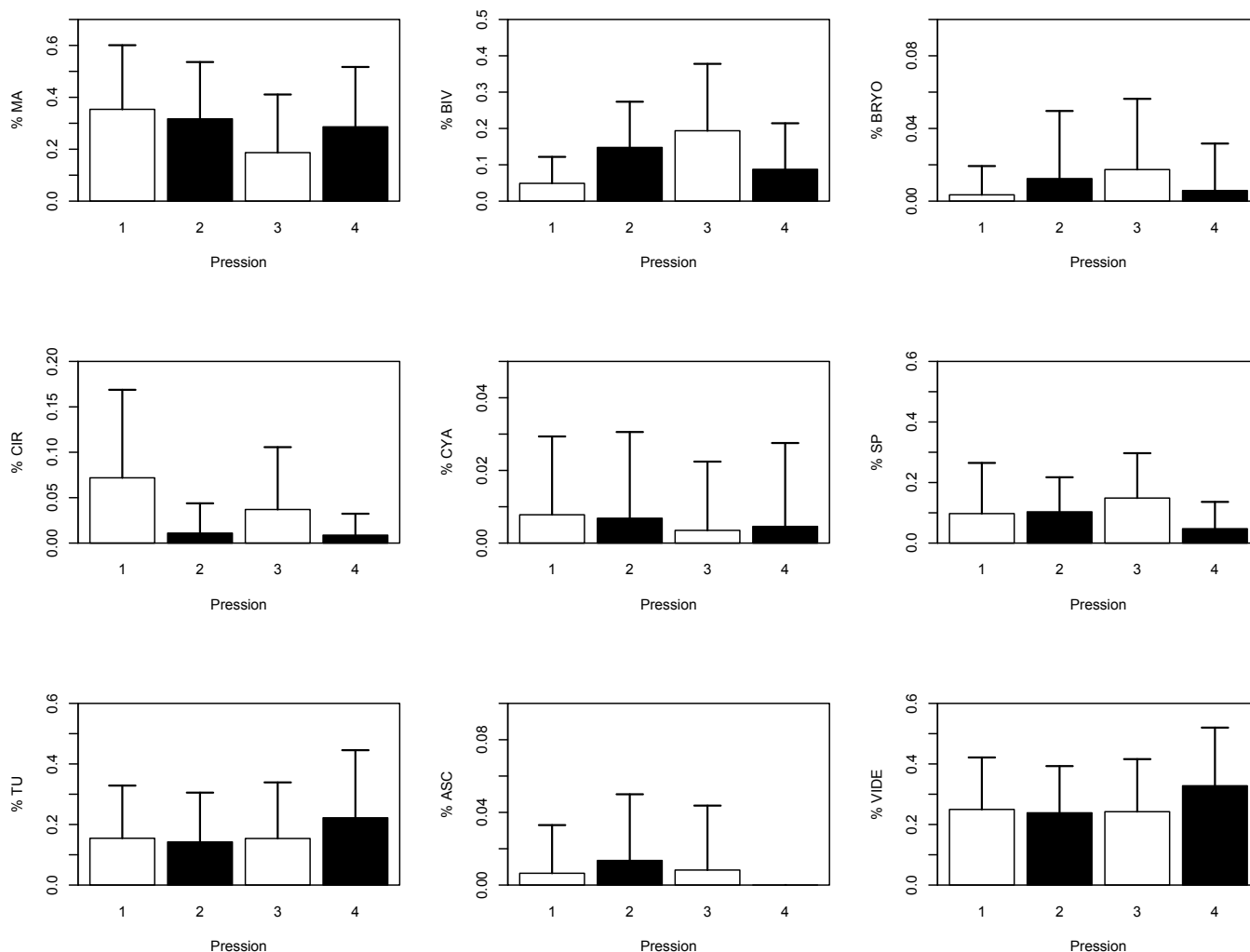


Figure 58 : Pourcentage de présence des organismes sur les racines de palétuvier en fonction des indices de pression anthropiques (1= très bon état, 2= bon, 3= moyen et 4= mauvais).

MA=Macroalgues, BIV=bivalves, BRYO=bryozoaires, CIR=Cirripèdes, CYA=cyanobactérie, SP=éponges, TU=turf, Vide=substrat non colonisé.

3.6 Analyses statistiques multi-variées

L'objectif principal de cette étude était d'identifier les catégories d'organismes indicatrices de stress anthropiques. Les résultats de la PERMANOVA conduite sur les données sont présentés en Tableau 16. Les interactions significatives entre les sites et les campagnes indiquent que les différences entre les sites varient avec les campagnes pour chaque saison. De plus, cette variation spatio-temporelle est différente entre les sites caraïbes et atlantiques (contraste linéaire significatif). Ceci ne permet pas de discriminer les facteurs responsables de la significativité (à savoir les facteurs site et campagne). Seul un graphique des centroïdes de la combinaison des deux facteurs (site et campagne) peut permettre d'interpréter les différences.

Tableau 16 : PERMANOVA sur la matrice de dissimilarité de Bray-Curtis pour évaluer les différences entre les sites, la variation temporelle entre eux et les effets stations.

| Source de variation | df | SS | MS | Pseudo-F | p |
|--------------------------------------------------|-----------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| Site | 7 | 1,4E+05 | 19712 | 9,40 | 0,001 |
| <i>Caraïbe vs Atlantique</i> | 1 | 1,7E+04 | 16518 | 5,38 | 0,106 |
| Saison | 1 | 2,5E+03 | 2459 | 0,26 | 0,845 |
| Campagne (Saison) | 2 | 1,9E+04 | 9472 | 11,05 | 0,001 |
| Site x Saison | 7 | 1,2E+04 | 1726 | 0,82 | 0,672 |
| <i>Caraïbe vs Atlantique x Saison</i> | 1 | 8,0E+02 | 798 | 0,26 | 0,741 |
| Site x Campagne (Saison) | 14 | 2,9E+04 | 2092 | 2,44 | 0,001 |
| <i>Caraïbe vs Atlantique x Campagne (Saison)</i> | 2 | 6,1E+03 | 3060 | 2,85 | 0,010 |
| Résidus | 597 | 5,1E+05 | 857 | | |
| Total | 628 | 7,1E+05 | | | |

3.6.1 La côte Caraïbe

Dans cette PCO, bien que la saisonnalité soit évaluée pour chaque site, les centroïdes du site Marin sont considérablement éloignés des autres centroïdes. De plus pour Cohé et Marin, les campagnes 1-2 et 3-4 sont éloignées les unes des autres (cercles rouges sur la Figure 59). Les variations temporelles pour les autres sites ne sont pas aussi marquées.

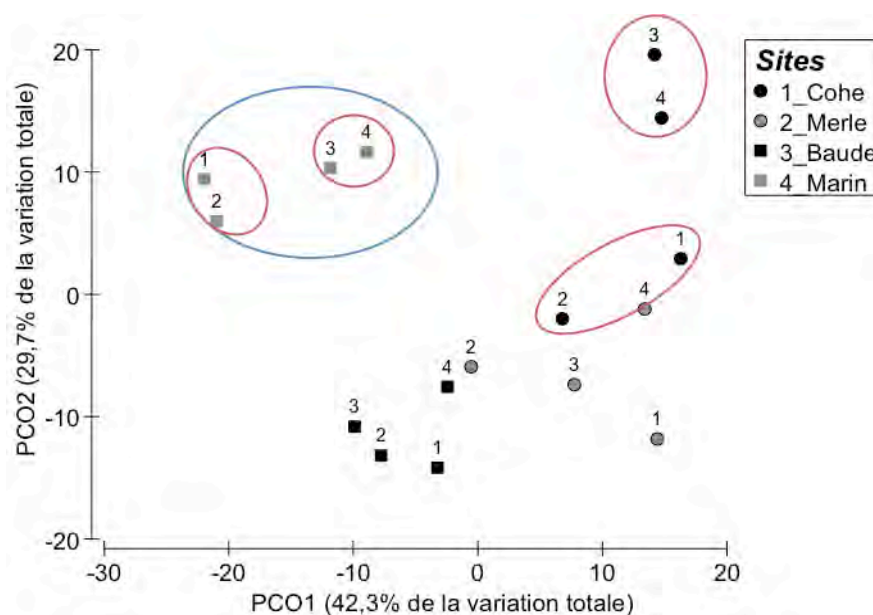


Figure 59 : PCO sur les sites de la côte Caraïbe.

Les nombres indiqués représentent les campagnes. En bleu le site du Marin isolé et en rouge les différences entre les campagnes 1-2 et 3-4 pour le Marin et Cohé

Groupes d'organismes responsables des différences à Cohé et Marin

Cohé

L'analyse SIMPER a permis d'identifier les organismes responsables des différences observées entre les campagnes 1-2 et 3-4 du site Cohé. Ces dernières sont dues à une diminution significative de la représentation des éponges et de macroalgues et une très forte augmentation du groupe "turf".

Tableau 17 : Analyse SIMPER entre les campagnes 1+2 et 3+4 pour le site de Cohé

| 1_Cohe (Campagnes 1+2) vs (3+4) | | dissimilarité moyenne = 44,73 | | | | |
|---------------------------------|------------------|-------------------------------|----------|---------|----------|-------|
| Groupes | 1+2 Abond.moy | 3+4 Abond.moy | Diss.moy | Diss/SD | Contrib% | Cum% |
| TU | 0,27 | 0,47 | 9,58 | 1,35 | 21,42 | 21,42 |
| MA | 0,48 | 0,43 | 8,46 | 1,22 | 18,92 | 40,34 |
| BIV | 0,18 | 0,18 | 5,87 | 1,05 | 13,12 | 53,46 |
| SP | 0,22 | 0,01 | 5,54 | 1,07 | 12,39 | 78,97 |
| VIDE | 0,54 | 0,57 | 4,75 | 1,20 | 10,61 | 89,59 |
| CIR | 0,06 | 0,01 | 1,61 | 0,57 | 3,59 | 93,18 |

Marin

L'analyse SIMPER a permis d'identifier les organismes responsables des différences observées entre le site du Marin et les autres sites. Ces différences sont essentiellement dues à la dominance des bivalves et des cirripèdes. Ce site est également caractérisé par des peuplements de macroalgues et de spongiaires réduits par rapport aux autres sites.

Tableau 18 : Analyse SIMPER (par paires) entre le site du Marin et les autres sites de la côte Caraïbe

| 1_Cohe vs 4_Marin | | dissimilarité moyenne = 51,25 | | | | |
|--------------------|----------------------|-------------------------------|----------|---------|----------|--|
| Groupes | 1_Cohe Abond.moy | 4_Marin Abond.moy | Diss.moy | Diss/SD | Contrib% | |
| VIDE | 0,55 | 0,50 | 4,19 | 1,20 | 8,17 | |
| BIV | 0,18 | 0,47 | 8,95 | 1,42 | 17,47 | |
| TU | 0,37 | 0,31 | 7,90 | 1,23 | 15,41 | |
| CIR | 0,03 | 0,24 | 5,35 | 1,22 | 10,44 | |
| MA | 0,46 | 0,17 | 9,44 | 1,38 | 18,42 | |
| SP | 0,12 | 0,13 | 4,09 | 0,90 | 7,98 | |
| 2_Merle vs 4_Marin | | dissimilarité moyenne = 51,78 | | | | |
| Groupes | 2_Merle Abond.moy | 4_Marin Abond.moy | Diss.moy | Diss/SD | Contrib% | |
| VIDE | 0,47 | 0,50 | 3,63 | 1,08 | 7,01 | |
| BIV | 0,22 | 0,47 | 7,59 | 1,42 | 14,67 | |
| TU | 0,33 | 0,31 | 6,94 | 1,21 | 13,41 | |
| CIR | 0,05 | 0,24 | 4,92 | 1,22 | 9,50 | |
| MA | 0,36 | 0,17 | 7,72 | 1,15 | 14,92 | |
| SP | 0,39 | 0,13 | 7,04 | 1,45 | 13,60 | |
| BRYO | 0,11 | 0,02 | 2,57 | 0,81 | 4,96 | |
| 3_Baude vs 4_Marin | | dissimilarité moyenne = 45,80 | | | | |
| Groupes | 3_Baude Abond.moy | 4_Marin Abond.moy | Diss.moy | Diss/SD | Contrib% | |
| VIDE | 0,42 | 0,50 | 4,30 | 1,19 | 9,39 | |
| BIV | 0,41 | 0,47 | 5,79 | 1,32 | 12,63 | |
| TU | 0,23 | 0,31 | 6,35 | 1,19 | 13,88 | |
| CIR | 0,04 | 0,24 | 4,74 | 1,24 | 10,34 | |
| MA | 0,40 | 0,17 | 7,67 | 1,29 | 16,75 | |
| SP | 0,39 | 0,13 | 6,73 | 1,47 | 14,69 | |

Des changements significatifs dans la composition des groupes d'organismes sont également observés entre les campagnes 1-2 et 3-4. Ces changements affectent principalement les bivalves (déclin) et les spongiaires.

Tableau 19 : Analyse SIMPER entre les campagnes 1+2 et 3+4 pour le site du Marin

| 4_Marin (Campagnes 1+2) vs (3+4) | | dissimilarité moyenne = 41,19 | | | | |
|----------------------------------|------------------|-------------------------------|----------|---------|----------|-------|
| Groupes | 1+2 Abond.moy | 3+4 Abond.moy | Diss.moy | Diss/SD | Contrib% | Cum% |
| TU | 0,21 | 0,42 | 7,57 | 1,25 | 18,37 | 18,37 |
| BIV | 0,53 | 0,41 | 7,02 | 1,26 | 17,04 | 35,40 |
| MA | 0,18 | 0,15 | 5,49 | 0,86 | 13,32 | 65,76 |
| CIR | 0,27 | 0,20 | 4,63 | 1,23 | 11,24 | 77,00 |
| SP | 0,1 | 0,16 | 3,95 | 0,96 | 9,58 | 86,57 |

3.6.2 La côte Atlantique

En ce qui concerne les sites de l'Atlantique, les interactions entre les sites et les campagnes sont montrées dans la Figure 60. Cette PCO montre que les centroïdes du site Trésor sont considérablement éloignés des centroïdes des autres sites. Les centroïdes des différentes campagnes sur le site Trésor sont également très éloignés les uns des autres.

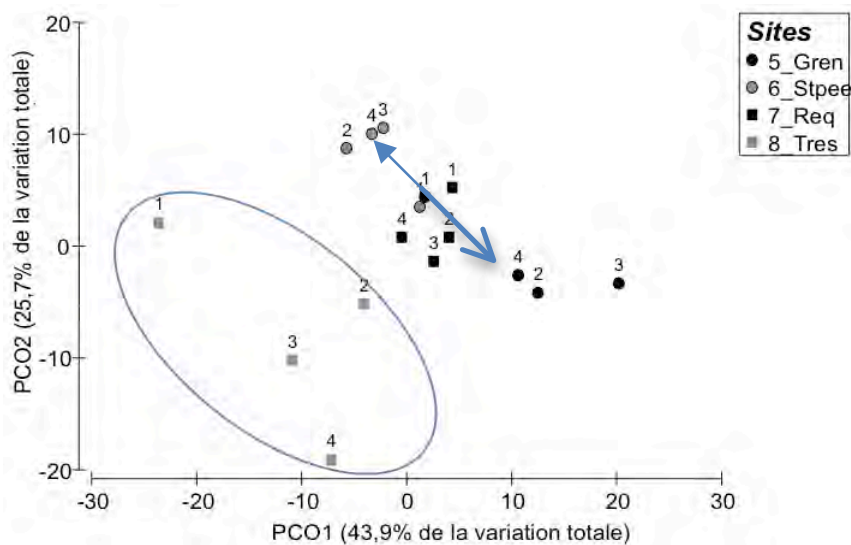


Figure 60 : PCO sur les sites de la côte Atlantique. Les nombres indiqués représentent les campagnes. En bleu le site du Trésor isolé.

L'analyse SIMPER a permis de discriminer les taxons responsables de ces différences (Tableau 20). De plus, pour les 4 sites, la campagne 1 semble éloignée des autres. Ce changement est surtout évident pour les sites de Grenade et Saintpée. Cependant, les centroïdes des campagnes suivantes (2, 3 et 4) prennent des directions opposées pour les deux sites.

Tableau 20 : Analyse SIMPER (par paires) entre le site du Trésor et les autres sites de la côte Atlantique

| 5_Gren & 8_Tres | | dissimilarité moyenne = 47,79 | | | |
|-----------------|---------------------|-------------------------------|----------|---------|----------|
| Groupes | 5_Gren Abond.moy | 8_Tres Abond.moy | Diss.moy | Diss/SD | Contrib% |
| MA | 0,40 | 0,54 | 7,56 | 1,20 | 15,83 |
| VIDE | 0,41 | 0,46 | 5,33 | 1,15 | 11,16 |
| TU | 0,43 | 0,30 | 7,20 | 1,24 | 15,07 |
| SP | 0,22 | 0,19 | 5,68 | 1,13 | 11,89 |
| CIR | 0,05 | 0,18 | 4,02 | 0,97 | 8,40 |
| BIV | 0,38 | 0,14 | 6,66 | 1,53 | 13,94 |

| 6_Stpee & 8_Tres | | dissimilarité moyenne = 45,35 | | | |
|------------------|----------------------|-------------------------------|----------|---------|----------|
| Groupes | 6_Stpee Abond.moy | 8_Tres Abond.moy | Diss.moy | Diss/SD | Contrib% |
| MA | 0,52 | 0,54 | 6,56 | 1,13 | 14,46 |
| VIDE | 0,46 | 0,46 | 4,30 | 1,11 | 9,48 |
| TU | 0,23 | 0,30 | 6,18 | 1,22 | 13,62 |
| SP | 0,37 | 0,19 | 7,07 | 1,45 | 15,58 |
| CIR | 0,01 | 0,18 | 3,95 | 0,92 | 8,71 |
| BIV | 0,26 | 0,14 | 4,99 | 1,23 | 11,00 |
| ASC | 0,09 | 0,02 | 2,16 | 0,71 | 4,77 |
| BRYO | 0,09 | 0,01 | 2,02 | 0,66 | 4,45 |

| 7_Req vs 8_Tres | | dissimilarité moyenne = 44,42 | | | |
|-----------------|--------------------|-------------------------------|----------|---------|----------|
| Groupes | 7_Req Abond.moy | 8_Tres Abond.moy | Diss.moy | Diss/SD | Contrib% |
| MA | 0,59 | 0,54 | 6,27 | 1,13 | 14,12 |
| VIDE | 0,49 | 0,46 | 4,80 | 1,16 | 10,80 |
| TU | 0,20 | 0,30 | 6,32 | 1,19 | 14,23 |
| SP | 0,12 | 0,19 | 4,94 | 0,93 | 11,13 |
| CIR | 0,05 | 0,18 | 4,18 | 0,98 | 9,41 |
| BIV | 0,37 | 0,14 | 6,61 | 1,47 | 14,89 |

Les changements temporaires qui peuvent être observés sur les sites des deux côtes ne sont pas en relation avec la saison, comme le montrent les analyses PERMANOVA (Tableau 16). De manière similaire, la comparaison entre les sites caraïbes et atlantiques ne montre pas de différences significatives. Ces résultats indiquent que les différences détectées entre les sites sont indépendantes de la côte où ces sites se trouvent.

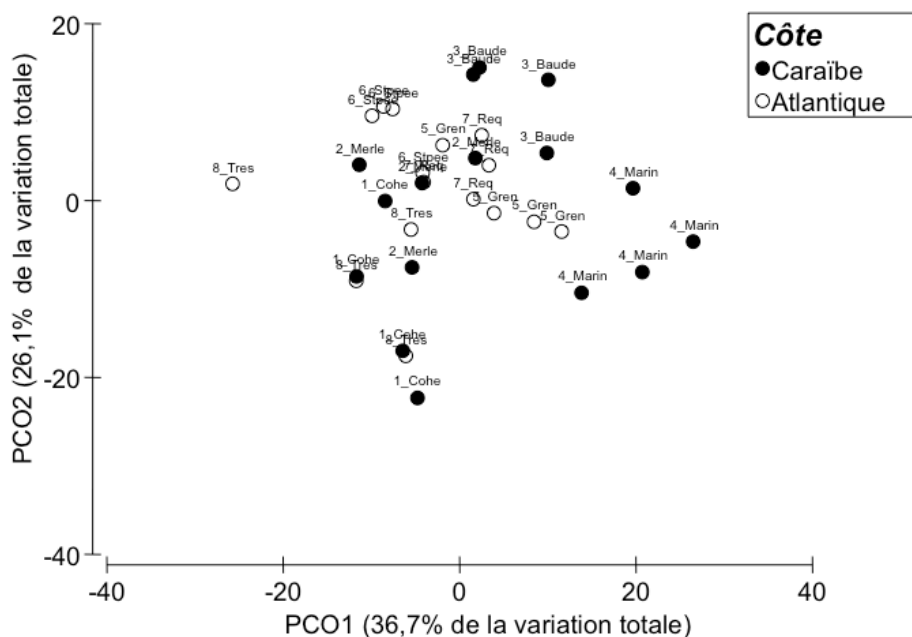


Figure 61 : PCO sur l'ensemble des sites. Les nombres indiqués représentent les campagnes.

Cependant, une analyse de dispersion multivariée (PERMDISP, $p < 0,05$) montre que la dispersion des centroïdes sur les groupes caribéens est plus forte que pour le groupe atlantique. Ce résultat indique que les changements spatio-temporels sont plus forts sur la côte caribéenne.

Tableau 21 : Analyse multivariée de la dispersion entre les centroïdes site x campagnes Caraïbes et Atlantiques (PERMDISP).

| Déviations du centroïde | | | |
|------------------------------|--------|---------|--------|
| F: 8,3116 df1: 1 df2: 30 | | | |
| P(perm): 0,0104 | | | |
| Moyennes et erreurs standard | | | |
| Groupe | Taille | Moyenne | SE |
| Caraïbe | 16 | 18,696 | 1,122 |
| Atlantique | 16 | 13,918 | 1,2201 |

3.6.3 Racines aériennes vs fixées

Cette analyse a porté sur l'ensemble des sites qui présentent un nombre de racines aériennes et fixées équivalent, c'est à dire tous les sites, sauf Saintpée qui n'a que des racines aériennes. L'objectif principal de ce test était d'identifier les divergences de peuplements entre les racines fixes et aériennes. Les résultats de la PERMANOVA conduite sur les données sont présentés en Tableau 31. Les interactions significatives entre les sites et les types indiquent que les différences entre les sites varient avec les types. Ceci ne permet pas de discriminer les facteurs responsables de la significativité (à savoir les facteurs site et type). Seul un graphique des centroïdes de la combinaison des deux facteurs peut permettre d'interpréter les différences.

Tableau 22 : PERMANOVA sur la matrice de dissimilarité de Bray-Curtis pour évaluer les différences entre les types de racines (fixes ou aériennes).

| Source | df | SS | MS | Pseudo-F | P(perm) |
|------------------------|-----|--------|-------|----------|---------|
| Site | 6 | 120170 | 20029 | 10,38 | 0,001 |
| Campagne | 3 | 26164 | 8721 | 10,47 | 0,001 |
| Type | 1 | 4735 | 4735 | 4,97 | 0,083 |
| Site x Campagne | 18 | 34759 | 1931 | 2,32 | 0,001 |
| Site x Type | 6 | 23445 | 3907 | 6,34 | 0,001 |
| Campagne x type | 3 | 2858 | 953 | 1,14 | 0,329 |
| Site x Campagne x Type | 18 | 11098 | 617 | 0,74 | 0,913 |
| Résidus | 496 | 413060 | 833 | | |
| Total | 551 | 640570 | | | |

Les différences entre les deux types de racines aux sites de Cohé et Marin sont plus marquées qu'aux autres stations échantillonnées.

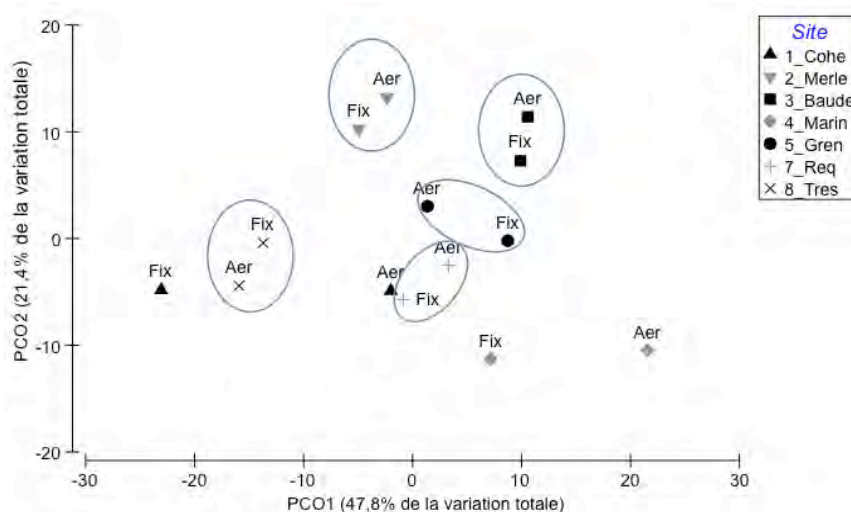


Figure 62 : PCO sur l'ensemble des sites des centroïdes pour l'interaction entre Site x Types de racines. Les nombres indiqués représentent les campagnes.

Ces différences sont surtout dues au groupe des bivalves, plus abondants sur les racines aériennes (Tableau 23).

Tableau 23 : Analyse SIMPER (par paires) entre les types de racines à Cohé et au Marin.

| 1_CohéAer & 1_CohéFix | | dissimilarité moyenne = 45,25 | | | |
|-------------------------|-------------|-------------------------------|----------|---------|----------|
| | Aérienne | Fixe | | | |
| Groupes | Abond.moy | Abond.moy | Diss.moy | Diss/SD | Contrib% |
| TU | 0,32 | 0,42 | 8,95 | 1,25 | 19,78 |
| MA | 0,41 | 0,50 | 8,60 | 1,24 | 19,00 |
| BIV | 0,29 | 0,08 | 7,00 | 1,24 | 15,47 |
| VIDE | 0,54 | 0,56 | 4,80 | 1,22 | 10,60 |
| SP | 0,13 | 0,10 | 4,29 | 0,86 | 9,49 |
| CIR | 0,06 | 0,01 | 1,62 | 0,57 | 3,59 |
| 4_MarinAer & 4_MarinFix | | dissimilarité moyenne = 42,55 | | | |
| | Aérienne | Fixe | | | |
| Groupes | Abond.moy | Abond.moy | Diss.moy | Diss/SD | Contrib% |
| BIV | 0,56 | 0,34 | 7,65 | 1,30 | 17,98 |
| TU | 0,28 | 0,37 | 7,22 | 1,21 | 16,96 |
| MA | 0,13 | 0,22 | 5,82 | 0,89 | 13,67 |
| CIR | 0,20 | 0,29 | 4,69 | 1,24 | 11,03 |
| SP | 0,13 | 0,12 | 3,94 | 0,94 | 9,26 |
| VIDE | 0,51 | 0,49 | 3,74 | 1,27 | 8,80 |

4 Les spongiaires

4.1 Description générale des peuplements de spongiaires

Durant les 4 campagnes de l'étude des spongiaires des mangroves, plus de 2 500 observations d'éponges ont été réalisées. Cette étude a permis de recenser 47 espèces de spongiaires appartenant à 7 ordres et 21 familles dont la classification au sein des Démospoges est présentée à la page suivante (description complète dans l'atlas, Impact Mer & Ginger Environnement 2012b).

Les familles les plus largement représentées sont les Chalinidae et les Mycalidae appartenant respectivement aux Haplosclerida et aux Poecilosclerida.

Quarante espèces ont été observées sur les 30 mètres linéaires des transects installés dans chaque site, et 7 espèces ont été découvertes hors transect, lors d'observations périphériques des sites de mangrove. Ces dernières, même si elles ne sont pas incluses dans les analyses statistiques (car absence de mesures et données chiffrées), sont tout de même décrites dans l'atlas des spongiaires des mangroves (Impact Mer & Ginger Environnement 2012b).

Les spongiaires identifiés peuvent être :

- **Communs**, c'est le cas de *Tedania ignis*, *Mycale microsigmatosa* ou *Dysidea etheria*. Dans les mangroves de Martinique elles sont très fréquentes (présentes dans tous les sites ou presque) et très abondantes (plus de 90 occurrences en une seule campagne d'observation, tous sites confondus).
- **Caractéristiques** de l'écosystème de la mangrove comme *Haliclona vermeuleni*, *H. manglaris*, *Chondrilla caribensis* ou *Darwinella rosacea* (selon Díaz *et al.* 2004) mais ne sont pas nécessairement fréquentes ou abondantes.
- **Pas associés à l'écosystème de la mangrove** : ils ne sont trouvés sur ou sous les racines de palétuviers qu'à cause de la proximité d'autres habitats (herbier ou récif corallien par exemple). C'est le cas en particulier des éponges *Placospongia intermedia* ou *Neopetrosia carbonaria*.

Ordre Hadromerida

Famille Placospongiidae

Placospongia intermedia Sollas, 1888

Famille Spirastrellidae

Spirastrella mollis Verrill, 1907

Famille Suberitidae

Suberites aurantiacus (Duchassaing & Michelotti, 1864)

Terpios manglaris Rützler & Smith, 1993

Famille Tethyidae

Tethya actinia de Laubenfels, 1950

Ordre Chondrosida

Famille Chondrillidae

Chondrilla caribensis f. caribensis Rutzler, Duran & Piantoni, 2007

Ordre Poecilosclerida

Sous-ordre Microcionina

Famille Microcionidae

Clathria (Thalysias) schoenus (de Laubenfels, 1936)

Clathria (Thalysias) venosa (Alcolado, 1984)

Sous-ordre Mycalina

Famille Mycalidae

Mycale (Carmia) microsigmatosa Arndt, 1927

Mycale (Carmia) magnirhaphidifera van Soest, 1984

Mycale (Zygomycale) angulosa (Duchassaing & Michelotti, 1864)

Mycale (Aegogropila) carmigropila Hajdu & Rutzler, 1998

Mycale (Aegogropila) americana van Soest, 1984

Mycale (Mycale) laevis (Carter, 1882)

Mycale (Arenochalina) laxissima (Duchassaing & Michelotti, 1864)

Famille Desmacellidae

Biemna caribea Pulitzer-Finali, 1986

Desmapsamma anchorata (Carter, 1882)

Sous-ordre Myxillina

Famille Tedaniidae

Tedania (Tedania) ignis (Duchassaing & Michelotti, 1864)

Tedania (Tedania) klausii Wulff, 2006

Famille Coelosphaeridae

Lissodendoryx (Lissodendoryx) spinulosa Rutzler, Piantoni & Diaz, 2007

Ordre Haplosclerida

Sous-ordre Haplosclerina

Famille Niphatidae

Amphimedon compressa Duchassaing & Michelotti, 1864

Amphimedon erina (de Laubenfels, 1936)

Niphates caycedoi (Zea & van Soest, 1986)

Niphates erecta Duchassaing & Michelotti, 1864

Famille Callyspongiidae

Callyspongia (Callyspongia) pallida Hechtel, 1965

Famille Chalinidae

Haliclona (Reniera) manglaris Alcolado, 1984

Haliclona (Reniera) implexiformis (Hechtel, 1965)

Haliclona (Reniera) tubifera (George & Wilson, 1919)

Haliclona sp. 2

Haliclona sp. 3

Haliclona (Soestella) vermeuleni de Weerd, 2000

Haliclona (Soestella) caerulea (Hechtel, 1965)

Haliclona (Soestella) smithae de Weerd, 2000

Haliclona (Soestella) piscaderaensis (van Soest, 1980)

Haliclona (Rhizoniera) curacaoensis (van Soest, 1980)

Chalinula molitba (de Laubenfels, 1949)

Sous-ordre Petrosina

Famille Phloeodictyidae

Oceanapia nodosa (George & Wilson, 1919)

Famille Petrosiidae

Neopetrosia carbonaria (Lamarck, 1814)

Ordre Halichondrida

Famille Halichondriidae

Halichondria (Halichondria) magniconulosa Hechtel, 1965

Famille Dictyonellidae

Scopalina ruetzleri (Wiedenmayer, 1977)

Ordre Dictyoceratida

Famille Irciniidae

Ircinia strobilina (Lamarck, 1816)

Famille Spongiidae

Spongia (Spongia) pertusa Hyatt, 1877

Spongia (Spongia) tubulifera Lamarck, 1814

Famille Dysideidae

Dysidea etheria de Laubenfels, 1936

Ordre Dendroceratida

Famille Darwinellidae

Chelonaplysilla erecta (Row, 1911)

Chelonaplysilla betinensis Zea & van Soest, 1986

Darwinella rosacea Hechtel, 1965

Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des masses d'eau de transition de l'île de la Martinique à partir des épibiontes des racines de palétuviers - Spongiaires et autres groupes taxonomiques

En plus de ces caractères, les éponges peuvent être classées selon leur abondance (Tableau 24).

Tableau 24 : Classification des 40 espèces présentes sur les transects selon leur fréquence d'apparition sur les différents sites et leur abondance maximale lors d'une seule campagne d'observation.

| Nom espèce | Fréquence (nb de sites) | Abondance max (nb occurrences) | | Habitat privilégié* | |
|--------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-----|---------------------|----------------|
| <i>Tedania (Tedania) ignis</i> | 8 | très fréquente | 391 | très abondante | M - RC - H - A |
| <i>Mycale (Carmia) microsigmatosa</i> | 8 | très fréquente | 191 | très abondante | M - RC - A |
| <i>Dysidea etheria</i> | 7 | fréquente | 96 | très abondante | M - RC - H |
| <i>Haliclona (Reniera) implexiformis</i> | 7 | fréquente | 61 | abondante | M - RC |
| <i>Spirastrella mollis</i> | 6 | fréquente | 77 | très abondante | M - A |
| <i>Haliclona (Reniera) manglaris</i> | 6 | fréquente | 43 | abondante | M |
| <i>Suberites aurantiacus</i> | 6 | fréquente | 39 | abondante | M - RC |
| <i>Mycale (Zygomycale) angulosa</i> | 6 | fréquente | 14 | moy abondante | M - RC - A |
| <i>Haliclona (Soestella) caerulea</i> | 5 | moy fréquente | 48 | abondante | M - RC - A |
| <i>Desmapsamma anchorata</i> | 5 | moy fréquente | 15 | moy abondante | M - RC - A |
| <i>Chalinula molitba</i> | 5 | moy fréquente | 8 | peu abondante | M - RC |
| <i>Haliclona sp.2</i> | 4 | moy fréquente | 22 | moy abondante | M |
| <i>Tethya actinia</i> | 4 | moy fréquente | 20 | moy abondante | M - RC |
| <i>Tedania (Tedania) klausii</i> | 4 | moy fréquente | 10 | peu abondante | RC |
| <i>Haliclona sp.3</i> | 4 | moy fréquente | 9 | peu abondante | M - A ? |
| <i>Chelonaplysilla erecta</i> | 3 | peu fréquente | 18 | moy abondante | M - RC |
| <i>Haliclona (Rhizoniera) curacaoensis</i> | 3 | peu fréquente | 9 | peu abondante | M - RC |
| <i>Haliclona (Soestella) vermeuleni</i> | 3 | peu fréquente | 7 | peu abondante | M |
| <i>Clathria (Thalysias) venosa</i> | 3 | peu fréquente | 4 | peu abondante | M - RC |
| <i>Haliclona (Reniera) tubifera</i> | 3 | peu fréquente | 4 | peu abondante | M - RC |
| <i>Haliclona (Soestella) piscaderaensis</i> | 3 | peu fréquente | 3 | peu abondante | M - RC - A |
| <i>Amphimedon erina</i> | 2 | peu fréquente | 6 | peu abondante | M - RC - A |
| <i>Biemna caribea</i> | 2 | peu fréquente | 6 | peu abondante | M - RC |
| <i>Terpios manglaris</i> | 2 | peu fréquente | 5 | peu abondante | M - RC |
| <i>Scopalina ruetzleri</i> | 2 | peu fréquente | 4 | peu abondante | M - RC - A |
| <i>Halichondria (Halichondria) magniconulosa</i> | 2 | peu fréquente | 2 | rare | M - RC |
| <i>Mycale (Carmia) magnirhaphidifera</i> | 2 | peu fréquente | 2 | rare | M - RC |
| <i>Niphates caycedoi</i> | 1 | rare | 6 | peu abondante | M - RC |
| <i>Neopetrosia carbonaria</i> | 1 | rare | 2 | rare | RC - H |
| <i>Callyspongia (Callyspongia) pallida</i> | 1 | rare | 1 | rare | M - RC - A |
| <i>Chondrilla caribensis f. caribensis</i> | 1 | rare | 1 | rare | M |
| <i>Ircinia strobilina</i> | 1 | rare | 1 | rare | M - RC - H |
| <i>Mycale (Aegogropila) carmigropila</i> | 1 | rare | 1 | rare | M - RC |
| <i>Mycale (Aegogropila) americana</i> | 1 | rare | 1 | rare | M |
| <i>Mycale (Arenochalina) laxissima</i> | 1 | rare | 1 | rare | M - RC - A |
| <i>Placospongia intermedia</i> | 1 | rare | 1 | rare | RC |
| <i>Spongia (Spongia) pertusa</i> | 1 | rare | 1 | rare | M - RC - H |
| <i>Amphimedon compressa</i> | 1 | rare | 1 | rare | M - RC - A |
| <i>Chelonaplysilla betinensis</i> | 1 | rare | 1 | rare | RC |
| <i>Darwinella rosacea</i> | 1 | rare | 1 | rare | M |

* Les habitats privilégiés indiqués sont issus des observations locales et des données de MC. Diaz (comm. pers. et publication *in prep.*) sur la Caraïbe (M = mangrove, RC = récif corallien, H = herbier, A = autre : grotte, fond rocheux etc.).

Les espèces très fréquentes

Tedania ignis et *Mycale microsigmatosa* sont « très fréquentes » (Tableau 24, présentes dans tous les sites) et très abondantes (plus de 190 occurrences en une seule campagne d'observation, tous sites confondus). La proportion de racines colonisées par ces 2 espèces est présentée dans le Tableau 25. *Tedania* est observée sur 42 à 79% des racines colonisées par les spongiaires tandis que *M. microsigmatosa* est un peu moins abondante (14 à 53 % des racines colonisées).

Tableau 25 : Pourcentage de racines colonisées par les 2 espèces les plus fréquentes sur chaque site.

| | Cohé | Merle | Baude | Marin | Grenade | Saintpée | Requins | Trésor |
|---------------------------------------|------|-------|-------|-------|---------|----------|---------|--------|
| <i>Tedania (Tedania) ignis</i> | 56.2 | 74.6 | 65.2 | 63.8 | 78.6 | 76.8 | 78.2 | 42.5 |
| <i>Mycale (Carmia) microsigmatosa</i> | 23.1 | 30.6 | 53.1 | 47.5 | 51.8 | 44.6 | 25.0 | 13.8 |

Les espèces fréquentes

Les espèces présentes dans 6 ou 7 sites sur les 8 étudiés sont qualifiées de « fréquentes » (Tableau 24). Quatre espèces sont absentes de Cohé tandis que seulement 1 espèce est absente des autres sites.

Tableau 26 : Distribution des espèces fréquentes sur les différents sites (x= présente et 0= absente).

| | Cohé | Merle | Baude | Marin | Grenade | Saintpée | Requins | Trésor |
|------------------------------------------|------|-------|-------|-------|---------|----------|---------|--------|
| <i>Dysidea etheria</i> | 0 | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Haliclona (Reniera) implexiformis</i> | 0 | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Spirastrella mollis</i> | 0 | x | x | x | 0 | x | x | x |
| <i>Haliclona (Reniera) manglaris</i> | x | x | 0 | x | x | x | 0 | x |
| <i>Suberites aurantiacus</i> | x | 0 | x | x | x | x | x | 0 |
| <i>Mycale (Zygomycale) angulosa</i> | 0 | x | x | 0 | x | x | x | x |

Suberites aurantiacus est absente des 2 sites présentant les plus fortes biodiversités (Merle et Trésor).

Les espèces rares

Les sites Marin, Grenade et Requins n'accueillent aucune espèce rare (Tableau 27). Cohé, Merle et Baude accueillent tous les 3 une seule espèce rare. Alors que les sites Saintpée et Trésor abritent respectivement 3 et 7 espèces rares.

Tableau 27 : Distribution des espèces rares sur les différents sites (x= présente et 0= absente).

| | Cohé | Merle | Baude | Marin | Grenade | Saintpée | Requins | Trésor |
|--------------------------------------------|------|-------|-------|-------|---------|----------|---------|--------|
| <i>Niphates caycedoi</i> | | | | | | x | | |
| <i>Neopetrosia carbonaria</i> | | | | | | | | x |
| <i>Callyspongia (Callyspongia) pallida</i> | | | | | | | | x |
| <i>Chondrilla caribensis f. caribensis</i> | | | | | | | | x |
| <i>Ircinia strobilina</i> | | | | | | | | x |
| <i>Mycale (Aegogropila) carmigropila</i> | | | | | | x | | |
| <i>Mycale (Aegogropila) americana</i> | | | x | | | | | |
| <i>Mycale (Arenochalina) laxissima</i> | | x | | | | | | |
| <i>Placospongia intermedia</i> | | | | | | | | x |
| <i>Spongia (Spongia) pertusa</i> | x | | | | | | | |
| <i>Amphimedon compressa</i> | | | | | | | | x |
| <i>Chelonaplysilla betinensis</i> | | | | | | | | x |
| <i>Darwinella rosacea</i> | | | | | | x | | |

Les espèces caractéristiques des mangroves

La répartition des 6 espèces caractéristiques des mangroves (*Haliclona vermeuleni*, *H. manglaris*, *Haliclona sp2.*, *Chondrilla caribensis*, *Mycale americana* et *Darwinella rosacea*, selon Díaz et al. 2004) est mise en exergue dans le Tableau 28. *Haliclona manglaris* est présente dans 6 sites sur 8 en abondance variable. Elle est absente des sites Baude et Requins. *Haliclona sp2* est présente en proportions variables dans 4 sites sur 8. Elle est absente des sites Baude, Marin, Saintpée et Requins. *Haliclona vermeuleni* n'est présente que dans 3 sites sur 8. Elle est absente des sites Cohé, Baude, Marin, Saintpée et Requins. Les 3 autres espèces sont présentes de manière très ponctuelle (1 seul site).

Tableau 28 : Présence des spongiaires caractéristiques de mangrove sur les différents sites.

| | Cohé | Merle | Baude | Marin | Grenade | Saintpée | Requins | Trésor |
|--------------------------------------------|------|-------|-------|-------|---------|----------|---------|--------|
| <i>Haliclona (Reniera) manglaris</i> | X | X | - | X | X | X | - | X |
| <i>Haliclona sp.2</i> | X | X | - | - | X | - | - | X |
| <i>Haliclona (Soestella) vermeuleni</i> | - | X | - | - | X | - | - | X |
| <i>Chondrilla caribensis f. caribensis</i> | - | - | - | - | - | - | - | X |
| <i>Mycale (Aegogropila) americana</i> | - | - | X | - | - | - | - | - |
| <i>Darwinella rosacea</i> | - | - | - | - | - | X | - | - |

Aucune espèce caractéristique de mangrove n'est présente au site Requins et une seule est présente en faible proportion sur le site Baude. La présence de 4 espèces caractéristiques de mangrove est relevée sur le site Trésor, et 3 espèces caractéristiques sont présentes sur les sites Grenade et Merle.

D'autres espèces ne sont généralement pas associées à l'écosystème de la mangrove, et ne sont trouvés sur ou sous les racines de palétuviers qu'à cause de la proximité d'autres habitats (herbier ou récif corallien par exemple). C'est le cas en particulier des éponges *Placospongia intermedia* ou *Neopetrosia carbonaria*. *Tedania klausii*, proche morphologiquement de *Tedania ignis*, est généralement absente des mangroves (Wulff, 2006) or on la trouve ici dans 4 sites sur 8 mais toujours en faible abondance.

4.2 Caractérisation biologique des différents sites

Le tableau ci-dessous présente les nombres d'espèces et nombre d'occurrences regroupées pour chaque site et chaque campagne.

Les sites présentant les richesses spécifiques de spongiaires les plus importantes sont les mangroves de la baie du Trésor et de Pointe Merle dans la baie de Fort-de-France qui abritent respectivement 26 et 23 espèces différentes.

Le site présentant la plus forte abondance de spongiaires est Trésor avec 158 individus répartis sur 87 racines (3 transects confondus). Les sites ayant les richesses spécifiques et les abondances les plus faibles sont Cohé du Lamentin et Requins avec respectivement 63 spongiaires sur 63 racines et 66 individus observés durant les 4 campagnes, appartenant à seulement 9 taxons différents pour chacune des stations.

Note : Un nombre différentiel de racines a été échantillonné à chaque site et campagne. Les nombres d'espèces et d'occurrences sont donc présentés ici à titre indicatif mais ne peuvent en aucun cas être comparés.

Tableau 29 : Répartition des observations de spongiaires par site et par campagne en fonction du nombre de racines colonisées observées. Les maximum font référence au maximum d'espèces présentes sur le site toutes campagnes confondues.

| Site | Campagne | Nombre d'espèces | Nombre d'occurrences | Nb de racines porteuses de spongiaires |
|----------|-------------|------------------|----------------------|----------------------------------------|
| Cohé | 1 | 6 | 42 | 39 |
| | 2 | 7 | 63 | 63 |
| | 3 | 0 | 0 | 0 |
| | 4 | 1 | 1 | 1 |
| | max du site | 9 | 63 | |
| Merle | 1 | 19 | 71 | 32 |
| | 2 | 18 | 96 | 49 |
| | 3 | 9 | 107 | 59 |
| | 4 | 15 | 120 | 67 |
| | max du site | 23 | 120 | |
| Baude | 1 | 8 | 34 | 24 |
| | 2 | 7 | 68 | 46 |
| | 3 | 6 | 91 | 64 |
| | 4 | 10 | 141 | 69 |
| | max du site | 15 | 141 | |
| Marin | 1 | 8 | 53 | 40 |
| | 2 | 8 | 63 | 54 |
| | 3 | 6 | 83 | 61 |
| | 4 | 6 | 64 | 47 |
| | max du site | 13 | 83 | |
| Grenade | 1 | 12 | 81 | 30 |
| | 2 | 9 | 104 | 70 |
| | 3 | 8 | 103 | 56 |
| | 4 | 10 | 87 | 51 |
| | max du site | 16 | 104 | |
| Saintpée | 1 | 10 | 103 | 62 |
| | 2 | 12 | 129 | 56 |
| | 3 | 14 | 132 | 60 |
| | 4 | 12 | 123 | 60 |
| | max du site | 17 | 132 | |
| Requins | 1 | 7 | 63 | 55 |
| | 2 | 7 | 39 | 26 |
| | 3 | 6 | 66 | 48 |
| | 4 | 5 | 40 | 34 |
| | max du site | 9 | 66 | |
| Trésor | 1 | 13 | 80 | 26 |
| | 2 | 14 | 78 | 54 |
| | 3 | 11 | 75 | 36 |
| | 4 | 17 | 158 | 87 |
| | max du site | 26 | 158 | |

4.2.1 Sites de la baie de Fort-de-France

Cohé du Lamentin

Sur les 4 campagnes, seulement 106 individus ont été recensés sur les racines, majoritairement fixées.

Lors des première et deuxième campagnes, 42 et 63 spongiaires ont été observés (sur respectivement 39 et 63 racines) appartenant à 9 espèces différentes, dont 3 sont dominantes : *Tedania ignis*, *Mycale microsigmatosa* et *Haliclona sp.2*.

Aucune éponge n'a été retrouvée lors de la troisième campagne, effectuée en saison humide (novembre 2011). Même à proximité des transects, la majorité des spongiaires avaient disparu. Un seul spécimen de *Chelonaplysilla* a été observé à une cinquantaine de mètres au-delà du troisième transect. Aucun spécimen en mauvais état, à l'état résiduel ou mort n'a été observé sur le site. Les racines étaient lisses, sans trace d'arrachage, de casse, ou de dégradation physique. D'une manière générale, tous les épibiontes étaient d'ailleurs peu nombreux lors de cette campagne de mesure, les spongiaires n'étaient donc pas masqués par d'autres organismes. Les conditions de terrain étaient similaires aux deux premières campagnes, la visibilité bien que faible était suffisante et les repères de transects ont bien été retrouvés au sein de la frange de palétuviers. Il n'y a donc pas de biais possible du aux conditions environnementales du moment.

Lors de la quatrième campagne, 5 mois plus tard (mars 2012), quelques rares organismes étaient de nouveau observés à la frange de palétuviers du site. Sur les transects un seul individu de *M. microsigmatosa* a été recensé, mais de part et d'autre des transects, une petite dizaine d'individus de petite taille ont été identifiés. Ces derniers appartenaient aux espèces *Suberites aurantiacus* ou *Haliclona sp.3*, que l'on peut toutes les deux qualifier d'espèces « pionnières ».

Pointe Merle - Génipa

Malgré la turbidité ambiante au niveau de la frange de palétuviers dans la baie de Génipa, la visibilité sur le site de Pointe Merle est bonne. Dans ce site 23 espèces de spongiaires de mangrove ont été inventoriées. Durant les 4 campagnes 394 observations ont été réalisées. Le nombre d'observations à chaque campagne a été croissant (71, 96, 107 puis 120 occurrences sur respectivement 32, 49, 59 et 67 racines), la variabilité inter-campagne est donc relativement élevée (en moyenne 98 obs/campagne, EC=21).

Les espèces les plus fréquemment rencontrées sont *T. ignis*, *Dysidea etheria*, *M. microsigmatosa*, *Haliclona caerulea* et *Spirastrella mollis*.

Une espèce observée de nombreuses fois suscite des interrogations quant à son identification. L'éponge nommée *Haliclona sp.2* ne semble pas avoir été décrite auparavant. Et aucune diagnose connue ne correspond à sa description. Des discussions sont en cours auprès de plusieurs spécialistes pour confirmer l'hypothèse d'une espèce nouvelle pour la science.

4.2.2 Sites de la baie du Marin

Baude

Le site Baude abrite 15 espèces de spongiaires. Au cours des 4 campagnes d'observation 334 individus ont été observés mais avec une forte variabilité inter-campagnes (en moyenne 83 obs/campagne EC=45). Lors de la première campagne seulement 34 individus ont été identifiés (sur 24 racines) à cause d'une très forte turbidité (10 à 30 cm de visibilité) ; durant les deuxième et troisième campagnes 68 et 91 individus ont été observés (sur respectivement 46 et 64 racines); la très bonne visibilité durant la dernière campagne a permis 141 observations de spongiaires réparties sur 69 racines. Les espèces les plus fréquentes sont : *T. ignis*, *Mycale microsigmatosa*, *Haliclona implexiformis*, *Dysidea etheria* et *Suberites aurantiacus*.

Pointe Marin

Sur le site de la Pointe Marin, 13 espèces de spongiaires ont été identifiées au cours des 4 campagnes, avec 263 observations de spongiaires au total. Le nombre d'observations est relativement variable entre les campagnes : 53, 63, 83 et 64 individus observés (sur respectivement 40, 54, 61 et 47 racines) (moyenne de 66 obs/campagne, EC=13). Les conditions d'identification sur ce site sont rendues difficiles dès que les alizés créent du clapot (turbidité). Ce fut le cas lors de la 1^{ère}, la 2^{ème} et la 4^{ème} campagne.

Les espèces principales observées à Pointe Marin sont *T. ignis*, *M. microsigmatosa*, *H. implexiformis* et *S. aurantiacus*.

4.2.3 Sites de la côte Atlantique

Grenade

Sur les 4 campagnes de mesures au site Grenade, 375 observations de spongiaires ont été réalisées, ce qui correspond à 16 espèces différentes. Le nombre d'observations à chaque campagne est peu variable avec en moyenne 94 (± 11) observations par campagne. 81 individus ont été identifiés sur 30 racines lors de la première campagne, puis 104 et 103 spongiaires sur respectivement 70 et 56 racines et enfin 87 individus sur 51 racines lors de la dernière campagne.

Les espèces les plus représentatives du site Grenade sont : *T. ignis*, *M. microsigmatosa*, *H. caerulea*, *H. implexiformis* et *S. aurantiacus*.

Saintpée

Le site choisi dans la baie de Saintpée est relativement profond (entre 1 et 2,2 m de profondeur au niveau des racines) et présente donc des racines très longues (presque 1 m en moyenne), ce qui peut expliquer le très grand nombre d'observations réalisées. En effet sur les 4 campagnes 487 observations ont pu être faites, avec une variation inter-campagnes relativement faible, en moyenne 122 obs/campagne (± 13).

Malgré le très grand nombre de spongiaires présents, seulement 17 espèces ont été identifiées. Les espèces les plus représentées sont *T. ignis* et *M. microsigmatosa* puis *D. etheria*, *S. mollis* et *H. manglaris*.

Baie des Requins

Seules 9 espèces ont été identifiées sur le site de la Baie des Requins au sein de la Baie du Robert. Au total seulement 208 observations ont été réalisées avec une variabilité inter-campagne relativement forte (en moyenne 53 obs/campagne ± 13). Le faible nombre d'observations s'explique par le positionnement d'un transect sur une frange de palétuviers peu profonde et peu colonisée par les spongiaires. Les espèces les plus représentées sont les mêmes que dans la baie de Saintpée, en face dans la baie du Robert, à savoir *T. ignis*, *M. microsigmatosa*, *D. etheria* et *S. mollis*.

Baie du Trésor

391 observations de spongiaires ont été faites au cours des 4 campagnes dans la Baie du Trésor. Il y a cependant une forte variabilité inter-campagnes avec 80, 78 et 75 spongiaires relevés (sur respectivement 26, 54 et 36 racines) lors des 3 premières campagnes et 158 individus répertoriés sur 87 racines lors de la dernière mission. La très bonne visibilité est en partie responsable de ce surcroît d'individus. Une autre explication vient de l'observation de nombreux organismes de petite taille lors de cette dernière campagne. Ces spongiaires étaient soit nouvellement recrutés (jeunes organismes) soit masqués par d'autres épibiontes lors des campagnes précédentes. La baie du Trésor est le site ayant la plus grande richesse spécifique : 26 espèces sont présentes et les espèces les plus fréquemment rencontrées sont : *T. ignis*, *S. mollis*, *H. manglaris*, *M. microsigmatosa* et dans une moindre mesure *Tethya actinia*, *Chelonaplysilla erecta* et *D. etheria*.

4.3 Richesse spécifique cumulée

Les courbes de richesses spécifiques cumulées sont regroupées sur un même graphique pour les comparer (Figure 63).

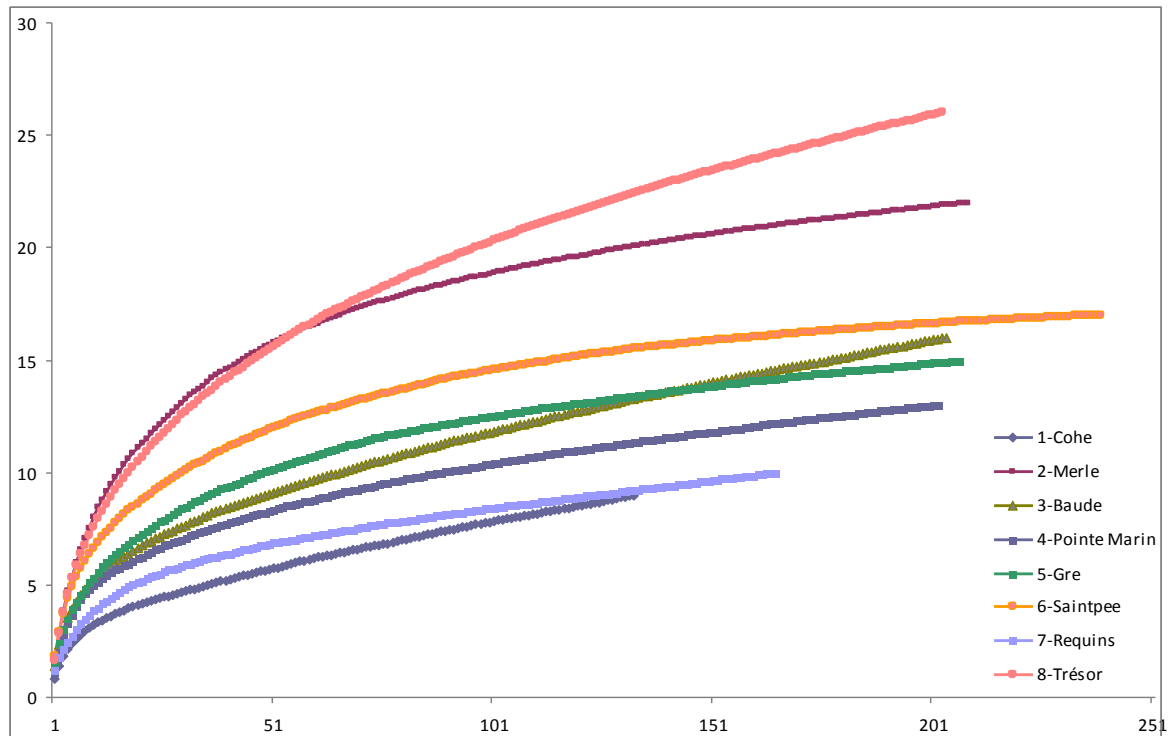


Figure 63 : Richesse cumulée sur les différents sites échantillonnés.

Les courbes de richesses spécifiques cumulées sont plus ou moins asymptotiques selon les sites étudiés, ce qui indique que l'échantillonnage aurait pu être meilleur sur certains sites et que d'autres espèces restent potentiellement à découvrir.

Les échantillonnages des sites Merle, Saintpée et Grenade montrent une certaine saturation, surtout pour le premier. Les échantillonnages des sites Marin, Requins, Trésor, Baude et surtout Cohé ne semblent pas être arrivés à saturation. Pour ces derniers, une recherche de spongiaires plus poussée peut encore être menée. L'échantillonnage du site Trésor, qui présente la plus forte richesse spécifique, ne semble pas encore saturé. De nouvelles espèces pourraient donc être encore recherchées.

Il semble que l'indice de pression et l'effort d'échantillonnage soient plus ou moins liés. Les courbes de biodiversité cumulées par sites peuvent être mises en relation avec les indices de pression de chaque site. On voit alors que les sites subissant le plus de pression ont des biodiversités plus faibles. Exception faite pour le site de Pointe Merle dans la baie de Génipa.

Parmi les sites présentant les plus fortes richesses spécifiques (Trésor, Merle et Saintpée), on voit que l'échantillonnage du site Merle semble plus proche de la saturation que l'échantillonnage mené sur le site Trésor qui n'est pas saturé, donc sa richesse spécifique est sous-estimée.

Parmi les autres sites, qui présentent des richesses spécifiques moindres, on observe également un manque de saturation des courbes, sauf pour le site Grenade qui tend vers une asymptote.

La courbe de richesse spécifique cumulée de toutes les observations réalisées durant toute l'étude (tous sites et toutes campagnes confondus) tend vers une asymptote (Figure 64). L'ensemble de l'étude indique donc un bon effort d'échantillonnage tous sites confondus. Le nombre maximal d'espèces de spongiaires attendu sur l'ensemble des sites échantillonnés est de 51, sachant que 47 espèces, dont une nouvelle pour la science, sont présentées dans cette étude (voir Atlas des spongiaires des mangroves de Martinique).

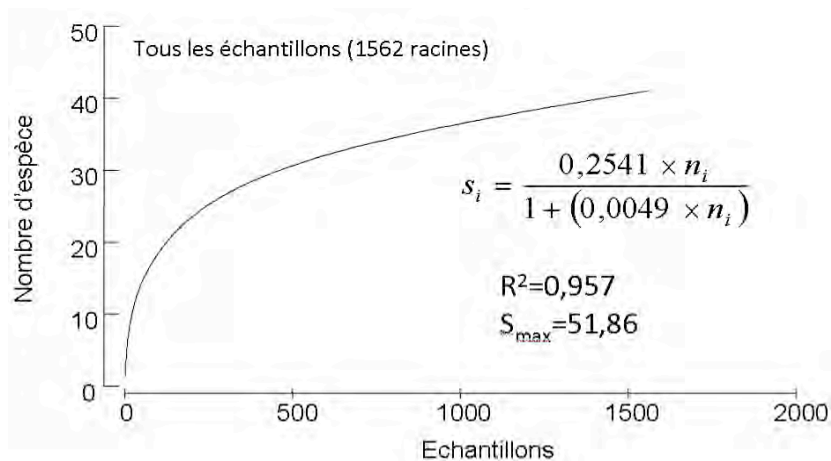


Figure 64 : Richesse cumulée pour toutes les racines observées.

4.4 Variabilités spatiale et temporelle des peuplements et espèces de spongiaires

Les résultats sont ici exprimés en nombre de spongiaires par dm² de racine (ind/dm²) pour s'affranchir des conditions intrinsèques à la morphologie des racines de palétuviers (longueur et diamètre).

Variabilité spatiale

Pour l'analyse de la variabilité spatiale les résultats des 4 campagnes ont été regroupés.

Comme cela est décrit ci-dessus, le nombre d'individus présents sur les racines de palétuviers varie d'un site à l'autre. Ainsi les racines du site de Grenade présentent le nombre d'éponges au dm² le plus important (0,36 ind/dm²), suivi de près par les sites Merle et Saintpée. Le site de Cohé du Lamentin présente la densité de spongiaires la plus faible (0,11 ind/dm² en moyenne).

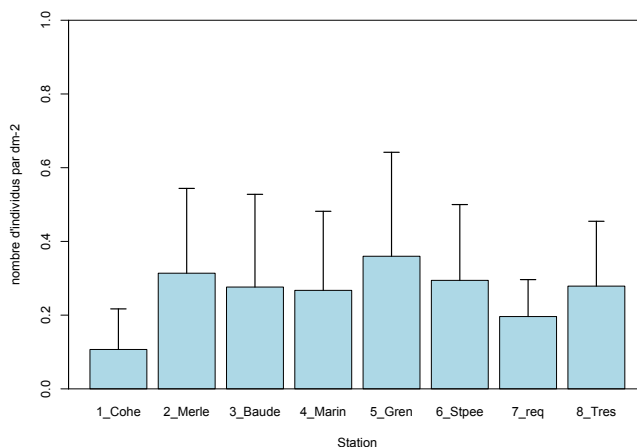


Figure 65 : Moyenne du nombre d'individus (spongiaires) observés au dm² sur les racines étudiées aux 8 sites. n= 80±SD.

Le nombre d'espèces par dm² varie de manière similaire au nombre d'individus précédemment décrits. Les racines du site de Génipa présentent en moyenne plus d'espèces par dm² (0,28 esp/dm²) et le site de Cohé du Lamentin le plus faible (0,11 esp/dm²).

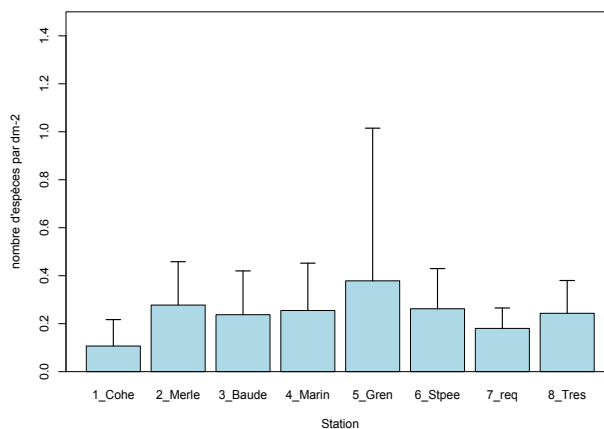


Figure 66 : Moyenne du nombre d'espèces (spongiaires) observées au dm² sur les racines étudiées aux 8 sites. n= 80±SD.

Bien que les mangroves soient des milieux relativement homogènes (frange de palétuviers rouges, fond de baie, forte turbidité, milieu calme etc.) les 8 sites choisis ont chacun des conditions hydrobiologiques différentes et subissent des pressions directes ou sur leurs bassin versant d'origines variables même au sein d'une baie (voir descriptif des sites et des masses d'eau de transition). Les populations de spongiaires, bien que présentes dans presque toutes les mangroves (avec une répartition aléatoire le long de la frange de palétuviers), forment des assemblages très variés que ce soit en nombre d'individus et donc en densité, en richesse spécifique, ou en biodiversité.

A retenir : Chaque site étant différent les peuplements de spongiaires sont très variés. Chaque MET disposant d'une mangrove doit donc faire l'objet d'un suivi en particulier du fait des difficultés de transposition des résultats.

Variabilité temporelle

◆ Saison

Le nombre d'individus observés et la richesse spécifique des sites Baude et Marin sont plus élevés en saison sèche (à ces sites, les conditions d'observation en saison humide ont été particulièrement difficiles). Trois sites voient leurs effectifs et richesse spécifique relativement stables quelque soit la saison (Requins, Cohé et Saintpée) et trois sites ont un nombre d'individus et une richesse spécifique plus élevés en saison humide (Grenade, Trésor et Merle). Cependant, ces variations inter-saisons sont faibles la plupart du temps malgré de forts écarts types.

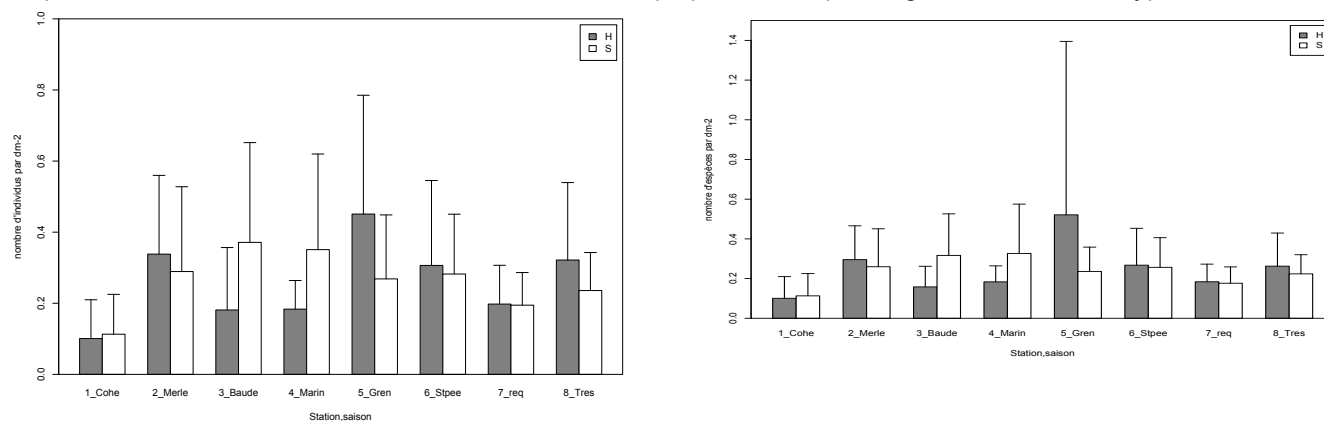


Figure 67 : a) Moyenne du nombre d'éponges par dm² sur les racines. b) Moyenne du nombre d'espèces (spongiaires) au dm² sur les racines. Pour les 8 sites en saison sèche (s) et humide (h) n= 40±SD.

Bien que les conditions d'observation changent beaucoup en fonction des conditions saisonnières, les communautés de spongiaires des mangroves martiniquaises ne semblent pas varier avec la saison. Ceci est vrai aussi bien pour la richesse spécifique que pour le nombre d'individus par racine. Aucune tendance ne peut donc être dégagée quant à la variabilité saisonnière.

A retenir : Les résultats d'analyse des spongiaires ne semblent pas influencés par la variabilité saisonnière et les conditions climatiques liées.

◆ **Campagne**

Plusieurs différences sont observées au niveau des résultats par campagne. Notamment pour les sites Baude et Marin qui voient leur nombre d'espèces et d'individus augmenter surtout lors du dernier échantillonnage et le site Cohé dont la population de spongiaires a subitement disparue.

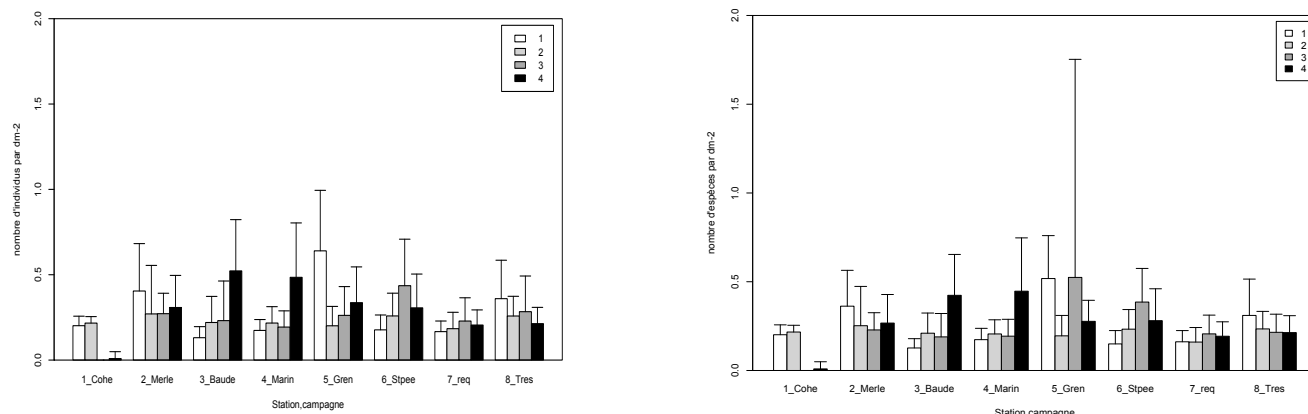


Figure 68 : a) Moyenne du nombre d'éponges par dm² sur les racines. b) Moyenne du nombre d'espèces (spongiaires) au dm² sur les racines. Pour les 8 sites et les 4 campagnes (1 à 4). n= 40±SD.

Le nombre d'observations et le nombre d'espèces recensées à un même site au cours des 4 campagnes sont parfois très différents.

A retenir : *Un nombre minimum de campagnes d'observations est nécessaire pour mesurer la biodiversité optimale d'un site de mangrove.*

4.5 Analyse statistique multivariée

4.5.1 Richesse spécifique

Afin de pouvoir comparer les échantillons, un nombre de racine équivalent a du être sélectionné à chaque site. Ceci équivaut à un sous échantillonnage des données acquises sur site, mais la sélection de 10 racines par sites a permis de garder un bon effort d'échantillonnage. En effet, l'extraction de la biodiversité cumulée sur le sous-échantillon montre un bon effort d'échantillonnage avec 908 racines (Figure 69). On atteint alors 35 espèces. Les analyses statistiques sui suivent on donc été conduites sur ce nombre d'échantillon réduit.

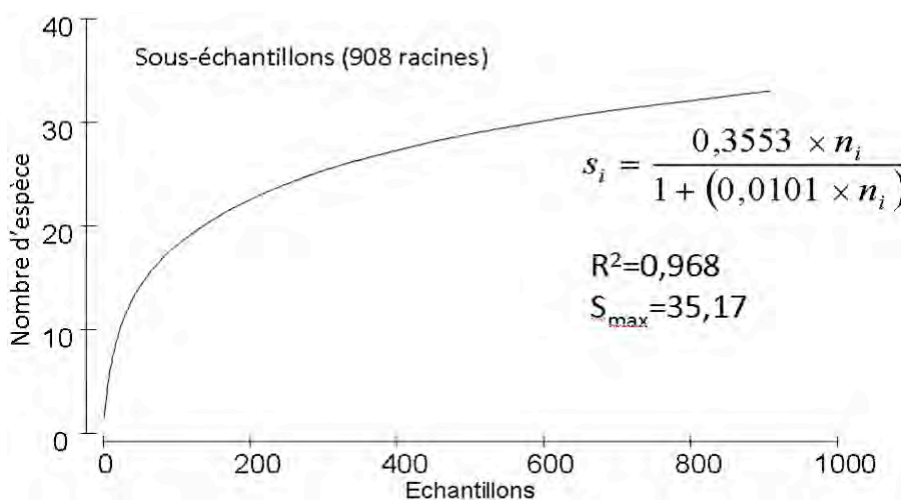


Figure 69 : Richesse cumulée pour un sous-échantillon de 908 racines.

Les résultats de la PERMANOVA pour la richesse spécifique des éponges sont présentés dans le Tableau 30. L'interaction significative entre les sites et campagnes (Saison) indique que la différence entre les sites varie entre les

campagnes à l'intérieur de chaque saison, ce qui empêche toute interprétation directe de la significativité du facteur campagne ou site. La variabilité temporelle était plus forte à Cohé où les éponges ont disparu entre les campagnes 2 et 3. Ceci n'a pas été observé sur d'autres sites, cependant d'autres changements temporels ont été notés pour les autres sites, exceptés pour les sites du Marin et de Requin. Malgré ces changements temporels, il apparaît que la richesse spécifique des sites Merle, Saintpée et Trésor soit la plus forte alors qu'elle est la plus faible à Cohé.

Les variations temporelles de richesse spécifique ne sont pas liées à la saison (valeur pseudo-F, Tableau 30). Néanmoins, la comparaison entre les sites caraïbes et atlantiques montre des différences significatives. Les résultats indiquent que les différences détectées au sein des sites sont mieux interprétées si ces derniers sont classés par côte.

Tableau 30 : PERMANOVA sur la matrice de dissimilarité de Bray-Curtis pour évaluer les différences entre les sites, la variation temporelle entre eux et les effets stations.

| Source | df | SS | MS | Pseudo-F | P(perm) |
|--------------------------------------------------|-----------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Site | 7 | 162,46 | 23,21 | 5,89 | 0,001 |
| <i>Caraïbe vs Atlantique</i> | 1 | 43,97 | 43,97 | 12,54 | 0,009 |
| Saison | 1 | 0,17 | 0,17 | 0,10 | 0,999 |
| Transect (Site) | 16 | 7,57 | 0,47 | 0,96 | 0,520 |
| Transect (<i>Caraïbe vs Atlantique</i>) | 4 | 1,02 | 0,26 | 0,66 | 0,651 |
| Campagne (Saison) | 2 | 11,99 | 5,99 | 12,12 | 0,002 |
| Site x Saison | 7 | 6,14 | 0,88 | 0,33 | 1,000 |
| <i>Caraïbe vs Atlantique</i> x Saison | 1 | 1,03 | 1,03 | 0,38 | 0,848 |
| Site x Campagne (Saison) | 14 | 49,90 | 3,56 | 7,20 | 0,001 |
| <i>Caraïbe vs Atlantique</i> x Campagne (Saison) | 2 | 6,57 | 3,28 | 8,44 | 0,012 |
| Transect (Site) x Saison | 16 | 8,58 | 0,54 | 1,08 | 0,418 |
| Transect (Site) x Campagne (Saison) | 32 | 15,86 | 0,50 | 1,04 | 0,392 |
| Résidus | 810 | 386,21 | 0,48 | | |
| Total | 905 | 650,95 | | | |

4.5.2 Assemblages d'éponges

Les résultats de la PERMANOVA pour les assemblages d'éponges montrent une interaction significative entre les sites et les campagnes (Saison). Cela indique que la différence entre les sites varie entre les campagnes à l'intérieur de chaque saison, ce qui empêche toute interprétation directe de la significativité du facteur campagne ou site.

Tableau 31 : PERMANOVA sur la matrice de dissimilarité de Bray-Curtis pour évaluer les différences entre les sites, la variation temporelle entre eux et les effets stations.

| Source | df | SS | MS | Pseudo-F | P(perm) |
|--------------------------------------------------|-----------|---------------|----------------|---------------|--------------|
| Site | 7 | 109980 | 15711,0 | 3,41 | 0,001 |
| <i>Caraïbe vs Atlantique</i> | 1 | 36504 | 36504,0 | 10,60 | 0,001 |
| Saison | 1 | 2104 | 2104,0 | 0,64 | 0,844 |
| Transect (Site) | 16 | 24001 | 1500,1 | 1,35 | 0,066 |
| Campagne (Saison) | 2 | 8409 | 4204,4 | 3,84 | 0,002 |
| Site x Saison | 7 | 8923 | 1274,7 | 0,56 | 0,999 |
| <i>Caraïbe vs Atlantique</i> x Saison | 1 | 700 | 699,7 | 0,63 | 0,816 |
| Site x Campagne (Saison) | 14 | 48511 | 3465,0 | 3,1403 | 0,001 |
| <i>Caraïbe vs Atlantique</i> x Campagne (Saison) | 2 | 3681 | 1840,3 | 1,461 | 0,204 |
| Transect (Site) x Saison | 16 | 12667 | 791,7 | 0,71408 | 0,927 |
| Transect (Site) x Campagne (Saison) | 32 | 35495 | 1109,2 | 1,387 | 0,056 |
| Résidus | 810 | 647780 | 799,7 | | |
| Total | 905 | 899600 | | | |

Les différences entre les sites et la variabilité entre les campagnes peuvent seulement être interprétées après avoir réalisé un graphique des centroïdes pour la combinaison des deux facteurs. Cette interaction est montrée en Figure 70 pour les sites caraïbes et la Figure 71 pour les sites atlantiques.

Côte Caraïbe

Bien que les variations temporelles soient importantes à tous les sites, que les centroïdes de Cohé sont considérablement éloignés des autres centroïdes, de même que les centroïdes du Marin pour les campagnes 1,2 et 3 (Figure 70).

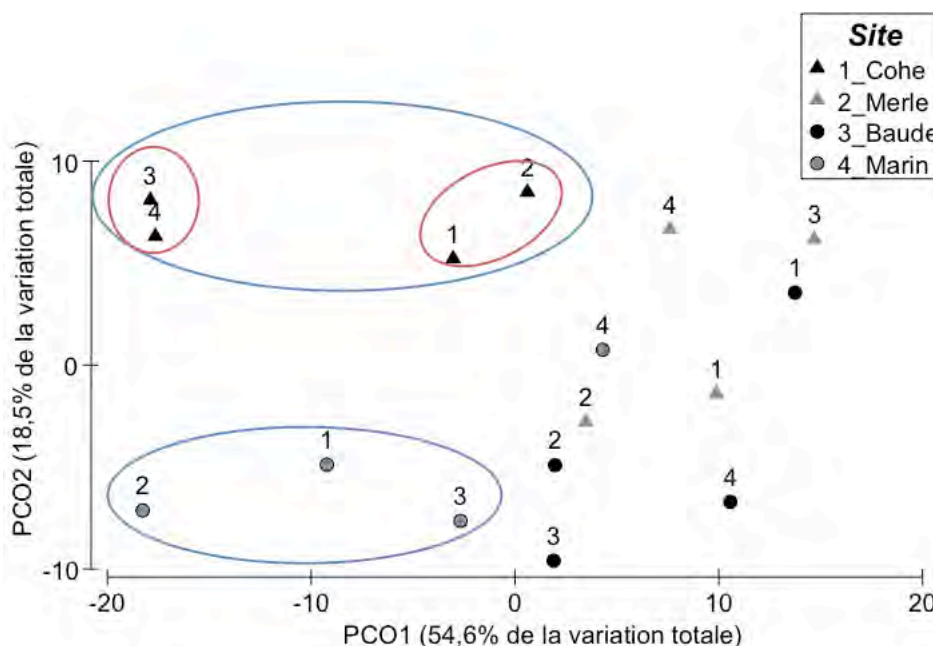


Figure 70 : PCO sur les sites de la côte Caraïbe.

Les nombres indiqués représentent les campagnes. En bleu les sites isolés des autres, en rouge les campagnes.

Les différences entre Cohé et les autres sites de la côte Caraïbe sont surtout expliquées par l'absence de la plupart des espèces (Tableau 32). Seules *T. ignis*, *Mycale microsigmatosa* et *Haliclona sp2* sont relativement communes à Cohé. *T.ignis* et *M. microsigmatosa* sont aussi fréquentes dans les autres sites, mais *Haliclona sp.2* est moins commune en dehors de Cohé.

Le graphique précédent avec l'éloignement des centroïdes de Cohé pour les campagnes 3 et 4 illustre le phénomène de disparition de toute la communauté de spongiaires après la campagne 2, signe d'une perturbation majeure. Cependant un début de recolonisation du site par les spongiaires a été observé lors de la 4^{ème} campagne.

Tableau 32 : Analyse SIMPER (par paires) entre le site de Cohé et les autres sites de la côte Caraïbe

| 1_Cohe & 2_Merle | | dissimilarité moyenne = 81,90 | | | |
|--------------------------|-------------|-------------------------------|----------|---------|----------|
| | 1_Cohe | 2_Merle | | | |
| Groupes | Fréquences | Fréquences | Diss.moy | Diss/SD | Contrib% |
| <i>T. ignis</i> | 0,40 | 0,67 | 25,61 | 0,91 | 31,27 |
| <i>Haliclona sp2</i> | 0,23 | 0,02 | 9,20 | 0,52 | 11,23 |
| <i>M. microsigmatosa</i> | 0,12 | 0,17 | 9,40 | 0,49 | 11,48 |
| <i>H. caerulea</i> | 0,01 | 0,19 | 8,10 | 0,43 | 9,89 |
| <i>H. manglaris</i> | 0,01 | 0,05 | 1,57 | 0,23 | 1,91 |
| <i>T. manglaris</i> | 0,01 | 0,03 | 1,19 | 0,18 | 1,45 |
| <i>D. etheria</i> | 0,00 | 0,25 | 8,39 | 0,47 | 10,24 |
| <i>S. mollis</i> | 0,00 | 0,16 | 5,32 | 0,36 | 6,49 |
| <i>C. erecta</i> | 0,00 | 0,07 | 2,54 | 0,24 | 3,10 |
| <i>M. angulosa</i> | 0,00 | 0,04 | 1,68 | 0,18 | 2,06 |
| 1_Cohe & 3_Baude | | dissimilarité moyenne = 78,80 | | | |
| | 1_Cohe | 3_Baude | | | |
| Groupes | Fréquences | Fréquences | Diss.moy | Diss/SD | Contrib% |
| <i>T. ignis</i> | 0,40 | 0,64 | 26,37 | 0,91 | 33,46 |
| <i>Haliclona sp2</i> | 0,23 | 0,00 | 9,17 | 0,52 | 11,64 |
| <i>M. microsigmatosa</i> | 0,12 | 0,42 | 18,82 | 0,69 | 23,88 |
| <i>S. aurantiacus</i> | 0,02 | 0,11 | 5,70 | 0,34 | 7,23 |
| <i>D. etheria</i> | 0,00 | 0,25 | 9,34 | 0,49 | 11,85 |
| <i>H. implexiformis</i> | 0,00 | 0,11 | 3,95 | 0,30 | 5,01 |
| 1_Cohe & 4_Marin | | dissimilarité moyenne = 84,41 | | | |
| | 1_Cohe | 4_Marin | | | |
| Groupes | Fréquences | Fréquences | Diss.moy | Diss/SD | Contrib% |
| <i>T. ignis</i> | 0,40 | 0,37 | 25,23 | 0,85 | 29,89 |
| <i>Haliclona sp2</i> | 0,23 | 0,00 | 10,15 | 0,53 | 12,03 |
| <i>M. microsigmatosa</i> | 0,12 | 0,33 | 18,01 | 0,64 | 21,33 |
| <i>S. aurantiacus</i> | 0,02 | 0,28 | 12,98 | 0,51 | 15,37 |
| <i>H. implexiformis</i> | 0,00 | 0,18 | 9,55 | 0,43 | 11,32 |
| <i>D. etheria</i> | 0,00 | 0,04 | 2,46 | 0,20 | 2,92 |

En ce qui concerne le site de la **Pointe Marin**, les dissimilarités avec les autres sites de la côte Caraïbe sont importantes. *T. ignis*, *M. microsigmatosa*, *H. implexiformis* et *S. aurantiacus* sont les espèces les plus communes (Tableau 33). Le site Marin diffère des autres par les fréquences en *H. implexiformis* et *S. aurantiacus*. A part les deux espèces les plus communes (*T.ignis* et *M. microsigmatosa*) les assemblages de spongiaires sont très variables au sein même de la côte Caraïbe.

Tableau 33 : Analyse SIMPER (par paires) entre le site de Marin et les autres sites de la côte Caraïbe.

| 2_Merle & 4_Marin | | Dissimilarité moyenne = 83,40 | | | |
|--------------------------|-------------|-------------------------------|----------|---------|----------|
| | 2_Merle | 4_Marin | | | |
| Groupes | Fréquences | Fréquences | Diss.moy | Diss/SD | Contrib% |
| <i>T. ignis</i> | 0,67 | 0,37 | 21,41 | 1,00 | 25,67 |
| <i>M. microsigmatosa</i> | 0,17 | 0,33 | 12,94 | 0,67 | 15,51 |
| <i>S. aurantiacus</i> | 0,00 | 0,28 | 8,51 | 0,50 | 10,21 |
| <i>H. implexiformis</i> | 0,03 | 0,18 | 6,95 | 0,46 | 8,33 |
| <i>D. etheria</i> | 0,25 | 0,04 | 8,14 | 0,53 | 9,76 |
| <i>T. klausii</i> | 0,03 | 0,03 | 1,81 | 0,23 | 2,17 |
| <i>H. manglaris</i> | 0,05 | 0,01 | 1,45 | 0,24 | 1,74 |
| <i>H. caerulea</i> | 0,19 | 0,00 | 6,41 | 0,45 | 7,68 |
| <i>S. mollis</i> | 0,16 | 0,00 | 4,60 | 0,39 | 5,52 |
| <i>C. erecta</i> | 0,07 | 0,00 | 2,09 | 0,25 | 2,51 |
| 3_Baude & 4_Marin | | dissimilarité moyenne = 76,06 | | | |
| | 3_Baude | 4_Marin | | | |
| Groupes | Fréquences | Fréquences | Diss.moy | Diss/SD | Contrib% |
| <i>T. ignis</i> | 0,64 | 0,37 | 21,78 | 1,02 | 28,64 |
| <i>M. microsigmatosa</i> | 0,42 | 0,33 | 18,52 | 0,82 | 24,35 |
| <i>S. aurantiacus</i> | 0,11 | 0,28 | 11,38 | 0,59 | 14,96 |
| <i>H. implexiformis</i> | 0,11 | 0,18 | 8,95 | 0,53 | 11,77 |
| <i>D. etheria</i> | 0,25 | 0,04 | 8,83 | 0,55 | 11,60 |
| 1_Cohe & 4_Marin | | dissimilarité moyenne = 84,41 | | | |
| | 1_Cohe | 4_Marin | | | |
| Groupes | Fréquences | Fréquences | Diss.moy | Diss/SD | Contrib% |
| <i>T. ignis</i> | 0,40 | 0,37 | 25,23 | 0,85 | 29,89 |
| <i>M. microsigmatosa</i> | 0,12 | 0,33 | 18,01 | 0,64 | 21,33 |
| <i>S. aurantiacus</i> | 0,02 | 0,28 | 12,98 | 0,51 | 15,37 |
| <i>H. implexiformis</i> | 0,00 | 0,18 | 9,55 | 0,43 | 11,32 |
| <i>D. etheria</i> | 0,00 | 0,04 | 2,46 | 0,20 | 2,92 |
| <i>Haliclona sp2</i> | 0,23 | 0,00 | 10,15 | 0,53 | 12,03 |

Au site Marin la composition spécifique est très variable entre les différentes campagnes (Tableau 34). Les espèces les plus abondantes à chaque campagne changent à chaque fois. Ceci peut être dû aux conditions hydrologiques et climatiques particulièrement difficiles de ce site (vent et forte turbidité quelque soit la saison).

Tableau 34 : Analyse SIMPER dans le site du Marin entre les campagnes.

| Campagne 1 | | | | |
|-------------------------------|---------------|---------|--------|----------|
| dissimilarité moyenne = 18,99 | | | | |
| Groupes | Abondance moy | Sim moy | Sim/SD | Contrib% |
| <i>T. ignis</i> | 0,30 | 7,09 | 0,29 | 37,33 |
| <i>M. microsigmatosa</i> | 0,43 | 5,70 | 0,26 | 30,03 |
| <i>H. implexiformis</i> | 0,25 | 3,34 | 0,21 | 17,60 |
| <i>S. aurantiacus</i> | 0,23 | 2,73 | 0,18 | 14,37 |
| Campagne 2 | | | | |
| dissimilarité moyenne = 26,34 | | | | |
| Groupes | Abondance moy | Sim moy | Sim/SD | Contrib% |
| <i>H. implexiformis</i> | 0,44 | 16,72 | 0,48 | 63,51 |
| <i>S. aurantiacus</i> | 0,35 | 7,01 | 0,31 | 26,61 |
| Campagne 3 | | | | |
| dissimilarité moyenne = 32,20 | | | | |
| Groupes | Abondance moy | Sim moy | Sim/SD | Contrib% |
| <i>M. microsigmatosa</i> | 0,56 | 17,55 | 0,5 | 54,52 |
| <i>T. ignis</i> | 0,41 | 12,96 | 0,43 | 40,24 |
| Campagne 4 | | | | |
| dissimilarité moyenne = 37,51 | | | | |
| Groupes | Abondance moy | Sim moy | Sim/SD | Contrib% |
| <i>T. ignis</i> | 0,74 | 32,06 | 0,78 | 85,48 |
| <i>S. aurantiacus</i> | 0,3 | 3,84 | 0,22 | 10,24 |

A retenir : *Au sein même des deux baies, Fort-de-France et Marin, les deux sites de mangrove choisis sont très différents de par leurs assemblages respectifs de spongiaires. En baie de Fort-de-France le site Merle est particulièrement riche alors que Cohé est très dégradé. Les deux sites de la baie du Marin, bien que proches géographiquement, présentent de fortes dissimilarités dans l'assemblage de spongiaires.*

Côte Atlantique

Sur la côte Atlantique (Figure 71), des différences parmi les sites sont plus évidentes que sur la côte Caraïbe bien que les variations temporelles soient importantes. La différence spatiale peut être notée sur l'axe 1 de la PCO tandis que la différence temporelle est mieux appréciée sur l'axe 2. On observe que les changements temporels ne sont pas les mêmes pour tous les sites.

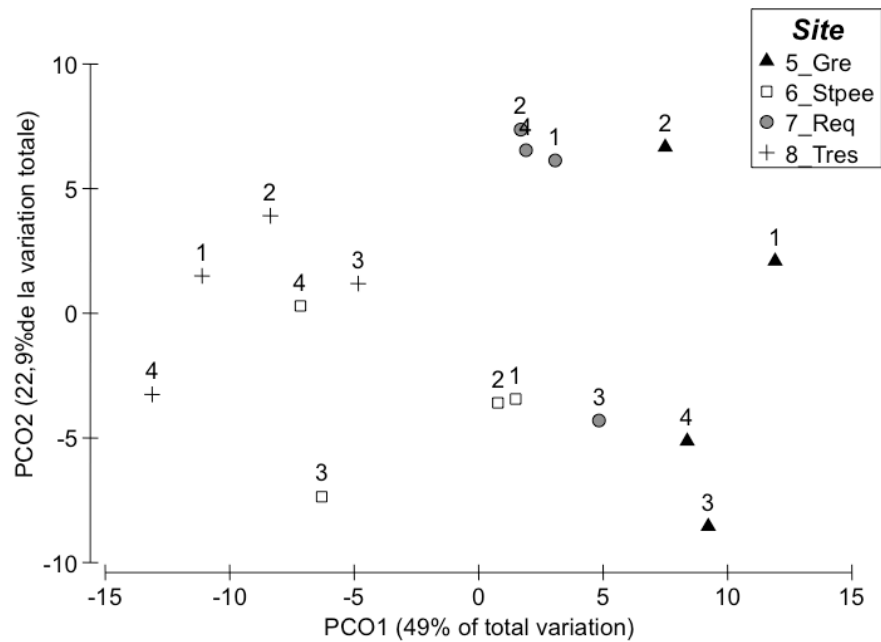


Figure 71 : PCO sur les sites de la côte Atlantique. Les nombres indiqués représentent les campagnes.

Evolution spatio-temporelle

Les changements temporels peuvent être notés aux sites des deux côtes bien que ceux-ci ne soient pas reliés à la saison comme le montre la valeur pseudo-F pour les facteurs saison et leurs interactions (Tableau 31). Cependant, la comparaison entre les sites caraïbes et atlantiques montre des différences significatives. Les résultats indiquent que les différences détectées sur les sites peuvent être mieux interprétées si ces derniers sont classés par côte. La relation entre les sites et les côtes est plus claire dans la Figure 72.

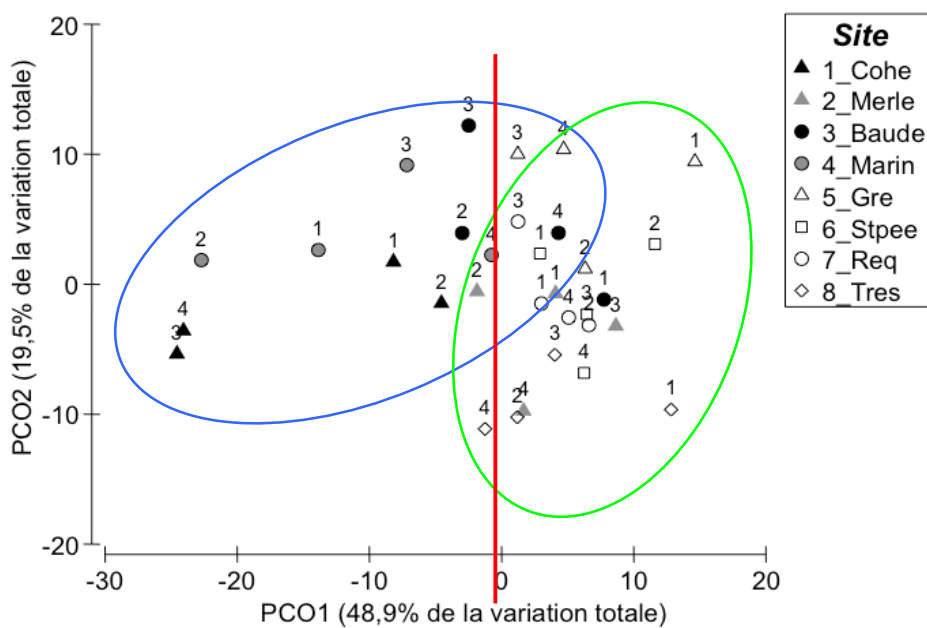


Figure 72 : PCO sur l'ensemble des sites. Les nombres indiqués représentent les campagnes.

Tous les centroïdes de la côte Atlantique sont localisés dans le côté positif de l'axe PCO1 tandis que ceux des sites caraïbes sont surtout localisés dans la partie opposée. De plus, une analyse de dispersion multivariée montre que la dispersion des centroïdes sur le groupe caraïbe est plus forte que sur le groupe atlantique (PERMDISP, $p < 0,05$). Ce résultat indique que les changements spatio-temporels sont plus importants sur la côte Caraïbe.

A cette résolution taxonomique, aucune corrélation significative n'a pu être notée entre les variables environnementales mesurées et les changements spatio-temporels ($\rho = 0,25$; $p > 0,05$).

4.5.3 Perspectives et analyses complémentaires

Les résidus

La source principale de variation dans la PERMANOVA est observée au niveau des résidus. Cela montre que les différences entre les racines voisines sont très importantes. Dans le futur, des échantillons constitués d'au moins 10 à 15 racines par transect devraient être échantillonnées au hasard (même si des racines vierges de colonisation sont incluses).

Les co-variables

La longueur des racines et leur diamètre ne pouvaient pas être utilisés en tant que co-variables dans cette étude car les racines diffèrent de manière significative au sein d'un même site (Tableau 35).

Tableau 35 : PERMANOVA sur la longueur des racines.

| Source | df | SS | MS | Pseudo-F | P(perm) |
|--------------------------|-----|----------|--------|----------|---------|
| Site | 7 | 25644,0 | 3663,4 | 4,80 | 0,008 |
| Saison | 1 | 5121,5 | 5121,5 | 199,30 | 0,008 |
| Campagne (Saison) | 2 | 51,2 | 25,6 | 0,05 | 0,951 |
| Site x Saison | 7 | 3816,4 | 545,2 | 0,71 | 0,659 |
| Site x Campagne (Saison) | 14 | 10687,0 | 763,3 | 1,54 | 0,096 |
| Résidus | 590 | 293090,0 | 496,8 | | |
| Total | 621 | 338990,0 | | | |

De plus, les racines sont plus petites dans les sites avec moins d'espèces et plus longues dans les sites les plus riches en diversité (Figure 73). Cela implique que l'effet potentiel de la pression anthropique sur le site de Cohé se confond avec le fait que les racines sont plus courtes à ce site.

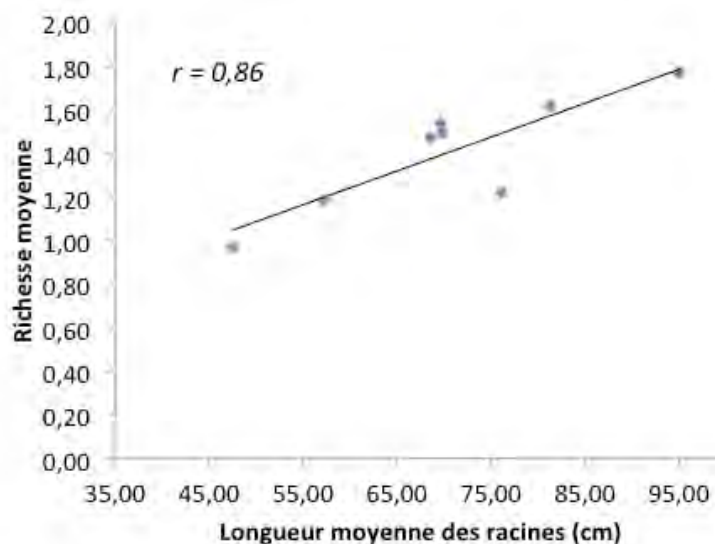


Figure 73 : Dispersion bi-variable parmi les moyennes de richesse par racine à tous les sites contre les moyennes des longueurs de racines par site. Le coefficient de Pearson est inclus.

Cette situation doit être considérée dans l'interprétation des données et dans les futurs échantillonnages. La même observation est faite sur le facteur type de racines, aériennes ou fixées (Figure 74). Le mode de fixation ne peut être traité statistiquement à cause de la trop grande variabilité de ce paramètre. Une sélection avant l'étude (racines aériennes ou fixées ou mixtes mais nombre équivalent) devrait être faite. Ce paramètre dépend cependant des caractéristiques de chaque site, tout comme la profondeur d'eau et la longueur des racines.

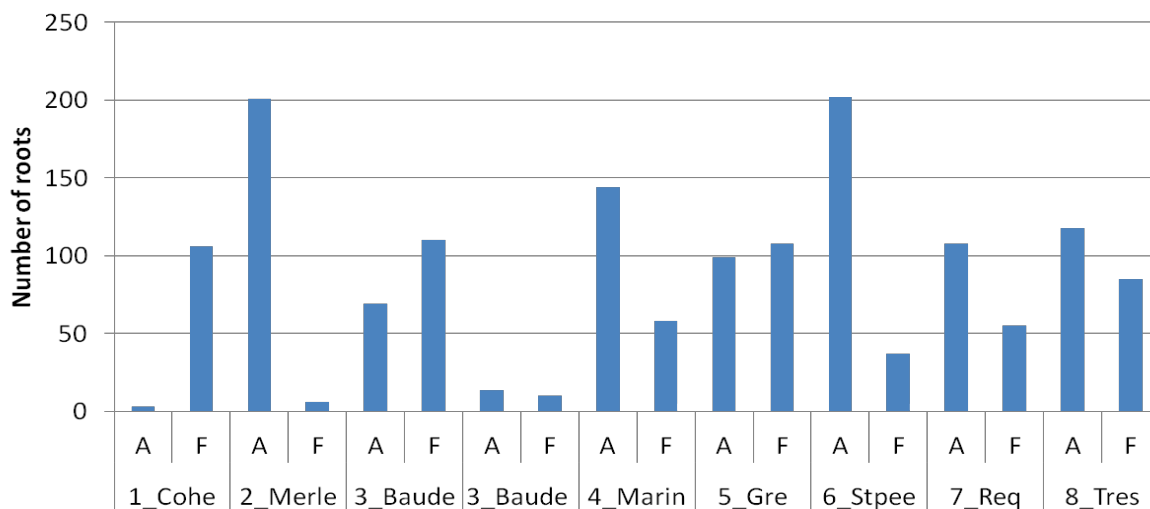


Figure 74 : Nombre de racines aériennes (A) et fixées (F) à chaque site.

En bioévaluation, mieux vaut essayer de s'affranchir des co-variables qui sont autant de sources potentielles de variation des données.

5 Bilan - Fiches sites

Le bilan des données par site : localisation, description physique, niveau d'anthropisation et épibiontes, est présenté ci-après sous la forme de fiches pour chaque site.

Cohé du Lamentin



Localisation du site

| Code ME | ME | Type DCE | Code Sandre / Q2 | X (WGS84 UTM 20N) | Y (WGS84 UTM 20N) |
|---------|--------------------------------|----------|------------------|-------------------|-------------------|
| FRJT003 | Mangrove de la Rivière Lézarde | Aucun | - | 713140 | 1615286 |

Description physique du site

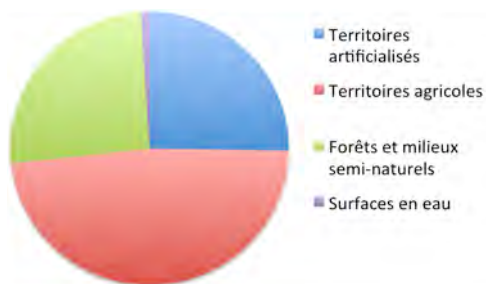
| Exposition | Profondeur | Largeur | Marnage | Substrat | Distance à l'herbier | Distance au récif | Longueur racines (moy) |
|------------|------------|---------|----------------|---------------------|----------------------|-------------------|------------------------|
| Faible | 40-80 cm | + 1 km | Faible (<50cm) | Vase fine argileuse | Quelques mètres | + 1 km | 86 ± 28 |

Physico-Chimie

| | Salinité | °C | pH | Saturation O ₂ | NO ₃ ⁻ (µmol l ⁻¹) | NO ₂ ⁻ (µmol l ⁻¹) | NH ₄ ⁺ (µmol l ⁻¹) | PO ₄ ³⁻ (µmol l ⁻¹) | Turbidité (FNU) |
|---------|----------|------|------|---------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------|
| Sèche | 34,17 | 26,6 | 8,21 | 91,2 | 1,71 | 0,33 | 0,52 | 0,08 | 2,35 |
| Humide | 33,8 | 28,6 | 8,17 | 70,8 | 0,23 | 0,13 | 1,50 | 0,18 | 9,64 |
| moyenne | 33,98 | 27,6 | 8,19 | 81,0 | 0,97 | 0,23 | 1,01 | 0,13 | 5,99 |

Anthropisation

Corinne Land Cover



Remarques

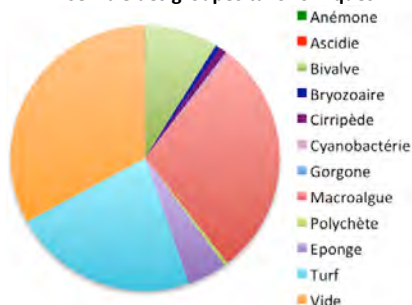
Le site de Cohé du Lamentin est alimenté par 2 bassins versants : le bassin versant de Longvilliers et celui de la Lézarde. Les territoires sont majoritairement agricoles et artificialisés. 10 des 54 ICPE de l'île sont situées sur ces BV.

Ce site est localisé à proximité du petit port de plaisance de Morne Cabri (usages nautiques), non loin de la raffinerie SARA et de la zone de la Trompeuse (décharge et incinérateur, autres industries).

Indice = 4

Les épibiontes

Ensemble des groupes taxonomiques



Les spongiaires

Faible biodiversité de spongiaires avec seulement 9 espèces. Disparition totale de la cinquantaine d'individus présents sur le site entre mars et octobre 2011, signe d'une perturbation majeure du milieu. Début de recolonisation en mars 2012 par quelques espèces pionnières (*S. aurantiacus* ou *Haliclona sp.*).

Remarques

Les ascidies sont absentes de ce site. Une proportion importante des racines n'est pas colonisée ou occupée par des algues (+ de 50%). Les éponges sont faiblement représentées.



Pointe Merle - Génipa



Localisation du site

| Code ME | ME | Type DCE | Code Sandre / Q2 | X (WGS84 UTM 20N) | Y (WGS84 UTM 20N) |
|---------|-------------------------------|----------|------------------|-------------------|-------------------|
| FRJT004 | Mangrove de la baie de Génipa | Aucun | - | 714310 | 1610773 |

Description physique du site

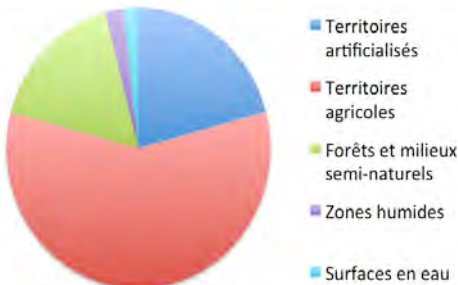
| Exposition | Profondeur | Largeur | Marnage | Substrat | Distance à l'herbier | Distance au récif | Longueur racines (moy) |
|------------|------------|---------|----------------|-----------|----------------------|-------------------|------------------------|
| Faible | 1 m | + 300 m | Faible (<50cm) | Vase fine | Quelques mètres | + 200 m | 83720 |

Physico-Chimie

| | Salinité | °C | pH | Saturation O ₂ | NO ₃ ⁻ (µmol l ⁻¹) | NO ₂ ⁻ (µmol l ⁻¹) | NH ₄ ⁺ (µmol l ⁻¹) | PO ₄ ³⁻ (µmol l ⁻¹) | Turbidité (FNU) |
|---------|----------|------|------|---------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------|
| Sèche | 34,22 | 27,3 | 8,23 | 98,99 | 0,77 | 0,18 | 0,3 | 0,05 | 1,09 |
| Humide | 31,83 | 28,4 | 8,3 | 84,77 | 1,13 | 0,09 | 1,41 | 0,17 | 8,1 |
| moyenne | 33,03 | 27,9 | 8,27 | 91,88 | 0,95 | 0,13 | 0,86 | 0,11 | 4,6 |

Anthropisation

Corinne Land Cover



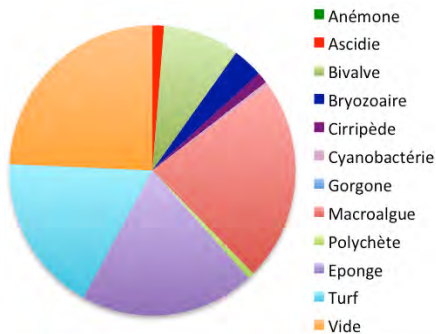
Remarques

Ce site est sous forte influence agricole. Plusieurs bassins versants se déversent à proximité du site dont le BV de Caleçon, celui de la Manche et de la rivière Salée. Au delà du bassin versant, ce site est localisé en fond de Baie de Fort de France. Quelques usages nautiques sont relevés (jet ski en particulier). La zone est cependant incluse dans une zone faisant l'objet d'une procédure de mise en réserve par le PNRM (projet de Réserve Naturelle Régionale de Génipa).

Indice = 3

Les épibiontes

Ensemble des groupes taxonomiques



Les spongiaires

Très forte biodiversité avec 23 espèces de spongiaires et une centaine d'individus présents sur le site. Les espèces les plus fréquentes sont : *Tedania ignis*, *Mycale microsigmatosa*, *Dysidea etheria*, *Haliclona caerulea* et *Spirastrella mollis* et une espèce probablement nouvelle *Haliclona sp2.* (en cours de description).

Remarques

On note la présence de toutes les catégories d'organismes sauf les anémones. Les occupations majoritaires sont les macroalgues et les éponges. Le turf est aussi largement représenté, tandis qu'environ 25 % de la surface racinaire n'est pas colonisée.



Baude



Localisation du site

| Code ME | ME | Type DCE | Code Sandre / Q2 | X (WGS84 UTM 20N) | Y (WGS84 UTM 20N) |
|---------|---------------|----------|------------------|-------------------|-------------------|
| FRJC010 | Baie du Marin | Aucun | - | 729350 | 1598330 |

Description physique du site

| Exposition | Profondeur | Largeur | Marnage | Substrat | Distance à l'herbier | Distance au récif | Longueur racines (moy) |
|------------|------------|---------|----------------|-----------|----------------------|-------------------|------------------------|
| Faible | 1m | 50 m | Faible (<50cm) | Vase fine | Quelques mètres | 200 m | 89716 |

Physico-Chimie

| | Salinité | °C | pH | Saturation O ₂ | NO ₃ ⁻ (µmol l ⁻¹) | NO ₂ ⁻ (µmol l ⁻¹) | NH ₄ ⁺ (µmol l ⁻¹) | PO ₄ ³⁻ (µmol l ⁻¹) | Turbidité (FNU) |
|---------|----------|------|-----|---------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------|
| Sèche | 35,9 | 27,2 | 8,1 | 92,1 | 0,4 | 0,09 | 0,31 | 0,05 | 1,5 |
| Humide | 32,98 | 28,3 | 8,1 | 87,2 | 0,68 | 0,06 | 0,88 | 0,24 | 4,97 |
| moyenne | 33,96 | 27,7 | 8,1 | 89,6 | 0,54 | 0,07 | 0,6 | 0,14 | 3,24 |

Anthropisation

Corinne Land Cover



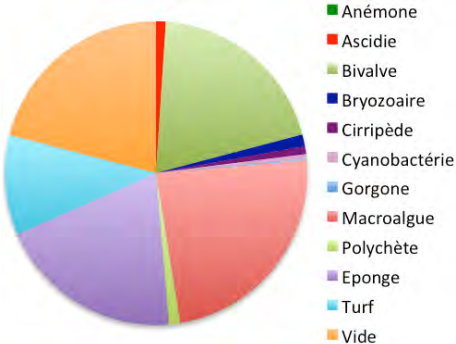
Remarques

Le bassin versant lié à cette zone reste peu anthropisé (environ 50% de « forêts et milieux semi-naturels »). Cependant, ce site est localisé à la sortie de la Baie du Marin, présentant l'un des ports de plaisance les plus importants des petites Antilles. Les pressions liées aux usages nautiques et aux activités en découlant (construction et entretien, eaux grises et noires...) sont importantes.

Indice = 3

Les épibiontes

Ensemble des groupes taxonomiques



Les spongiaires

Biodiversité moyenne avec 15 espèces. Les espèces les plus fréquentes sont *Tedania ignis*, *Mycale microsigmatosa*, *Haliclona implexiformis*, *Dysidea etheria* et *Suberites aurantiacus*.

Remarques

On note la présence de toutes les catégories d'organismes sauf les anémones. Les trois occupations majoritaires sont les macroalgues, les éponges, les bivalves. Près du quart des surfaces ne sont pas colonisées.



Pointe Marin



Localisation du site

| Code ME | ME | Type DCE | Code Sandre / Q2 | X (WGS84 UTM 20N) | Y (WGS84 UTM 20N) |
|---------|---------------|---------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| FRJC010 | Baie du Marin | Aucun / ROCCH | 08999406 125-P-031 | 728704 | 1598311 |

Description physique du site

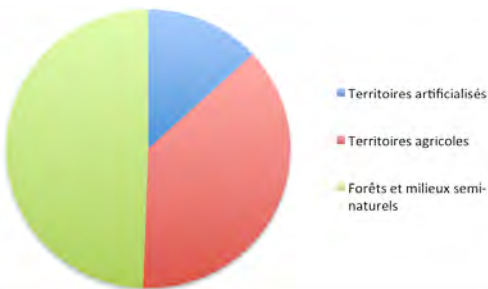
| Exposition | Profondeur | Largeur | Marnage | Substrat | Distance à l'herbier | Distance au récif | Longueur racines (moy) |
|------------|------------|---------|----------------|-----------------------------|----------------------|-------------------|------------------------|
| Forte | | 20 m | Faible (<50cm) | Vaso-argileux /sablo-vaseux | Quelques mètres | 200 m | 78'19 |

Physico-Chimie

| | Salinité | °C | pH | Saturation O ₂ | NO ₃ ⁻ (µmol l ⁻¹) | NO ₂ ⁻ (µmol l ⁻¹) | NH ₄ ⁺ (µmol l ⁻¹) | PO ₄ ³⁻ (µmol l ⁻¹) | Turbidité (FNU) |
|---------|----------|------|------|---------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------|
| Sèche | 35,87 | 26,5 | 8,2 | 94,85 | 2,1 | 0,3 | 3,74 | 0,31 | 1,47 |
| Humide | 31,83 | 27,3 | 8,06 | 81,79 | 3,08 | 0,1 | 2,04 | 1,47 | 3,87 |
| moyenne | 33,18 | 26,9 | 8,13 | 88,32 | 2,59 | 0,2 | 2,89 | 0,89 | 2,67 |

Anthropisation

Corinne Land Cover



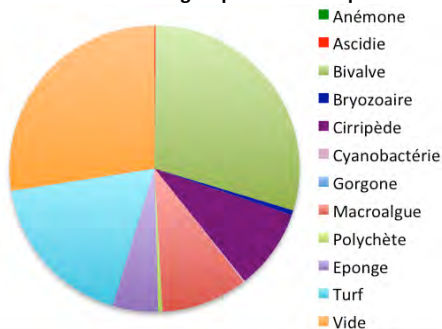
Remarques

Le bassin versant lié à cette zone reste peu anthropisé (environ 50% de « forêts et milieux semi-naturels »). Cependant, ce site est localisé à la sortie de la Baie du Marin, présentant l'un des ports de plaisance les plus importants des petites Antilles. Les pressions liées aux usages nautiques et aux activités en découlant (construction et entretien, eaux grises et noires...) sont importantes. Ce site se trouve également à l'embouchure d'une STEP.

Indice = 3

Les épibiontes

Ensemble des groupes taxonomiques



Les spongiaires

Biodiversité moyenne avec 13 espèces de spongiaires. Les espèces les plus fréquentes sont parmi les plus communes : *T. ignis*, *M. microsigmata*, *H. implexiformis* et *S. aurantiacus*.

Remarques

Les bivalves et le turf représentent les groupes majoritaires. On note également une présence importante de cirripèdes.



Grenade



Localisation du site

| Code ME | ME | Type DCE | Code Sandre / Q2 | X (WGS84 UTM 20N) | Y (WGS84 UTM 20N) |
|---------|------------------------------------|----------|------------------|-------------------|-------------------|
| FRJC006 | Littoral du Vaucelin à Sainte-Anne | Aucun | | 733486 | 1611607 |

Description physique du site

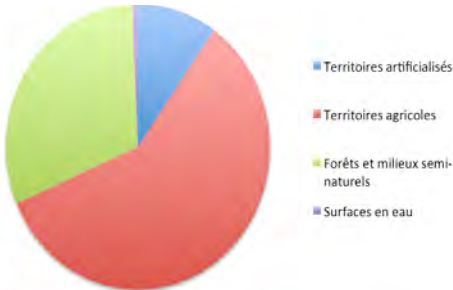
| Exposition | Profondeur | Largeur | Marnage | Substrat | Distance à l'herbier | Distance au récif | Longueur racines (moy) |
|------------|------------|---------|----------------|--------------|----------------------|-------------------|------------------------|
| Faible | | 5 m | Faible (<50cm) | Sablo-vaseux | Qq mètres | 100 m | 84714 |

Physico-Chimie

| | Salinité | °C | pH | Saturation O ₂ | NO ₃ ⁻ (µmol l ⁻¹) | NO ₂ ⁻ (µmol l ⁻¹) | NH ₄ ⁺ (µmol l ⁻¹) | PO ₄ ³⁻ (µmol l ⁻¹) | Turbidité (FNU) |
|---------|----------|------|------|---------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------|
| Sèche | 34,08 | 26,6 | 8,19 | 89,85 | 0,52 | 0,06 | 0,28 | 0,05 | 0,91 |
| Humide | 29,9 | 28,5 | 8,0 | 85,68 | 0,43 | 0,07 | 0,85 | 0,46 | 1,8 |
| moyenne | 31,99 | 27,5 | 8,09 | 87,77 | 0,47 | 0,06 | 0,56 | 0,26 | 1,36 |

Anthropisation

Corinne Land Cover



Remarques

Le bassin versant correspondant à ce site est largement sous influence agricole. Ce BV est très peu urbanisé (<7%). Les espaces naturels sont assez étendus.

Indice = 2

Les épibiontes

Ensemble des groupes taxonomiques



Les spongiaires

Biodiversité moyenne avec 16 espèces identifiées mais un grand nombre d'individus présents (entre 81 et 104 observations par campagne). Sur ce site plusieurs individus sont positionnés en sub-surface et sont exondés à très grande marée basse.

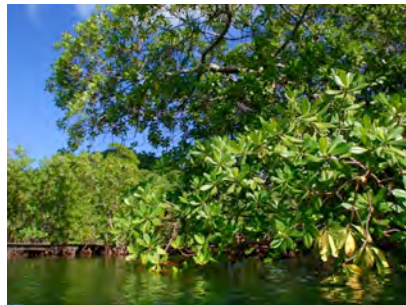
Les espèces les plus fréquentes sont : *T. ignis*, *M. microsigmata*, *H. caerulea*, *H. implexiformis* et *S. aurantiacus*.

Remarques

Les groupes d'organismes majoritairement représentés sont les bivalves les macroalgues et le turf. Un peu moins de 25% de la surface des racines reste vide.



Baie de Saintpée



Localisation du site

| Code ME | ME | Type DCE | Code Sandre / Q2 | X (WGS84 UTM 20N) | Y (WGS84 UTM 20N) |
|---------|---------------------------------|-------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| FRJC008 | Littoral du François au Vauclîn | Aucun ROCCH | 08999407 125-P-032 | 728138 | 1621913 |

Description physique du site

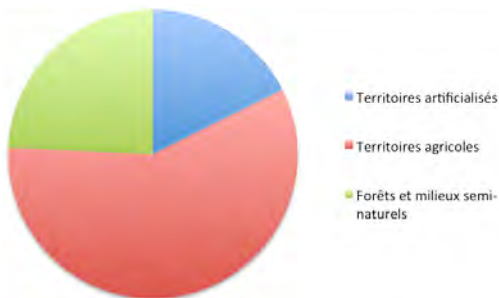
| Exposition | Profondeur | Largeur | Marnage | Substrat | Distance à l'herbier | Distance au récif | Longueur racines (moy) |
|------------|------------|---------|----------------|----------|----------------------|-------------------|------------------------|
| Faible | 80-140 cm | 20 m | Faible (<50cm) | Vaseux | Quelques mètres | 100 m | 97/28 |

Physico-Chimie

| | Salinité | °C | pH | Saturation O ₂ | NO ₃ ⁻ (µmol l ⁻¹) | NO ₂ ⁻ (µmol l ⁻¹) | NH ₄ ⁺ (µmol l ⁻¹) | PO ₄ ³⁻ (µmol l ⁻¹) | Turbidité (FNU) |
|---------|----------|------|------|---------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------|
| Sèche | 35,47 | 26,8 | 8,07 | 88,47 | 0,81 | 0,24 | 0,38 | 0,05 | 1,36 |
| Humide | 32,16 | 28,3 | 8,12 | 81,43 | 0,32 | 0,05 | 0,54 | 0,11 | 1,74 |
| moyenne | 33,96 | 27,6 | 8,09 | 84,95 | 0,56 | 0,14 | 0,46 | 0,08 | 1,55 |

Anthropisation

Corinne Land Cover



Remarques

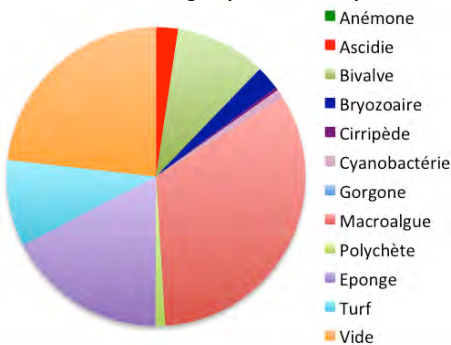
Le BV "visuel" de cette petite baie est très limité. Il est essentiellement naturel (forêt, mangrove, prairie) et ne présente que peu de pressions : quelques habitations et routes d'accès souvent simplement empierrées, quelques pontons de construction légère. La baie compte une vingtaine de mouillages, ainsi qu'un ponton et un baraquement de pêcheurs.

La zone d'étude subit cependant des pressions issues de l'ensemble du BV de la baie du Robert, ainsi que d'éventuels résidus venant des courants transverses provenant des BV voisins.

Indice = 2

Les épibiontes

Ensemble des groupes taxonomiques



Les spongiaires

Site de biodiversité moyenne (17 espèces identifiées) mais très forte présence des spongiaires avec en moyenne 122 observations par campagne.

Les espèces les plus fréquentes sont *T. ignis* et *M. microsigmatosa* puis *D. etheria*, *S. mollis* et *H. manglaris*.

Remarques

Les organismes majoritaires sont les macroalgues et les éponges.

Environ 25% de la surface racinaire n'est pas colonisée.

Les ascidies et bryozoaires sont plus présents qu'ailleurs, quoique toujours dans de faibles proportions.

Des gorgones sont présentes sur ce site.



Baie des Requins



Localisation du site

| Code ME | ME | Type DCE | Code Sandre / Q2 | X (WGS84 UTM 20N) | Y (WGS84 UTM 20N) |
|---------|---------------|-----------|------------------|-------------------|-------------------|
| MET | MET du Robert | Référence | 08999404 | 724775 | 1625187 |

Description physique du site

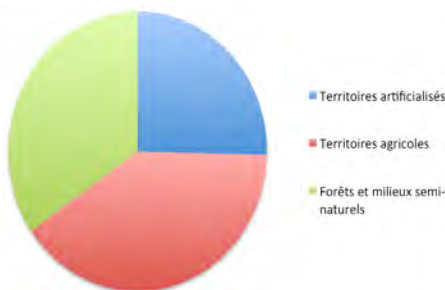
| Exposition | Profondeur | Largeur | Marnage | Substrat | Distance à l'herbier | Distance au récif | Longueur racines (moy) |
|------------|------------|---------|----------------|---------------------|----------------------|-------------------|------------------------|
| Modérée | 40-100 cm | 50 m | Faible (<50cm) | Vaseux/sablo-vaseux | Quelques mètres | 100 m | 85/25 |

Physico-Chimie

| | Salinité | °C | pH | Saturation O ₂ | NO ₃ ⁻ (µmol l ⁻¹) | NO ₂ ⁻ (µmol l ⁻¹) | NH ₄ ⁺ (µmol l ⁻¹) | PO ₄ ³⁻ (µmol l ⁻¹) | Turbidité (FNU) |
|---------|----------|------|------|---------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------|
| Sèche | 35,25 | 26,9 | 8,16 | 88,3 | 0,46 | ,17 | 0,29 | 0,07 | 1,4 |
| Humide | 33,37 | 29,4 | 8,16 | 90,7 | 0,1 | 0,04 | 0,31 | 0,07 | 0,79 |
| moyenne | 34,31 | 27,7 | 8,16 | 89,5 | 0,28 | 0,1 | 0,3 | 0,07 | 1,1 |

Anthropisation

Corinne Land Cover



Remarques

Le BV direct de la zone est réduit aux pentes de la baie des Requins, entre Pointe Savane et Bois Pothau (ZNIEFF). Il est constitué de zones naturelles principalement.

Le site de suivi est inclus dans le BV du Robert, qui fait près de 25 km² de surface. Il est majoritairement occupé par l'agriculture (presque 40 %) et des écosystèmes relativement naturels à plus de 34 %, avec néanmoins 25 % de territoire urbanisé.

Indice = 2

Les épibiontes

Ensemble des groupes taxonomiques



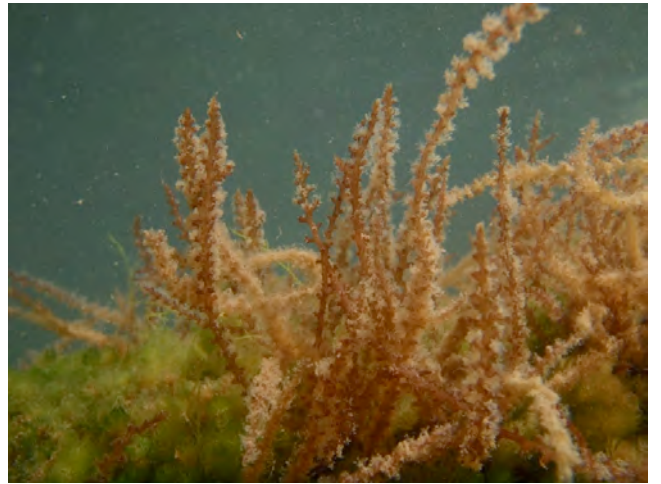
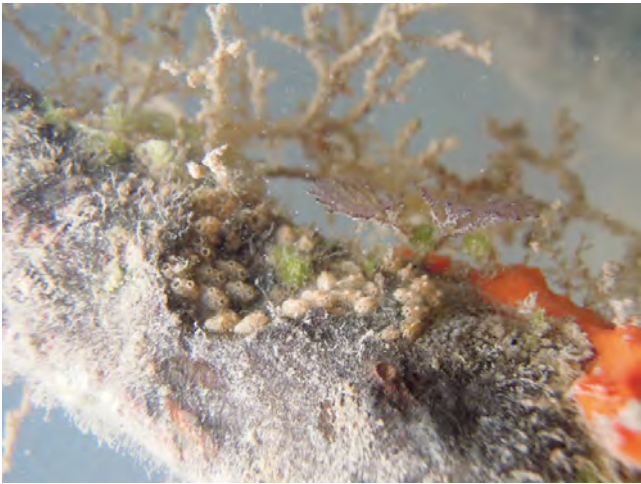
Les spongiaires

Un des sites les moins riches en spongiaires avec seulement 10 espèces identifiées et seulement 53 observations en moyenne par campagne.

Les espèces les plus fréquentes sont : *T. ignis*, *M. microsigmata*, *D. etheria* et *S. mollis*.

Remarques

Les macroalgues sont largement présentes sur ces racines. Environ 25% de la surface racinaire n'est pas colonisée.



Baie du Trésor



Localisation du site

| Code ME | ME | Type DCE | Code Sandre / Q2 | X (WGS84 UTM 20N) | Y (WGS84 UTM 20N) |
|---------|----------------|----------|------------------|-------------------|-------------------|
| FRJC013 | Baie du Trésor | Aucun | | 727880 | 1633596 |

Description physique du site

| Exposition | Profondeur | Largeur | Marnage | Substrat | Distance à l'herbier | Distance au récif | Longueur racines (moy) |
|------------|------------|---------|----------------|--------------|----------------------|-------------------|------------------------|
| Faible | | 50 m | Faible (<50cm) | sablo-vaseux | Quelques mètres | Quelques mètres | 98723 |

Physico-Chimie

| | Salinité | °C | pH | Saturation O ₂ | NO ₃ ⁻ (µmol l ⁻¹) | NO ₂ ⁻ (µmol l ⁻¹) | NH ₄ ⁺ (µmol l ⁻¹) | PO ₄ ³⁻ (µmol l ⁻¹) | Turbidité (FNU) |
|---------|----------|------|------|---------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------|
| Sèche | 35,4 | 27,8 | 8,07 | 90,17 | 0,93 | 0,05 | 0,26 | 0,05 | 0,61 |
| Humide | 32,6 | 29,0 | 8,18 | 84,25 | 0,25 | 0,05 | 0,34 | 0,09 | 1,85 |
| moyenne | 34,0 | 28,4 | 8,12 | 87,21 | 0,59 | 0,05 | 0,30 | 0,07 | 1,23 |

Anthropisation

Corinne Land Cover



- Territoires artificialisés
- Territoires agricoles
- Forêts et milieux semi-naturels
- Surfaces en eau

Remarques

Le BV direct de cette petite baie isolée est limité. Il est composé d'une ZNIEFF terrestre (morne Pavillon) et d'une réserve naturelle (RNN de la Caravelle).

L'ensemble de la presqu'île de la Caravelle (16 km²) est principalement constitué de zones naturelles (plus des deux tiers), tandis que 20% sont des terres agricoles et un peu plus de 12 % du tissu urbain, principalement représenté par la commune de la Trinité et le bourg de Tartane, au nord de la presqu'île.

Cependant la zone subit aussi les pressions issues de la rivière du Galion qui draine un large BV sur les communes de Trinité et Gros Morne et dont les polluants drainés sont nombreux.

Indice = 1

Les épibiontes

Ensemble des groupes taxonomiques



- Anémone
- Ascidie
- Bivalve
- Bryozoaire
- Cirripède
- Cyanobactérie
- Gorgone
- Macroalgue
- Polychète
- Eponge
- Turf
- Vide

Les spongiaires

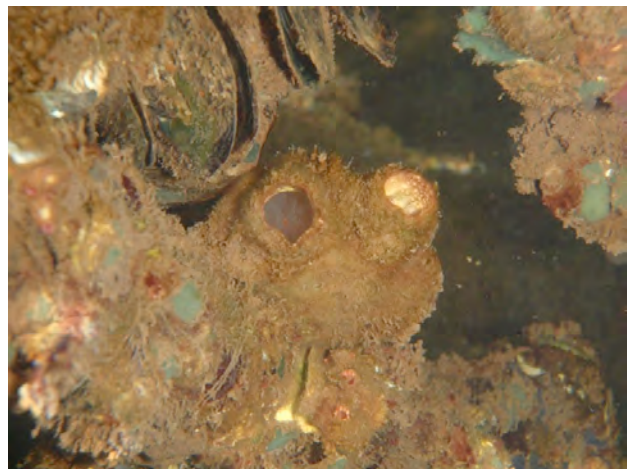
Site le plus diversifié en spongiaires, avec pas moins de 26 espèces identifiées. En moyenne presque 100 observations à chaque campagne.

Les espèces les plus fréquentes sont : *T. ignis*, *S. mollis*, *H. manglaris*, *M. microsigmatosa* et dans une moindre mesure *Tethya actinia*, *Chelonaplysilla erecta* et *D. etheria*. On note aussi la présence d'espèces coralliennes ou non spécifiques à la mangrove.

Remarques

Les macroalgues sont largement présentes sur ces racines.

Environ 25% de la surface racinaire n'est pas colonisée.



D. Discussion

La Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) établit un cadre pour la protection de l'ensemble des eaux des pays européens. Les objectifs environnementaux de la DCE pour toutes les ME de surface sont (Article 4) :

- prévenir la détérioration de l'état de toutes les masses d'eau de surface ;
- protéger, améliorer et restaurer afin de parvenir à un « bon état » des eaux de surface au plus tard en 2015 ;
- mettre en œuvre les mesures nécessaires afin de réduire progressivement la pollution due aux substances prioritaires et d'arrêter ou de supprimer progressivement les émissions, les rejets et les pertes de substances dangereuses prioritaires.

Dans ce contexte, il est nécessaire de mieux connaître les écosystèmes marins pour évaluer l'évolution de l'état des ME. La DCE et notamment les guides méthodologiques qui s'y rapportent sont souvent basés sur les conditions et milieux littoraux d'Europe. L'application de la DCE au milieu tropical martiniquais requiert donc la définition et / ou l'ajustement des critères choisis pour définir l'état écologique des ME.

Depuis 2005, 23 ME littorales réparties en 8 types ont été délimitées en Martinique (Asconit Consultants & Impact Mer 2005a). Des suivis des communautés benthiques des herbiers et récifs sont menés depuis 2007 sur le pourtour de l'île afin d'en déterminer l'état de santé. Dans les MET, seule l'endofaune contenue dans les sédiments meubles de mangrove a été étudiée jusqu'à présent. Les mangroves représentent cependant un écosystème important en Martinique et requièrent une attention toute particulière.

C'est dans ce contexte que s'est inscrite la présente étude. Le but était de mieux appréhender les communautés fixées sur les racines de palétuvier et de discriminer si possible des indicateurs d'état de santé des mangroves pour compléter la liste des paramètres mesurés dans le cadre de la DCE et ainsi affiner la perception des états écologiques des masses d'eaux martiniquaises.

1 Inventaire des spongiaires

Le protocole mis en place a permis d'obtenir une bonne description des espèces de spongiaires présentes dans les mangroves de Martinique. La répartition des sites et les longueurs de frange littorale échantillonnées étaient suffisantes pour recenser les espèces les plus communes et les espèces rares, comme cela était recommandé par Diaz *et al.*, 2004. Au total 47 espèces ont été observées. Les analyses statistiques de biodiversité laissent penser que la richesse spécifique de l'ensemble des mangroves en Martinique pourrait atteindre environ 51 espèces. Même si le présent inventaire n'est pas exhaustif, il a tout de même permis d'obtenir une très bonne représentation des spongiaires présents dans les mangroves de l'île.

Avec l'accord du Maître d'Ouvrage, les échantillons récoltés pour les analyses en laboratoire et conservés dans l'éthanol, seront déposés au Muséum National d'Histoire Naturelle et composeront la collection de référence des « Spongiaires de mangrove de Martinique ». Les lames ayant servi aux observations du squelette seront également déposées pour d'éventuelles études taxonomiques ultérieures.

Note : La description des espèces est présentée dans un document annexe sous la forme d'un atlas illustré (Impact Mer & Ginger Environnement 2012b).

2 Les communautés d'épibiontes de racines de palétuviers

2.1 L'ensemble des groupes taxonomiques

En Martinique, les racines de palétuviers présentent des communautés riches et variées. De nombreux organismes ont pu être identifiés, parmi lesquels des représentants des groupes suivants : éponges, macroalgues, vers, bivalves, cirripèdes, ascidies, bryozoaires, cyanobactéries... Guerra-Castro *et al.* 2011a ont dénombré 115 espèces sur les racines de palétuviers au Venezuela et suggèrent d'après leur modèle que la diversité totale de la région pourrait être de 285 espèces. Dans la Caraïbe, plus de 500 espèces d'invertébrés et d'algues ont été identifiées dans ces écosystèmes (Farnsworth & Ellison 1996, Rocha *et al.* 2010). Ici la détermination s'est faite seulement au niveau du groupe (sauf pour les spongiaires) et aucune étude taxonomique plus précise n'a été conduite en Martinique à ce jour. Il faut cependant noter que de nombreuses espèces ont pu être identifiées (observations personnelles) et que des études complémentaires permettraient de mieux appréhender la richesse spécifique des mangroves martiniquaises. De nombreuses inconnues

subsistent concernant les épibiontes des mangroves et la plupart des travaux menés montrent que dès qu'une attention particulière est donnée à cet habitat, de nouvelles espèces sont découvertes (Díaz *et al.* 2004).

Les groupes majoritaires observés étaient les macroalgues, le "turf", les éponges et les bivalves. Les macroalgues sont les organismes les plus représentés. Des études menées ailleurs dans la Caraïbe ont montré que sur les côtes du Belize, les éponges étaient les organismes dominants, suivies par les anémones, les ascidies et les algues (Díaz *et al.* 2004, Farnsworth & Ellison 1996).

Peu d'anémones ont été observées durant ce suivi, mais certaines étaient cependant situées en dehors des points d'échantillonnage. D'autres groupes tels que les gorgones ont été rencontrés de manière sporadique, principalement dans les sites présentant la plus faible turbidité et la plus grande proximité aux milieux connexes, récifs coralliens et herbiers.

Une forte variabilité entre les sites mais également entre les racines d'un même site a été notée. Cette forte hétérogénéité intra site avait déjà été décrite dans l'ensemble des travaux menés dans la Caraïbe (Alvarez 1989, Bingham 1992, Calder 1991a, Díaz & Rützler 2009, Díaz *et al.* 2004, Guerra-Castro *et al.* 2011b, Rützler 1969, Sutherland 1980). Elle est souvent attribuée à des facteurs environnementaux (houle, marées, luminosité...) ou biologiques (production larvaire), à l'abondance des racines, à la compétition intra et interspécifique et à la prédation (Ellison & Farnsworth 1996, Farnsworth & Ellison 1996, Rützler 1995, Rützler *et al.* 2000, Wulff 2000).

2.2 Les éponges

Le suivi des épibiontes de mangrove a permis de dénombrer et décrire 47 espèces de spongiaires appartenant à cet écosystème bien particulier. La richesse spécifique des spongiaires de mangroves en Martinique est importante comparativement aux études réalisées ailleurs dans la Caraïbe : au Belize entre 20 et 54 espèces ont été répertoriées (Díaz *et al.* 2004, Farnsworth & Ellison 1996, Rützler *et al.* 2000), 22 espèces à Curaçao et Aruba (Hunting *et al.* 2008), 36 espèces au Panama (Guerra-Castro *et al.* 2011b), et entre 27 et 33 espèces au Venezuela (Guerra-Castro *et al.* 2011b). Cependant, les occurrences de spongiaires en comparaison des autres organismes (4-22%) semblent faibles en Martinique. D'autres études menées dans la Caraïbe ont montré que les éponges pouvaient représenter entre 10 et 70% de la diversité des épibiontes sur les racines submergées (Díaz & Rützler 2009).

En général la composition de la communauté de spongiaires de mangrove diffère de celle des récifs coralliens avoisinants (Hunting *et al.* 2008). Pourtant ici la majorité des espèces identifiées (75%) sont ubiquistes (généralistes). Seules 8 espèces sont caractéristiques des mangroves et elles ne font pas partie des espèces les plus fréquemment observées ni des plus abondantes. Elles sont toutes absentes du site Requins et très peu représentées sur le site Baude. Elles sont par contre très présentes dans les sites Trésor, Merle et Grenade. Ces espèces caractéristiques de mangrove sont peu fréquentes mais sont préférentiellement présentes dans les sites subissant peu de pression.

Sur les 47 espèces observées, seules 4 espèces sont généralement inféodées à d'autres milieux que la mangrove, principalement aux récifs coralliens (Tableau 1). Elles sont peu représentées et leur présence est anecdotique ce qui confirme leur « inadaptation » à cet écosystème calme et turbide qui diffère beaucoup de leur écosystème de prédilection. Sauf pour l'espèce *Tedania klausii* qui est généralement absente des sites de mangrove (Díaz *et al.* in prep., et Wulff 2006) et qui est ici retrouvée dans 4 sites de mangroves mais reste peu abondante. Ces données diffèrent légèrement des autres données acquises dans la Caraïbe, ce qui prouve que chaque région a ces particularités et qu'il faut adapter l'outil aux conditions environnementales locales.

Tableau 36 : Préférence de biotopes des espèces d'éponges inventoriées.

| Milieux de prédilection | Nombre d'espèces | Nom des espèces |
|--------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Espèces caractéristiques de mangrove | 8 | <i>Chondrilla caribensis</i> , <i>M. americana</i> , <i>Lyssodendoryx spinulosa</i> , <i>Callyspongia pallida</i> , <i>Haliclona smithae</i> , <i>Darwinella rosacea</i> , <i>Haliclona sp2</i> et <i>sp3</i> |
| Espèces Généralistes | 35 | <i>T. ignis</i> , <i>M. microsigmatosa</i> , <i>Spirastrella mollis</i> , <i>Haliclona implexiformis</i> , <i>Dysidea etheria</i> , <i>Suberites aurantiacus</i> , <i>Mycale angulosa</i> , <i>Desmapsamma anchorata</i> , <i>H. manglaris</i> , <i>H. caerulea</i> , <i>Chalinula molitba</i> , <i>Tethya actinia</i> , <i>Clathria venosa</i> , <i>H. tubifera</i> , <i>H. vermeuleni</i> , <i>H. curacaoensis</i> , <i>Halichondria magniconulosa</i> , <i>Scopalina ruetzleri</i> , <i>Chelonaplysilla erecta</i> , <i>M. laevis</i> , <i>M. laxissima</i> , <i>Amphimedon compressa</i> , <i>Niphates erecta</i> , <i>Ircinia strobilina</i> , <i>Haliclona piscaderaensis</i> , <i>Oceanapia nodosa</i> , <i>Spongia pertusa</i> , <i>S. tubulifera</i> , <i>Amphimedon erina</i> , <i>Niphates caycedoi</i> , <i>Biemna caribea</i> , <i>Clathria schoenus</i> , <i>M. magniraphidifera</i> , <i>M. carmigrapila</i> , <i>Terpios manglaris</i> |
| Espèces préférant d'autres milieux | 4 | <i>Placospongia intermedia</i> , <i>Neopetrosia carbonaria</i> , <i>Chelonaplysilla betinensis</i> , <i>Tedania klausii</i> |

Seules 2 espèces sont omniprésentes et largement dominantes dans tous les sites (*T. ignis* et *M. microsigmatosa*). Leur répartition au sein des différents sites ne semble pas relative à la qualité de la masse d'eau.

6 autres espèces sont fréquentes et abondantes (moyennement à très abondante) (*Dysidea etheria*, *Haliclona implexiformis*, *Spirastrella mollis*, *H. manglaris*, *Suberites aurantiacus* et *Mycale angulosa*). Ces observations sont concordantes avec les résultats obtenus lors d'études similaires au Panama (Díaz & Rützler 2009). Les spongiaires dominants ont probablement une dynamique de population (taux de recrutement, croissance, reproduction) plus important que les autres espèces (Díaz & Rützler 2009, Wulff 2006).

Ces espèces les plus fréquentes sont très peu présentes au site Cohé, niveau de pression 4. L'absence de ces espèces fréquentes pourrait être informative quant à la qualité de la masse d'eau.

Sept espèces sont moyennement fréquentes (présentes dans 4 à 5 sites en Martinique) et peu à moyennement abondantes. Douze espèces sont peu fréquentes (présentes dans 2 ou 3 sites seulement) et généralement peu abondantes. Une vingtaine d'espèces sont rares autant par leur fréquence d'apparition (dans un seul site) que par leur abondance (1 à 6 occurrences maximum). Parmi ces dernières on trouve pourtant des espèces caractéristiques de l'habitat mangrove (d'après Diaz *et al.*, 2004 et *in prep.*).

La répartition des espèces rares, majoritairement présentes au site Trésor (niveau de pression 1), indiquerait donc une bonne qualité des eaux.

La variabilité spécifique entre les sites étudiés est souvent mise en évidence dans la littérature (Díaz *et al.* 2004, Hunting *et al.* 2008, Rützler *et al.* 2000, Wulff 2004). La diversité des spongiaires de mangrove d'une même région biogéographique (à l'échelle d'une île) est très hétérogène. La **dynamique larvaire** est le facteur duquel résulterait principalement la distribution spatiale des épibiontes (Bingham 1992, Farnsworth & Ellison 1996, Sutherland 1980). Ainsi, les résultats de Farnsworth & Ellison 1996 montrent que le **stock larvaire** peut influencer la composition en épibiontes à une **échelle de temps courte** et à une **échelle spatiale petite ou très grande**. Les **facteurs physiques** ont un impact sur le **long terme** et à une **échelle spatiale intermédiaire**. Cette hypothèse seule ne semble pas pouvoir expliquer les variations observées. En effet, des sites proches (recevant probablement les mêmes apports larvaires) dans une même baie (Fort de France, Marin et Robert) sont très différents en termes d'abondance, de richesse spécifique et de composition. D'autres facteurs écologiques intrinsèques à chaque espèce, comme la fréquence et la période de reproduction, le succès de la fixation, le taux de croissance, la résistance face aux agressions du milieu (prédation, maladie) etc. jouent un rôle essentiel dans la dynamique des peuplements de spongiaires (Díaz & Rützler 2009). La variabilité de richesse spécifique peut aussi être due à des composantes environnementales (climat, hydrodynamisme, qualité physico-chimique des eaux etc.) ou à une combinaison de facteurs. L'établissement de préférences écologiques en relation avec les conditions physico-chimiques avec chaque site n'est cependant pas évident.

L'origine de la disparition des spongiaires survenue entre mars et novembre 2011 sur le site Cohé n'a pas été identifiée précisément mais des hypothèses ont été émises. Le phénomène a eu lieu entre les échantillonnages des campagnes 2 et 3, probablement peu de temps après la campagne 2 puisque même les restes des squelettes de spongiaires avaient disparu. L'épisode semble avoir été ponctuel puisque la recolonisation a pu commencer quelques mois plus tard, d'après les observations de la campagne 4. Puisque le phénomène n'était pas d'origine mécanique (pas de casse observée) il pourrait être d'origine chimique. De multiples causes (ou une conjonction de plusieurs facteurs) peuvent être avancées : très forte pluie, important ruissellement, pollution, prédation etc. Il est plus probable, compte tenu de l'ampleur du phénomène, qu'il s'agisse d'un phénomène de pollution, d'eutrophisation ou d'anoxie importante de la masse d'eau. L'embouchure de la rivière Lézarde, localisée à moins de 500 mètres du site d'étude ou la zone d'activité située à moins d'1 km au nord sont quelques unes des nombreuses sources potentielles de pollution en cas de forte pluie et de lessivage des sols.

2.3 Zonation verticale

Une zonation verticale a pu être mise en évidence sur les racines de palétuviers. Bien que certaines différences soient observées entre les sites étudiés, on note que cette zonation est similaire pour l'ensemble des stations. Les bivalves se situent entre 0 et 90 cm de profondeur, avec un pic entre 15-35 cm de profondeur. Les cirripèdes sont également surtout présents dans la partie haute de la racine, majoritairement de 0 à 45 cm. Les éponges, le turf et les macroalgues semblent être plus opportunistes et sont présents sur l'ensemble de la racine, étant parfois les seules espèces présentes en milieu profond. Quelques polychètes ont pu être observés entre 15 cm et 1 m. Cette zonation semble coïncider avec les descriptions faites dans la littérature (Figure 75).

Des zonations au niveau spécifique ont déjà été soulignées, c'est le cas notamment de certaines éponges (Hunting *et al.* 2008).

Les spongiaires observés ici sont majoritairement localisés entre 30 et 100 cm de profondeur. Certaines espèces (*T. ignis*, *S. mollis*, *H. implexiformis*) ont été exceptionnellement observées à l'air libre en cas de grande marée basse, donc situées juste en dessous du zéro biologique. Certaines espèces peuvent être exondées ponctuellement quelques minutes à quelques heures sans subir de dommage physiologique. Les éponges localisées plus en profondeur sur les racines, dépendent grandement de la taille des racines et donc de la topographie du site, en effet peu de sites atteignent une profondeur supérieure à un mètre au niveau de la frange littorale des racines de palétuviers. Les sites dits « profonds » sont surtout Saintpée et par endroits Trésor, Baude et Grenade. Il n'est alors pas rare d'observer des spongiaires plus en profondeur. Certaines espèces comme *Suberites aurantiacus* ou *Dysidea etheria* sont parfois localisées dans le sédiment au pied des racines de palétuviers (sur les sites Marin et Cohé notamment). Deux espèces plutôt originaires des récifs coralliens (*Placospongia intermedia* et *Neopetrosia carbonaria*) sont également localisées au pied des racines de palétuviers (entre racines fixées et sédiment), mais l'observation ne porte que sur un individu de chaque espèce.

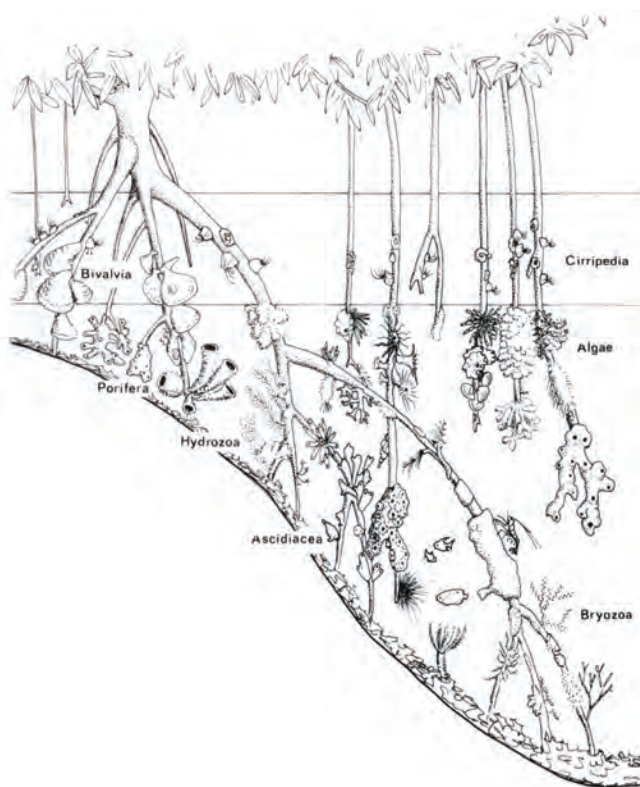


Figure 75 : Exemple d'étagement vertical des épibiontes sur des racines de palétuviers (Extrait de Hunting *et al.* 2008)

2.4 Nature des racines

Les communautés d'épibiontes présentes dans les mangroves sont dépendantes des substrats sur lesquels elles se fixent. Divers paramètres propres à la nature des racines de palétuviers peuvent influencer la fixation et le développement des invertébrés et de la flore marine. Ainsi, les racines aériennes, moins accessibles aux prédateurs, abritent plus d'espèces que les racines au contact du fond (Ellison & Farnsworth 1992). Cependant, les tests statistiques menés sur les groupes de taxons et la typologie des racines (aérienne ou fixe) n'ont montré une différence que pour les deux sites de Cohé et Marin. Des prédateurs vagiles tels que des oursins, des holothuries et des étoiles, ou des crustacés (crabes et crevettes) ont néanmoins été observés occasionnellement, en plus de l'ichtyofaune omniprésente.

D'autres paramètres tels que la longueur des racines sont connus pour conditionner le développement de certains organismes. Ainsi, cette longueur est connue pour influencer la composition spécifique et l'abondance relative des hydrides (Calder 1991a, b). Les sites échantillonnés sont hétérogènes. Les racines avec moins d'éponges sont les plus courtes et les plus riches sont les plus longues dans chaque site. Du fait des différences de longueur de racines sur l'ensemble des sites, ce paramètre n'a pas pu être pris en considération

dans les analyses statistiques. Ceci implique qu'il faille discuter l'ensemble des résultats avec précaution, ne sachant pas dans quelle mesure ce paramètre peut influencer les communautés d'épibiontes.

Le dernier paramètre propre aux racines de palétuviers pouvant conditionner le développement des organismes est la quantité de tannins présente dans les racines (Hunting *et al.* 2008). *Rhizophora mangle* peut concentrer dans ses racines une quantité variable et parfois élevée de tannins (Basak *et al.* 1996), lesquels possèdent des propriétés antimicrobiennes et anti-herbivores. Hunting *et al.* 2008 suggèrent que ces tannins pourraient avoir un impact sur la distribution des espèces à l'échelle locale. Ils montrent que la concentration en tannins est significativement plus élevée sur les racines recouvertes d'éponges que sur celles n'en possédant pas. Plusieurs hypothèses sont avancées pour expliquer ce phénomène : les tannins seraient une source de carbone pour les éponges qui en bénéficieraient *via* les racelles intrusives du palétuvier ; les tannins modifieraient les propriétés physico-chimiques de la surface du substrat et favoriseraient ainsi la fixation des larves d'éponges. Des études plus approfondies sur le sujet doivent cependant être menées. Ce facteur non mesuré ici pourrait avoir une implication particulière dans la distribution des épibiontes sur les sites sélectionnés.

2.5 Saisonnalité

Afin de déterminer d'éventuelles variations saisonnières des communautés présentes sur les racines de palétuviers, ces dernières ont été échantillonnées pendant 4 campagnes de novembre 2010 à mars 2012. Les résultats de cette étude ne semblent pas montrer de variabilité saisonnière pour l'ensemble des organismes échantillonnés. Les expériences menées par Sutherland 1980) suggèrent que le recrutement des organismes de mangrove à Bahia de Buche (Venezuela) n'est pas saisonnier. Le recrutement semble plutôt être un processus plus ou moins constant pour chaque espèce. De plus, les communautés observées sur les panneaux fixés par Sutherland 1980 ne présentaient que très peu de changement après 6 mois sauf pour *Isognomon alatus*. Cependant, d'autres travaux ont montré des variations temporelles très fortes (Bingham & Young 1995). L'étude des épibiontes demeure délicate en raison des nombreux facteurs environnementaux pouvant influencer leurs répartition/composition sur le court et moyen terme. Ainsi, Bingham & Young 1995 préconisent de réaliser des suivis des communautés d'épibiontes (composition/abondance spécifique) avec un pas de temps court (1-2 mois). Au delà, les résultats de l'échantillonnage peuvent être biaisés et donner une fausse image de la dynamique des populations.

Pour se détacher de cette contrainte, de nombreux auteurs utilisent des structures artificielles pour étudier les peuplements benthiques fixés (Jacobi & Langevin 1996, Lamberti & Resh 1985). Cette technique présente l'avantage de permettre le contrôle des variations environnementales et de standardiser à la fois le support de colonisation et le temps d'échantillonnage dans des sites d'étude donnés. Dans les mangroves, des substrats artificiels sont utilisés pour étudier : le recrutement des épibiontes (Bingham & Young 1995, Sutherland 1980) ; la colonisation des macroalgues (Eston *et al.* 1992), des épibiontes et de la méiofaune (Gwyther & Fairweather 2002), l'influence de la communauté épibiontique sur les poissons (MacDonald *et al.* 2008).

La saison, même si elle n'influence pas les peuplements épibiontes, est cependant un facteur à prendre en compte dans ce type d'étude (en termes de conditions d'observation et d'étude). En effet les difficultés à échantillonner les sites lors des saisons pluvieuses ont été relevées dès la première campagne. Les conditions de visibilité sont alors très réduites par la couche d'eau douce de surface et l'eau turbide et induisent un biais dans les observations. Il est donc fortement recommandé pour les futurs suivis d'imposer une période d'observation en saison sèche.

3 Les paramètres physico-chimiques

La température varie entre les saisons sèches et humides, étant plus forte en saison humide. Ceci est cohérent avec les variations saisonnières dans les Antilles. D'une manière générale, les variations entre sites pour ce paramètre sont faibles.

La salinité est quant à elle moins élevée pendant la saison humide. Durant cette saison, les pluies diluviennes qui frappent la Martinique entraînent un apport en eaux douce considérable dans les mangroves et une dilution non négligeable des eaux de mer (et par conséquent de la salinité) dans la frange littorale. D'une manière générale, la salinité varie très peu entre les sites, bien que les apports en eau douce des bassins versants soient différentiels (bassins versants plus ou moins importants, localisation géographique plus ou moins soumise aux pluies). Dans les mangroves, la richesse spécifique et l'abondance des épibiontes diminuent lorsque l'écosystème subit des variations de salinité et de température (de Oliveira Dias Alves Corrêa & Sanches Uieda 2008, Toffart 1980). La salinité semble être un facteur limitant pour beaucoup d'organismes fixés (éponges, polychètes : Londoño-Mesa *et al.* 2002, etc). L'« homogénéité » des températures et salinités mesurées aux différents sites permet d'écarter ces facteurs dans les divergences observées entre les peuplements.

Le pH varie entre 7,87 et 8,41 sur les sites échantillonnés, ce qui est en accord avec des valeurs trouvées dans la littérature : entre 7 et 8,13 dans les mangroves de Curaçao et Aruba en saison sèche (Hunting *et al.* 2008).

Les valeurs de pourcentages extrêmes en oxygène dissous ont été mesurées entre 62,33% (Cohé, campagne 3) et 105 % (Merle, campagne 4). D'une manière générale, les valeurs mesurées lors de la campagne 3 sont les plus faibles. L'apport important en sédiments et nutriments venus des bassins versants, les vents moins forts et les températures plus élevées en saison sèche pourraient expliquer ces faibles valeurs. Dans la littérature, les pourcentages en oxygène dissous dans les mangroves de Curaçao et Aruba en saison sèche sont compris entre 76 et 106 %, ce qui correspond aux valeurs notées ici à la même saison (entre 88,3 et 98,98% en moyenne).

Les concentrations en DIN (Ammonium+Nitrates+Nitrites) varient entre 0,7 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ (0,27 mg.l^{-1}) et 5,7 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ (2,21 mg.l^{-1}) en moyenne sur l'ensemble des campagnes pour les sites de Baie des Requins et Marin respectivement. Les valeurs de DIN mesurées sont pour la plupart équivalentes aux mesures faites par Hunting *et al.* 2008 qui avaient trouvé entre 0 et 1,1 mg.l^{-1} . Toutes les valeurs mesurées durant la présente étude sont inférieures à 1,1 mg.l^{-1} , sauf pour le site du Marin où les taux sont deux fois plus élevés. Ce site est localisé dans la baie du Marin à proximité d'un émissaire de STEP, ce qui pourrait expliquer les différences importantes observées. Ce résultat, correspondant à une moyenne sur l'ensemble des données, doit être atténué par le fait que les valeurs mesurées présentent de forts écart-types et sont ponctuelles. Les valeurs de phosphates semblent également plus importantes à Pointe Marin. Les concentrations en nutriments pourraient expliquer certaines observations faites au niveau des épibiontes. En effet, la distribution des épibiontes animaux, qui sont majoritairement des suspensivores, dépend de la charge en particules organiques (Toffart 1980). Parallèlement la richesse spécifique des éponges diminue quand l'eutrophisation augmente (Hunting *et al.* 2008).

La turbidité est connue pour influencer les peuplements d'épibiontes. Lorsque le milieu est turbide ces peuplements sont très pauvres en espèces. Par exemple, au Venezuela, seuls quelques individus de *Crassostrea rhizophorae* et d'autres bivalves, et peu d'algues et d'éponges ont été observés (Lacerda 2002). Ici, la turbidité varie entre 0,33 FNU à Trésor (campagne 1) et 16,67 FNU à Cohé (campagne 3), avec une majorité des données entre 0,3 et 3 FNU. Les variations semblent être corrélées avec de forts épisodes de pluie de la saison humide.

Les analyses statistiques réalisées sur ces paramètres n'ont montré aucune corrélation entre les mesures de physico-chimie et les éponges, et seulement deux corrélations entre l'ensemble des groupes taxonomiques et les phosphates et la turbidité. Mais ces corrélations ne semblent pas expliquer les différences observées entre les sites du Marin et de Cohé.

4 Méthodologies de suivi des sites : pertinence et propositions

4.1 Stations d'échantillonnage

Huit stations ont été échantillonnées sur les deux côtes lors du suivi. Ces stations ont été sélectionnées en accord avec le maître d'ouvrage pour réaliser un premier diagnostic et répondre aux attentes de la DCE. Ces sites sont présents dans des baies à fortes pressions anthropiques (Baies de Fort de France, Baie du Marin, Baie du Robert) ou peu impactées (Baie du Trésor et Cul-de-Sac Petite Grenade). Ce premier travail visait à obtenir une image globale des mangroves en Martinique et des effets que pouvaient avoir les pressions anthropiques sur les peuplements d'épibiontes, afin de déterminer des bioindicateurs. Cette sélection de site diversifiée a donc permis d'avoir une vision à l'échelle de l'île. Cependant, il faut noter que la présence des épibiontes est connue pour varier fortement avec les conditions environnementales. Par exemple, l'abondance et la distribution des éponges et des algues dans les mangroves ont été reliées avec des facteurs environnementaux tels que l'intensité lumineuse, la température, le marnage, les impacts de vagues, l'exposition à l'air et la sédimentation (Rützler 1995).

Divers paramètres environnementaux et biologiques pourraient donc influencer les communautés benthiques (Tableau 37).

Tableau 37 : Synthèse des conditions de milieu des sites de suivi.

| Côte | Site | Exposition | Profondeur | Marnage | Substrat | Distance à l'herbier |
|------------|------------------|------------|------------|----------------|------------------------------|----------------------|
| Caraïbe | Cohé du Lamentin | Faible | 40-80 cm | Faible (<50cm) | Vase fine argileuse | Quelques mètres |
| | Pointe Merle | Faible | 1 m | Faible (<50cm) | Vase fine | Quelques mètres |
| | Baude | Faible | 0,8-1,20 m | Faible (<50cm) | Vase fine | Elevée, non connue |
| | Pointe Marin | Elevée | 80 cm | Faible (<50cm) | Vaso-argileux / sablo-vaseux | Quelques mètres |
| Atlantique | Grenade | Faible | 0,8-1,20 m | Faible (<50cm) | Sablo-vaseux | Quelques mètres |
| | Saintpée | Faible | 0,8-1,50 m | Faible (<50cm) | Vaseux | Quelques mètres |
| | Baie des Requins | Modérée | 0,8-1,20 m | Faible (<50cm) | Vaseux/sablo-vaseux | Quelques mètres |
| | Baie du Trésor | Faible | 0,6-1 m | Faible (<50cm) | sablo-vaseux | Quelques mètres |

• **La distance à la côte** : la richesse spécifique augmente avec la distance à la côte (notamment la communauté algale d'après Rodriguez & Stoner 1990). Toutes les franges de mangroves étudiées ne présentent pas les mêmes largeurs, et certaines racines échantillonnées sont loin des côtes comparées à d'autres. Cette première sélection large de sites permet de renseigner au mieux sur la diversité, cependant, dans un souci de recherche de bioindicateurs, il serait préférable contrôler autant que possible ce facteur.

• **L'exposition à la houle** : les racines de *Rhizophora mangle* sont connues pour protéger les côtes de la houle. En Martinique, les mangroves sont développées sur les côtes Atlantique et Caraïbe dans des baies plus ou moins abritées. Ainsi, les sites de Cohé du Lamentin et de Pointe Merle (Génipa) sont abrités au fond de la baie de Fort de France, le site de Baude est très enclavé dans sa baie, le site de Grenade, localisé sur la côte Atlantique est cependant protégé par sa presqu'île au vent et se situe de plus derrière la barrière de corail qui limite les impacts de la houle, tout comme le sont les sites de Saintpée, Requins et Trésor, en plus d'être localisés en fond de baies. Seul le site de Marin est exposé aux alizés d'est nord-est. Bien que ces sites ne soient pas dans des zones sujettes à la forte houle, ils sont soumis à des pressions occasionnelles telles que les cyclones et tempêtes. Cela n'est pas forcément préjudiciable à certains groupes taxonomiques, car comme le montre Calder 1991b, les hydraires ont une diversité et une richesse spécifique plus importantes dans les lieux exposés aux vagues et aux courants de marée que dans les endroits plus abrités.

Les courants de marée n'ont pu être étudiés ici, du fait de l'absence de données sur ce thème. Des études sont cependant en cours pour affiner cette problématique sur l'ensemble de l'île. Ils pourront donc être intégrés dans un proche avenir.

• **La côte (Atlantique vs Caraïbe)** : la mangrove est présente essentiellement dans la moitié sud de la Martinique avec une discontinuité biologique potentielle entre le site de Grenade et la baie du Marin. En effet, le canal de Sainte Lucie est particulièrement « dynamique » et il est possible qu'une barrière de flux de gènes existe entre les deux côtes.

De plus, les activités économiques, agricoles et industrielles de l'île ne sont pas équivalentes dans toutes les baies et varient fortement en fonction des côtes (impact plutôt agricole sur la côte Atlantique et plus urbain et industriel en plus de l'agriculture sur la côte Caraïbe). Il semblait donc primordial de se focaliser sur les deux côtes pour l'étude de la biodiversité et la détermination d'un bioindicateur.

Aucune différence n'a pu être notée entre les côtes au niveau des groupes taxonomiques. Cependant, des divergences ont été notées au niveau spécifique pour les éponges. Il est fort probable que, pour l'étude générale des épibiontes, le niveau de détermination des groupes taxonomiques de cette étude soit insuffisant pour montrer une discontinuité entre les deux côtes.

• **La proximité des herbiers ou récifs** : certaines espèces propres aux récifs coralliens ont été observées sur les racines de palétuviers. C'est le cas notamment des éponges *Placospongia intermedia*, *Niphates erecta*, *Amphimedon compressa*, *Chelonaplysilla betinensis*, *Mycale laxissima* et *M. laevis*, *Neopetrosia carbonaria* et *Ircinia strobilina*. Parmi les autres épibiontes rencontrés, quelques anémones et gorgones ont aussi été rencontrées sur certains sites. La proximité des autres écosystèmes benthiques tropicaux pourrait influencer le recrutement et par conséquent la colonisation des racines de palétuviers. Dans cette étude, les zones de mangroves se situent toutes à proximité d'herbier. Ceux-ci peuvent être constitués de *Thalassia testudinum* (baie du Trésor notamment) ou de *Halophila stipulacea* (sites de la baie de Fort de France). En ce qui concerne les récifs coralliens, des cayes coralliennes se développent à quelques dizaines voire centaines de mètres de la plupart des sites. D'autres études ont déjà souligné le rôle que pouvait avoir la proximité des récifs dans les schémas de distribution des espèces sur les racines de palétuviers (Ellison &

Farnsworth 1992, Rützler *et al.* 2000). La proximité des récifs et herbiers pourrait également avoir un impact sur les populations de prédateurs présents dans le secteur. Ces derniers ont un impact non négligeable sur les épibiontes (Pawlik 1998, Wulff 2000, 2005). La richesse spécifique en éponges diminue avec l'augmentation de la distance aux récifs coralliens (Hunting *et al.* 2008, Rützler *et al.* 2000).

- **Le marnage** : ce paramètre entraîne une exondation des populations présentes dans la zone de balancement des marées. En Martinique, le coefficient de marée est le même sur les côtes caraïbe et atlantique et est très faible (50 cm en moyenne). Ce facteur n'a donc pas d'influence sur les divers sites étudiés. La distribution verticale des épibiontes serait principalement liée au niveau de la marée et à la tolérance des organismes à la dessiccation (Lacerda 2002) : les espèces d'éponges les plus résistantes à la dessiccation sont situées plus en hauteur sur les racines (Rützler 1995). En effet certaines espèces de spongiaires et d'autres groupes (polychètes, cirripèdes, huîtres...) acceptent ponctuellement l'exondation si celle-ci est de courte durée et peu fréquente.

- **La profondeur et le type de racines** : ces paramètres primordiaux ont été discutés précédemment. Dans l'étude des grands groupes taxonomiques, un nombre équivalent de racines fixes et aériennes a été choisi dans la mesure du possible, ce qui permet d'avoir une vision globale des peuplements. Il paraît primordial dans les futurs échantillonnages d'avoir un nombre équivalent de racines fixées et aériennes à tous les sites, ou bien de cantonner l'étude à tel ou tel type de racine.

Dans le contexte de définition de bioindicateurs, il est important de s'affranchir de la variation de ce type de paramètres pour se focaliser uniquement sur les pressions anthropiques.

4.2 Protocole d'échantillonnage

4.2.1 Les épibiontes

Deux protocoles distincts ont été mis au point afin de caractériser les communautés présentes sur les racines de palétuviers et ainsi tenter de déterminer des bioindicateurs.

Les grandes catégories d'organismes

Les échantillonnages ont pu se faire conformément à la note méthodologique proposée. Les organismes présents le long de 20 racines de palétuviers ont été échantillonnés grâce à la méthode du Point Intercept. Quelques difficultés / imperfections ont cependant été notées :

- **Le PIT** : cette méthode « rapide » permet une prise en compte d'un nombre d'organismes important. Cependant, l'importance de certaines espèces semble être sous-estimée. C'est le cas notamment des bivalves et autres organismes solitaires (annélides polychètes, ascidies solitaires, anémones etc.) qui ont un pourcentage de recouvrement faible, donc peu de chance de se retrouver sur un PIT. Leur présence est par conséquent minorée par cette technique d'observation. Dans le cas où la présence de ces organismes particuliers devrait être notée dans de futures observations, une autre méthodologie devrait être utilisée afin de ne pas minimiser leur importance. Ceci pourrait consister à dénombrer le nombre d'individus sur les racines, ou, si cette technique est trop chronophage, à dénombrer ces organismes "cibles" dans des quadrats prédéfinis ou sur l'ensemble de racines.

- **La notion de substrat secondaire** : les racines de palétuviers sont des substrats durs dans un environnement majoritairement constitué de vase et de sable. La compétition pour l'espace est donc un phénomène important et conditionne beaucoup les communautés fixées observées. Le substrat secondaire correspond aux organismes eux même colonisés par d'autres espèces. C'est le cas en particulier des coquilles d'huîtres qui sont souvent le substrat d'autres espèces, mais aussi de spongiaires ou de tubes de polychètes colonisés à leur tour. Les racines deviennent donc une « succession » de strates d'organismes parmi lesquels certains colonisent uniquement la racine et d'autre les épibiontes eux-mêmes. Dans cette étude, la quantification et la détermination des organismes se sont limitées aux espèces colonisatrices de la racine. Cependant, dans le cadre de la définition d'un bioindicateur, toutes les espèces ont leur importance et il serait intéressant de développer une méthode prenant en compte l'ensemble des espèces présentes. Sutherland, 1980, a noté que *Isognomon alatus* était la seule espèce qui pouvait fournir un substrat secondaire propice au recrutement des autres espèces. Cependant dans le cadre de cette étude, *Crassostrea rhizophorae*, certains spongiaires et les tubes de polychètes étaient parfois colonisés.

Bien qu'il soit important d'avoir un substrat homogène dans le protocole (moins de paramètres variables), la notion de substrat secondaire pourrait être importante à appréhender pour la définition de bioindicateurs et devrait faire l'objet de travaux ultérieurs.

- **Les premières observations** semblent montrer que les changements saisonniers sont faibles en Martinique. La pertinence d'échantillonner les racines de mangrove aux saisons sèches et humides semble par conséquent peu judicieuse (coût, temps) dans le cadre de la DCE, qui vise à souligner les impacts anthropiques

et non pas les évènements climatiques saisonniers. De plus, l'échantillonnage en saison humide est difficile à mettre en oeuvre. En effet, les fortes pluies rendent souvent le milieu turbide et empêchent une bonne visualisation et détermination des organismes présents. Un échantillonnage annuel en période sèche pourrait être mis en oeuvre dans les futures études.

Les éponges

L'étude des spongiaires de mangrove comprenait deux volets : un aspect taxonomique pour connaître les éponges des mangroves de la Martinique et un aspect suivi des peuplements cherchant à dégager une espèce ou un assemblage d'espèces bioindicatrices.

La première partie de l'étude s'est bien déroulée, avec observations sur le terrain et analyses en laboratoire lorsque cela était nécessaire. L'Atlas des spongiaires de mangrove (Impact Mer & Ginger Environnement 2012b), validé par les experts en taxonomie, est presque exhaustif. Il est cependant toujours possible d'améliorer la connaissance des spongiaires de mangrove en explorant de nouveaux sites ou autres parties des sites échantillonnés lors de cette étude.

La seconde partie de l'étude a présenté plus de difficultés. En effet le protocole a dû être adapté aux réalités de terrain, notamment dans le positionnement des transects. Le choix des positionnements n'a pas été aléatoire car il fallait des portions de mangrove pourvues de spongiaires (au moins pour réaliser l'inventaire, puisque l'étude était conjointe). Sur certains sites les transects étaient espacés de quelques mètres et parfois ils étaient jointifs.

Le choix des racines a également posé problème car une fois le transect de 10 m installé entre 2 racines tout en collant au maximum à la frange littorale externe, très peu de racines étaient en contact avec le ruban. Pour obtenir des résultats, il a donc été décidé de s'enfoncer d'environ 1 m dans la mangrove pour échantillonner un plus grand nombre de racines. Cependant une fois cette décision prise, beaucoup trop de racines étaient présentes dans cette bande de 1 m de large sur 10 m de long, avec souvent des racines multiples. Il a donc été décidé de ne choisir pour observation que les racines porteuses de spongiaires. Le nombre de racines observées à chaque transect et donc à chaque site était par conséquent différent. Cela induit un biais dans l'unité d'échantillonnage. De plus, vu la configuration des sites, les racines échantillonnées étaient de longueurs différentes et parfois très variables au sein d'un même site. De même, les racines étaient parfois fixées ou aériennes, en proportions variables. Ce paramètre est là aussi dépendant de la configuration du site mais il induit un biais dans les analyses.

Il faut donc à l'avenir choisir uniquement les racines en bordure parfaite de mangrove, un nombre fixe et une taille identique des racines dans chaque site, qu'elles soient porteuses de spongiaires ou non.

De plus, les observations de spongiaires, même si elles sont réalisées par un expert, dépendent des conditions du milieu, à savoir visibilité dans l'eau, taux de sédimentation au niveau des racines et taux de recouvrement par d'autres organismes. En effet les individus de petite taille (comme *Haliclona manglaris* par exemple) sont souvent masqués par les macro-algues, parfois recouverts par les sédiments ou d'autres épibiontes. La possibilité d'observer un individu varie donc en fonction de paramètres environnementaux ce qui induit une grande variabilité dans les résultats.

4.2.2 La qualité physico-chimique des eaux

Fréquence d'échantillonnage de la température, de la salinité et de la turbidité

Concernant le paramètre température, les mesures *in situ* ne donnent qu'une image partielle de l'évolution de la température de l'eau. Pour permettre de caractériser le régime thermique, apprécier les variations saisonnières en conditions normales et détecter d'éventuelles anomalies, il est nécessaire d'avoir des données enregistrées à une fréquence plus importante (cela a été proposé mais pas retenu). De même, il serait également intéressant de suivre les paramètres « turbidité » et « salinité » à une fréquence plus importante afin de détecter les apports du bassin versant (en particulier dans les baies).

Fréquence d'échantillonnage des concentrations des nutriments

En raison de la forte variabilité à une échelle de temps très courte dans le milieu naturel, mais aussi des éventuels biais pouvant survenir durant l'échantillonnage et le transport d'échantillon, il est proposé de **conserver les mesures en 3 réplicats sur les stations hydrologie.**

La fréquence d'échantillonnage des nutriments, ne permet pas actuellement de rendre compte de la qualité du milieu. En effet, le milieu marin tropical insulaire est un système où il est observé des *pulses* de nutriments liés notamment à de gros épisodes pluvieux. Par exemple dans l'étude de Cho & Woodley 2003 sur la résilience des récifs en Jamaïque, l'échantillonnage est mensuel voire tri-mensuel sur une période de 4 mois et réalisé en surface et à 10 m de profondeur.

4.3 Création d'un indice de pression

Deux approches ont été utilisées ici pour déterminer un indice de pollution et évaluer le niveau de pression sur le site. Dans un premier temps, des mesures physico-chimiques ont été faites directement sur les sites lors des échantillonnages puis un indice plus global de pression anthropique issue des bassins versants a été élaboré.

Les paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques couramment notés lors de la DCE ont été relevés à tous les sites en triplicats à chaque session d'échantillonnage. Ceci permet d'avoir une mesure à un instant t. Cependant, cette méthode ne permet pas d'avoir une vision globale des pressions sur le site. En effet, les paramètres physico-chimiques mesurés dans la colonne d'eau sont connus pour varier de manière instantanée avec les changements météorologiques ou les pressions anthropiques. Deux campagnes de mesures par an paraissent insuffisantes pour caractériser l'état des ME. Une campagne de mesures plus importante, ou la mise en place de sondes permanentes pour avoir des données journalières, sont nécessaires afin de déterminer ces paramètres au mieux. Dans la mesure où ces mesures sont généralement onéreuses, l'utilisation d'un indice de pression anthropique des bassins versants semble être une bonne alternative.

Indice de pression anthropique

Le développement de l'indice de pression de chacune des zones de fonctionnalité des sites étudiés est basé sur diverses sources d'information de manière conjointe : occupation du sol à travers la base CORINE Land Cover de 2006, données diverses d'usages et de pressions obtenues sur site ou dans la bibliographie.

Les indices obtenus ont été comparés avec ceux de la littérature de la Martinique et paraissent en accord avec ces différentes sources comme le montre le Tableau 38 ci-dessous (IM 2008 = Impact Mer 2009b & HLD 2010 = Legrand 2010).

Cependant, ces indices pourraient être fiabilisés avec la mise à disposition prochaine de nouvelles données plus précises concernant l'occupation du sol et l'inventaire des pressions anthropiques sur les bassins versants (étude des pressions sur l'ensemble des BV martiniquais débutée récemment et disponible courant 2013, ODE et DEAL).

L'ensemble des analyses menées dans le cadre de cette étude pourrait être réalisé de nouveau avec un jeu d'indices mis à jour dans l'avenir.

Tableau 38 : Comparaison du jeu d'indices de pression anthropiques avec la littérature existante.

| Site d'étude | Indice de l'étude | Indice IM 2008 | Indice HLD 2010 |
|-----------------------|-------------------|----------------|-----------------|
| Cohé du Lamentin | 4 | 4 | 4 |
| Pointe Merle (Génipa) | 3 | 2 | 4 |
| Baude | 3 | 2 | 3 |
| Pointe Marin | 3 | 2 | 3 |
| Grenade | 2 | 2 | 1 |
| Saintpée | 2 | 1 | 1 |
| Baie des Requins | 2 | 2 | 3 |
| Baie du Trésor | 1 | 1 | 1 |

Recommandations :

Plusieurs recommandations peuvent être faites pour améliorer les protocoles mis en œuvre dans cette étude.

Biodiversité

Dans le cadre de l'inventaire spécifique en Martinique, le protocole utilisé lors de ces campagnes semble répondre aux attentes. En effet, les mangroves échantillonnées couvrent diverses conditions environnementales et anthropiques, maximisant le nombre d'espèces observables. Si des études similaires doivent être conduites sur d'autres groupes taxonomiques (ascidies, macroalgues...), les sites échantillonnés et le protocole employé pourrait être de nouveau mis en place.

Bioindication

Divers paramètres pourraient être modifiés afin d'améliorer le protocole de détermination des bioindicateurs :

- Harmoniser les racines échantillonnées i.e. : i) choisir de n'échantillonner que des racines aériennes, que des fixes, ou un nombre égal de fixes et d'aériennes afin de s'affranchir de ce paramètre biologique, ii) sélectionner des racines de longueur égale ou équivalente (s'affranchir du paramètre âge de la racine), iii) choisir des racines qui ont un même emplacement dans la mangrove, i.e. : en bordure de mangrove seulement.
- Échantillonner des racines colonisées ou vides. En effet, la non présence d'organismes peut être considérée comme bioindicatrice.
- Si un suivi à long terme doit être réalisé, le marquage de racine (et non pas de transects) semble être la meilleure solution.
- Lors de ce travail, les racines ont été divisées en 29 sections égales, et les organismes ont été relevés sur 30 points intercepts. Par conséquent, les organismes n'ont pas tous été notés à des profondeurs équivalentes. Afin de palier ce problème, les points intercepts devraient être localisés à une profondeur équivalente sur tous les sites (ex : tous les 5 cm) à partir du zéro biologique. Si les racines ne sont pas choisies de même longueur, cela induira un nombre d'enregistrements non constant entre les racines et les sites.

5 Pertinence pour la définition de bioindicateurs

5.1 L'ensemble des groupes taxonomiques

L'étude menée sur l'ensemble des groupes taxonomiques veillait à déterminer des groupes taxonomiques d'intérêt afin de se focaliser plus particulièrement sur leur étude par la suite. Les résultats de cette première phase d'étude ont permis de montrer que plusieurs groupes étaient présents de manière sporadique à certains sites. Certains groupes d'organismes semblent absents dans les zones anthropisées ou au contraire présents uniquement dans ces dernières. C'est le cas notamment des ascidies qui sont absentes des enregistrements du site le plus pollué (Cohé). Leur présence n'a cependant été suivie que sur les PIT et non sur l'ensemble des racines, ce qui ne permet pas de conclure de manière certaine sur leur occurrence. Afin de vérifier ces tendances, d'autres sites de classe 4 devraient être choisis et échantillonnés. Des protocoles plus ciblés sur la présence des organismes sur l'ensemble des stations de suivi devraient être adoptés et approfondis au niveau spécifique autant que possible.

5.2 Les annélides polychètes

Londoño-Mesa *et al.* 2002 observent des modifications de composition spécifique des peuplements suivant la pollution des sites étudiés. Certaines espèces se sont révélées « préférer » des sites turbides ou enrichis en nutriments ou polluants tandis que les *preferenda* d'autres espèces semblaient être des eaux plus oligotrophes. Les occurrences de polychètes de la présente étude sont faibles, de l'ordre de 1 % des épibiontes. Les formes solitaires de ces organismes paraissent sous-évaluées par la méthode du PIT.

Un travail plus poussé à la fois sur la biodiversité et les occurrences de ce groupe semble nécessaire.

5.3 Les ascidies

Les ascidies, organismes sédentaires, sont présents sur de nombreuses surfaces, qu'elles soient naturelles ou anthropiques. Certaines espèces sont plus abondantes dans les zones fortement polluées comme les ports et les zones industrielles où les excès de matière organique particulaire et les bactéries sont des sources non négligeables de nourriture (Monniot *et al.* 1991). Des études menées en Jamaïque sur 30 ans, de 1963 à 1992

ont permis de dénombrer 25 espèces d'ascidies, parmi celles-ci, 8 ont disparu depuis 1963 tandis que deux espèces supplémentaires ont colonisé l'île. Cette évolution sur 30 ans serait peut-être le résultat de l'eutrophisation (Goodbody 1993). Les ascidies, un groupe peu étudié dans la Caraïbe, pourraient par conséquent être de bons indicateurs biologiques (Bell *et al.* 1982, Monniot 1978, Naranjo *et al.* 1996). Dans la présente étude ces organismes n'ont pas été observés dans les enregistrements sur le site de Cohé. Cependant, leur présence a été notée hors des PIT avant la troisième campagne. Une étude taxonomique plus approfondie et un protocole ciblé sur ces espèces (comptage d'espèces solitaires et évaluation de recouvrement d'espèces coloniales) permettrait sûrement de trouver des bons bioindicateurs parmi ce groupe.

5.4 Les bryozoaires

Les bryozoaires figurent parmi les organismes filtreurs supposés être de bons indicateurs potentiels des changements environnementaux dans les mangroves (Díaz & Rützler 2009). Aucune étude approfondie sur le sujet n'a cependant été trouvée dans la zone Caraïbe. Les formes encroûtantes et érigées de ce phylum ne représentent que 2% des observations réalisées sur l'ensemble des épibiontes durant cette étude. Tout comme pour d'autres organismes, la taille limitée de ces colonies ne permet pas de bien rendre compte de leur abondance relative avec une méthodologie de suivi telle que le PIT. Un protocole dédié renseignant sur la diversité et sur l'abondance relative permettrait de mieux explorer les possibilités bioindicatrices du groupe.

Note : L'étude de ces organismes peut être difficile : leur identification est pointue et nécessite des taxonomistes spécialisés.

5.5 Les macroalgues

Les résultats des deux ans d'étude menée sur les communautés épibiontiques de mangrove montrent que les macroalgues représentent la majeure partie des peuplements épibiontes des racines de palétuviers rouges. Les mangroves sont connues pour être des écosystèmes de transition abritant de nombreuses espèces de macroalgues épiphytiques (Zuccarello *et al.* 2001). Ces dernières sont de bons bioindicateurs marins, car sédentaires, et largement distribuées. De plus ces producteurs primaires puisant leurs nutriments dans la colonne d'eau sont fortement dépendants des pressions anthropiques, notamment des phénomènes d'eutrophisation. La présence de nutriments est considérée comme déterminante au regard de la distribution et l'abondance des algues (Pedersen & Borum 1996). La biomasse algale a augmenté durant les dernières décades dans les eaux tropicales et sub-tropicales sous l'influence des impacts anthropiques (Lapointe *et al.* 2005). De nombreuses études ont montré que les contenus tissulaires algaux (en carbone (C), azote (N), phosphore (P) et en taux d'isotopes azotés) variaient en fonction de la qualité des eaux environnantes (Lapointe *et al.* 2005). Ainsi, les contenus en azote isotopiques sont connus pour varier avec l'origine des apports (naturelle (isotope 14) ou anthropique (isotope 15)). L'azote atmosphérique et la fixation en azote ont une valeur $\delta^{15}\text{N} = 0\%$ (Heaton 1986, Owens *et al.* 1990). L'enrichissement $\delta^{15}\text{N}$ dans les systèmes aquatiques résulte de la transformation de l'azote avant, pendant ou suivant le traitement des eaux usées. De nombreuses études ont utilisées les isotopes azotés pour discriminer entre les sources anthropiques et naturelles d'azote (Lapointe et Thacker 2002 ; Barile 2004, Gartner *et al.* 2002, Savage *et al.* 2004). Cet indice testé par ailleurs en Martinique sur les récifs de la côte méridionale (Legrand 2010 et études DEAL-OMMM en cours) pourrait être appliqué pour discriminer les sources d'azote anthropique en mangrove sur les zones impactées par les eaux usées.

De plus, des campagnes d'études menées sur les macroalgues en temps que bioindicateurs⁴ et « bio-moniteurs⁵ » (de métaux) dans les mangroves australiennes ont montré des résultats encourageants (Melville & Pulkownik 2006, 2007, Melville *et al.* 2005).

Les analyses de polluants menées directement sur les eaux côtières peuvent être trompeuses du fait qu'on retrouve ces éléments seulement à l'état de trace, et parfois en dessous des seuils de détection (Torres *et al.* 2008). De plus leur variation dans la colonne d'eau peut être très rapide sous l'effet des pluies. Les sédiments quant à eux ne donnent pas toujours une mesure représentative des polluants présents dans les couches superficielles de l'eau et ne donnent pas de précisions sur les concentrations à de plus hauts niveaux trophiques. L'utilisation de biomoniteurs pour la détection de traces de pollution est plus que nécessaire dans ce contexte.

Un volet complémentaire à la suite de l'étude pourrait avoir pour objectif de compléter les données accumulées sur les macroalgues, en déterminant plus précisément les espèces présentes et leur mode de distribution. Acquérir des connaissances et comprendre les variations naturelles dans l'abondance et la distribution (i.e. écologie) des espèces est essentiel en ce qui concerne les bioindicateurs et leur suivi (Rainbow 1995, Rainbow & Phillips 1993).

⁴ Espèces qui révèlent l'effet écologique d'un polluant par sa présence/absence ou son abondance (Rainbow, P.S., 1995. Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 31, 183-192; Rainbow, P.S., Phillips, D.J.H., 1993. Cosmopolitan biomonitors of trace metals. *Ibid.*, 26, 593-601.)

⁵ Organismes qui accumulent les polluants dans leurs tissus et qui sont mesurables pour donner une estimation de leur bio-disponibilité (Villares, R., Puente, X., Carballeira, A., 2001. *Ulva* and *Enteromorpha* as indicators of heavy metal pollution. *Hydrobiologia*, 462, 221-232.)

5.6 Les spongiaires

L'utilisation des spongiaires comme indicateurs de qualité de la masse d'eau est prometteuse en raison de leur structure morphologique simple, de leur mode de nutrition (suspensives par filtration active de l'eau) et de leur omniprésence dans tous les milieux. Certaines espèces sont connues pour être de bons bioindicateurs, comme *Haliclona tenuiramosa* qui indique la présence de métaux lourds (Venkateswara Rao *et al.* 2009) ou de bons biomoniteurs comme *Hymeniacidon perlevis* qui accumule le zinc et le cuivre (Mahaut *et al.* 2012).

Certaines éponges caribéennes ubiquistes sont potentiellement indicatrices de qualité de l'eau. Les espèces les plus communes ou généralistes sont souvent les plus propices à mettre en évidence les changements de conditions environnementales sur certains sites (Díaz *et al.* 2004). Des études ont ainsi montré que certaines espèces, dans des conditions particulières, indiquaient un environnement pollué (pollution organique ou bactérienne), sédimenté, agité etc. ou au contraire sain. Ces études ne sont cependant pas obligatoirement transposables dans tous les milieux, notamment en mangrove.

Ici, seule l'espèce *Suberites aurantiacus* semblerait indiquer des milieux perturbés. Cette particularité avait déjà été remarquée par Hajdu *et al.*, 2011. Cette espèce est d'ailleurs très souvent recouverte d'une pellicule sédimentaire. On peut donc supposer qu'elle préfère les sites subissant des pressions ou hypersédimentés.

En plus de la richesse spécifique, les groupes d'espèces ayant des exigences écologiques proches pourraient être indicateurs. En effet l'absence des espèces fréquemment rencontrées, présentes dans 6 ou 7 sites, semble corrélée avec un indice de pression élevé. A l'inverse, les espèces rares, présentes dans 1 seul site, semblent indiquer une bonne qualité des eaux. Les espèces caractéristiques de mangroves seraient elles aussi majoritairement présentes dans les masses d'eau subissant peu de pressions. Ces tendances restent cependant à confirmer.

La richesse spécifique des spongiaires à chaque site pourrait également être utilisée pour qualifier la santé des écosystèmes aquatiques de mangrove. Il semblerait en effet que les sites les plus riches en spongiaires soient généralement ceux qui subissent le moins de pression, pour les sites baie du Trésor et de Saintpée notamment. A l'inverse les sites les plus contaminés, Cohé du Lamentin et Pointe Marin, sont ceux qui présentent les richesses spécifiques les plus faibles. Ainsi sur le site de Cohé, la disparition des spongiaires indique une très forte perturbation du milieu. Les activités anthropiques étant variées dans cette partie de l'île, le lien direct avec une pression particulière n'a pu être mis en évidence mais l'origine de cette disparition était cependant très importante bien que temporaire.

Les pressions sur chaque site doivent cependant être analysées plus précisément et chiffrées pour mettre en relation chaque cortège de spongiaires avec la qualité du milieu environnant. Cependant, cette analyse est à relativiser, en effet le site baie des Requins subit des pressions modérées mais fait pourtant partie des sites les moins riches. A l'inverse le site de pointe Merle est supposé assez impacté alors que sa biodiversité en spongiaires est très importante. Les conditions du milieu et les pressions doivent donc être étudiées plus en détails pour tirer des conclusions quant à cet indicateur potentiel.

6 Bioindicateurs et biomarqueurs

Afin de compléter les travaux menés sur les épibiontes de racines de palétuviers et acquérir des informations quant aux relations pressions / état, des mesures complémentaires pourraient être envisagées. En effet, la simple détermination de bioindicateurs ne permet pas toujours d'isoler le facteur responsable. De même, l'évaluation ponctuelle de facteurs physico-chimiques ne renseigne pas sur la réponse des organismes face à la pollution. En effet, les éléments polluants sont parfois présents à l'état de trace ou en dessous des seuils de détections (Torres *et al.* 2008) ; les variations de leur concentration dans la colonne d'eau peut être très rapide sous l'effet des pluies et des consommations par des organismes opportunistes. Les mesures faites sur le sédiment quant à elles ne donnent pas toujours une mesure représentative des polluants présents dans les couches superficielles de l'eau et ne donnent pas de précisions sur les concentrations à de plus hauts niveaux trophiques (Binelli & Provini 2003).

L'utilisation de bioindicateurs pour les investigations appliquées à la conservation du littoral est un outil irremplaçable (Rainbow & Phillips 1993). L'utilisation des biomarqueurs dans les programmes de suivi de qualité environnementale est courante (Amiard *et al.* 1998). Ils offrent une information complète de l'impact des polluants toxiques sur la santé des organismes et pas seulement une mesure de l'accumulation des contaminants dans les tissus (Van der Oost *et al.* 2003). Les biomarqueurs peuvent fournir de l'information sur l'état de santé des organismes et peuvent être utilisés comme des avertissements pour des stress généraux ou particuliers (Vangronsveld *et al.* 1998). Lagadic *et al.* 1997 a souligné le fait que mesurer plusieurs biomarqueurs en même temps permettrait une approche pertinente pour évaluer les effets des polluants sur les individus. Et Ferrat 2003 recommande l'utilisation d'une approche multiparamétrique, incluant des biomarqueurs « physiologiques », généraux et plus spécifiques dans les études écotoxicologiques.

E. Conclusions

Les résultats obtenus au terme des quatre campagnes d'échantillonnage réalisées dans le cadre de cette étude ont permis de mieux apprécier les peuplements épibiontes des racines de palétuviers. Cette étude a montré que cet écosystème est un milieu d'une grande richesse et d'un fort intérêt biologique et patrimonial. Les objectifs d'amélioration de la connaissance du milieu et de construction de l'Atlas des Spongiaires de Mangrove sont pleinement remplis. Une étude focalisée sur les éponges des récifs coralliens martiniquais en 2008 a permis de dénombrer 47 espèces (Impact Mer 2008). La présente étude est la première à s'intéresser aux spongiaires des mangroves martiniquaises. 47 espèces ont également été recensées, dont une n'a jamais été décrite dans la littérature (publication en préparation). Cette étude apporte des connaissances fondamentales sur la biodiversité marine associée aux mangroves de la Martinique, qui pourront être utilisées par de nouveaux programmes de recherche et par les gestionnaires. Enfin, la collection d'échantillons constituée au cours de ce programme, sera conservée au MNHN de Paris, et pourra donc servir de référence à d'autres travaux de taxonomie des spongiaires.

Cette première étude visant à mieux connaître les épibiontes des racines de palétuviers et leur potentiel bioindicateur a mis en évidence de fortes hétérogénéités spatiales et temporelles des peuplements. Plusieurs facteurs environnementaux et anthropiques pourraient les expliquer, parmi lesquels la typologie des racines (aériennes ou fixées), la saison, la distance à la côte, l'exposition, la proximité d'herbiers ou de récifs, la profondeur... Conformément à la littérature, les peuplements d'épibiontes présentent aussi une zonation verticale.

Des pistes ont pu être précisées concernant des éléments de bioindication de l'état de santé des masses d'eau baignant les racines des palétuviers. En effet, certains groupes d'organismes (ascidies, bryozoaires, polychètes, macroalgues) pourraient être étudiés plus précisément, au niveau spécifique, car ils semblent prometteurs. Par ailleurs, diverses espèces, comme *Suberites aurantiacus*, ou groupes de spongiaires (les espèces rares, les espèces fréquentes mais pas omniprésentes, et les espèces caractéristiques de mangrove) se révèlent intéressants pour servir d'indicateurs de pressions différentielles ou de milieux particulièrement épargnés. L'indication la plus pertinente de la qualité des mangroves aquatiques reste la biodiversité générale des sites. Cependant l'ensemble de ces considérations doit faire l'objet d'expertises complémentaires sur des zones et des espèces ciblées pour mieux parvenir à corrélérer les observations biologiques et anthropiques entre elles.

Bibliographie

- Acer Campestre, Lurel Environnement, Contrechamp, 2006. Inventaire des zones humides de la Martinique. Rapport pour: Parc Naturel Régional de la Martinique, 105 p.
- Alvarez, A., 1989. Establecimiento, desarrollo y mantenimiento de una comunidad epibentónica tropical. Dissertation. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Amiard, J.C., Caquet, T., Lagadic, L., 1998. Les biomarqueurs parmi les méthodes d'évaluation de la qualité de l'environnement. In: Lagadic, L., Caquet, T., Amiard, J.C., Ramade, F. (Ed.), Utilisation de biomarqueurs pour la surveillance de la qualité Publ., Tec & Doc, Paris, p. 320, p. 320.
- Aminot, A., Chaussepied, M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO, 395 p.
- Anderson, M.J., 2001a. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26, 32-46.
- Anderson, M.J., 2001b. Permutation tests for univariate or multivariate analysis of variance and regression. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58, 629-636.
- Anderson, M.J., Gorley, R.N., Clarke, K.R., 2008. PERMANOVA for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. Primer-E Ltd., Plymouth, UK, 214 p.
- Asconit Consultants, Impact Mer, 2005a. Etat des lieux du district hydrographique de la Martinique. Tome 1 Caractérisation du District. Rapport pour: DiREN Martinique, Comité de Bassin de la Martinique, ODE Martinique, 175 p.
- Asconit Consultants, Impact Mer, 2005b. Etat des lieux du district hydrographique de la Martinique. Tome 2 Description des masses d'eau. Rapport pour: DiREN Martinique, Comité de Bassin de la Martinique, ODE Martinique, 56 p.
- Barile, P.J., 2004. Evidence of anthropogenic nitrogen enrichment of the littoral waters of east central Florida. *Journal of Coastal Research*, 1237-1245.
- Basak, U.C., Das, A.B., Das, P., 1996. Chlorophylls, carotenoids, proteins and secondary metabolites in leaves of 14 species of mangrove. *Bulletin of marine science*, 58 (3), 654-659.
- Bell, M.V., Pirie, B.J., Mcphail, D.B., Goodman, B.A., Falk-Petersen, B., Sargent, J.R., 1982. Contents of vanadium and sulphur in the blood cells of *Ascidia mentula* and *Ascidella aspersa*. *J Mar Biol Ass UK*, 62, 709-716.
- Bigot, L., Amouroux, J.M., 2008. Définition de l'état de référence et contrôle de surveillance des masses d'eau de transition (MET) - Directive Cadre sur L'Eau – Martinique 2008. Analyse de la macrofaune de substrat meuble. Equilibre / LOBB. Rapport pour: Impact Mer / Pareto, 20 p.
- Binelli, A., Provini, A., 2003. The PCB pollution of Lake Iseo (N. Italy) and the role of biomagnification in the pelagic food web. *Chemosphere*, 53, 143-151.
- Bingham, B.L., 1992. Life histories in an epifaunal community: coupling of adult and larval processes. *Ecology*, 73 (6), 2244-2259.
- Bingham, B.L., Young, C.M., 1995. Stochastic Events and Dynamics of a Mangrove Root Epifaunal Community. *Marine Ecology*, 16 (2), 145-163.
- Boury-Esnault, N., Rützler, K. (Eds.), 1997. Thesaurus of sponge morphology. Smithsonian Institution Press, p. 55.
- Calder, D.R., 1991a. Abundance and distribution of hydroids in a mangrove ecosystem at Twin Cays, Belize, Central America. *Hydrobiologia*, 216-217 (1), 221-228.
- Calder, D.R., 1991b. Vertical zonation of the hydroid *Dynamena crisioides* (Hydrozoa, Sertulariidae) in a mangrove ecosystem at Twin Cays, Belize. *Canadian journal of zoology*, 69 (12), 2993-2999.
- Carteron, S., Boury-Esnault, N., 2005. Etude des Spongiaires profonds en Atlantique Nord (campagne Ifremer Caracole et Nodinaut). Rapport de contrat IFREMER. p.
- Cebrian, E., J, U.M., Turon, X., 2007. Sponges as biomonitors of heavy metals in spatial and temporal surveys in northwestern mediterranean: multispecies comparison. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 26 (11), 2430-2439.
- Chang, S.E., Adams, B.J., Alder, J., Berke, P.R., Chuenpagdee, R., Ghosh, S., Wabnitz, C., 2006. Coastal ecosystems and tsunami protection after the December 2004 Indian Ocean tsunami. *Earthquake Spectra*, 22, 5863-5887.
- Cho, L.L., Woodley, J.D., 2003. Recovery of reefs at Discovery Bay, Jamaica and the role of *Diadema antillarum*. In: Moosa, M.K., Soemodihardjo, S., Soegiarto, A., Romimohtarto, K., Nontji, A., Soekarno and

- Suharsono (Eds.), Bali, Indonesia, pp. 331-338.
- Clarke, K.R., 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18, 117-143.
- Clarke, K.R., Warwick, R.M., 2001. *Change in marine communities: An approach to statistical Analysis and Interpretation* 2nd Edition. Plymouth Marine Laboratory, UK, Plymouth.
- de Oliveira Dias Alves Corrêa, M., Sanches Uieda, V., 2008. Composition of the aquatic invertebrate fauna associated to the mangrove vegetation of a coastal river, analyzed through a manipulative experiment. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 3 (1), 23-31.
- Díaz, H., Conde, J.E., Orihuela, B., 1992. Estimating the species number and cover of a mangrove-root community: a comparison of methods. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 43, 707-707.
- Díaz, M.C., Rützler, K., 2009. Biodiversity and abundance of sponges in Caribbean mangrove: indicators of environmental quality. *Smithsonian Contributions to the Marine Sciences*, 38, 151-172.
- Díaz, M.C., Smith, K.P., Rützler, K., 2004. Sponge species richness and abundance as indicators of mangrove epibenthic community health. *Atoll Research Bulletin*, 518, 17 p.
- Díaz, M.C., van Soest, R.W.M., Rützler, K., Guerra-Castro, E., in prep. Porifera list in the Caribbean.
- Duran, S., Rützler, K., 2006. Ecological speciation in a Caribbean marine sponge. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 40 (1), 292-297.
- Ellison, A.M., Farnsworth, E.J., 1992. The ecology of Belizean mangrove-root fouling communities: patterns of epibiont distribution and abundance, and effects on root growth. *Hydrobiologia*, 247 (1), 87-98.
- Ellison, A.M., Farnsworth, E.J., 1996. Anthropogenic disturbance of Caribbean mangrove ecosystems: past impacts, present trends, and future predictions. *Biotropica*, 549-565.
- Eston, V.R., Rosario, M., Braga, A., Cordeiro-Marino, M., Fujii, M.T., Yokoya, N.S., 1992. Macroalgal colonization patterns on artificial substrates inside southeastern Brazilian mangroves. *Aquatic Botany*, 45 (4), 315-325.
- FAO, 2007. *The world's mangroves 1980-2005 N°153*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 77 p.
- Farnsworth, E.J., Ellison, A.M., 1996. Sun-shade adaptability of the red mangrove, *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae): changes through ontogeny at several levels of biological organization. *American Journal of Botany*, 1131-1143.
- Farnsworth, E.J., Ellison, A.M., Gong, W.K., 1996. Elevated CO₂ alters anatomy, physiology, growth, and reproduction of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.). *Oecologia*, 108 (4), 599-609.
- Feller, I.C., Sitnik, M. (Eds.), 1996. *Mangrove Ecology Workshop Manual*. Smithsonian Institution, Washington DC., USA, p. 135.
- Ferrat, L., 2003. Assessment of the use of biomarkers in aquatic plants for the evaluation of environmental quality: application to seagrasses. *Aquatic Toxicology*, 65, 187-204.
- Gartner, A., Lavery, P., Smit, A.J., 2002. Use of delta¹⁵N signatures of different functional forms of macroalgae and filter-feeders to reveal temporal and spatial patterns in sewage dispersal. *Marine Ecology-Progress Series*, 235, 63-73.
- Goodbody, I., 1993. The ascidian fauna of a Jamaican lagoon: Thirty years of change. *Revista de Biología Tropical*, 41, 35-38.
- Goodbody, I., 1996. *Pycnoclavella belizeana*, a new species of Ascidian from the Caribbean. *Bulletin of marine science*, 58 (2), 590-597.
- Gower, J.C., 1966. Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. *Biometrika*, 53, 325-338.
- Granek, E.F., Ruttenberg, B.I., 2007. Protective capacity of mangroves during tropical storms: a case study from 'Wilma' and 'Gamma' in Belize. *Marine Ecology Progress Series*, 343, 101-105.
- Guerra-Castro, E., Cruz-Motta, J.J., Conde, J.E., 2011a. Cuantificación de la diversidad de especies incrustantes asociadas a las raíces de *Rhizophora mangle* L. en el parque nacional laguna de la Restinga. 36.
- Guerra-Castro, E., Young, P., Perez-Vázquez, A., Carteron, S., Alvizu, A., 2011b. Spatial variability and human disturbance of sponge assemblages associated with mangrove roots in the southern Caribbean. *Marine and Freshwater Research*, 62 (5), 491-501.
- Guillaumont, B., Gauthier, E., 2005. Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE. Recommandations concernant le benthos marin. Rapport des projets REBENT et « Soutien à la DCE », Ifremer/RST/Dyneco/Vigies/05-11, 27 (+ Annexes) p.

- Gwyther, J., Fairweather, P.G., 2002. Colonisation by epibionts and meiofauna of real and mimic pneumatophores in a cool temperate mangrove habitat. *Marine Ecology Progress Series*, 229, 137-149.
- Heaton, T.H.E., 1986. Isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere: a review. *Chemical Geology*, 59 (1), 87-102.
- Hunting, E.R., van Soest, R.W.M., van der Geest, H.G., Vos, A., Debrot, A.O., 2008. Diversity and spatial heterogeneity of mangrove associated sponges of Curaçao and Aruba. *Contributions to Zoology*, 77 (4), 205-215.
- Impact Mer, 2006. Directive Cadre Européenne sur l'Eau. Définition du réseau de surveillance des masses d'eau littorales de la Martinique. Rapport pour: DIREN Martinique, 76 (+ Annexes) p.
- Impact Mer, 2008. Porifera Madinina - Inventaire des Spongiaires de Martinique. Rapport pour: DIREN Martinique, 65 p.
- Impact Mer, 2009a. Directive Cadre européenne sur l'Eau. Définition de l'état de référence pour les Masses d'Eaux de Transition de la Martinique. Revue bibliographique sur l'utilisation des épibiontes des racines de palétuviers comme indicateur de l'état de santé des Masses d'Eaux de Transition. Rapport Annexe. Rapport pour: DIREN Martinique, 16 p.
- Impact Mer, 2009b. Potentiel écologique des mangroves de Martinique : Caractérisation morphologique et biologique de la frange littorale. 77 + Annexe p.
- Impact Mer, Ginger Environnement, 2011a. Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des masses d'eau de transition de l'île de la Martinique à partir des épibiontes des racines de palétuviers - Spongiaires et autres espèces - Rapport de la deuxième campagne, février 2011. Rapport pour: DEAL Martinique, 52 (+ annexes) p.
- Impact Mer, Ginger Environnement, 2011b. Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des masses d'eau de transition de l'île de la Martinique à partir des épibiontes des racines de palétuviers - Spongiaires et autres espèces - Rapport de la première campagne, novembre 2010. Rapport pour: DEAL Martinique, 49 (+ annexes) p.
- Impact Mer, Ginger Environnement, 2012a. Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des masses d'eau de transition de l'île de la Martinique à partir des épibiontes des racines de palétuviers - Spongiaires et autres espèces - Rapport de la troisième campagne, novembre 2011. Rapport pour: DEAL Martinique, 56 (+ annexes) p.
- Impact Mer, Ginger Environnement, 2012b. Spongiaires des mangroves de Martinique : Atlas taxonomique. Rapport pour: DEAL & ODE Martinique, 103 p.
- Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2008a. Directive Cadre européenne sur l'Eau. Contrôle de Surveillance pour les masses d'eau littorales. Suivi des paramètres Biologiques, Physicochimiques et Hydromorphologiques. Rapport de synthèse 2007, Tranche Ferme. Juin 2008. Rapport pour: DIREN Martinique, 59 p.
- Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2008b. Directive Cadre sur l'Eau. Définition de l'état de référence et réalisation du contrôle de surveillance des masses d'eau de transition de Martinique. Etude complémentaire 2008. Compte-rendu de terrain, Juillet 2008. Rapport pour: DIREN Martinique, 9 (+ annexes) p.
- Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2009a. Directive Cadre européenne sur l'Eau. Réalisation du contrôle de surveillance des masses d'eau côtières et de transition de la Martinique - Années 2007/2008. Rapport de synthèse, Tranche conditionnelle 2008 et bilan des résultats 2007/2008. Rapport pour: DIREN Martinique, 161 p.
- Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2009b. Directive Cadre européenne sur l'Eau. Définition de l'état de référence pour les Masses d'Eau Côtières et de Transition de la Martinique. Suivi des paramètres Biologiques, Physicochimiques et Hydromorphologiques. 2007/2008. Rapport pour: DIREN Martinique, 154 p.
- Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2010a. Directive Cadre européenne sur l'Eau. Suivi des Stations des Réseaux de Référence et de Surveillance des Masses d'Eau côtières et de Transition au titre de l'année 2009. Volet Biologie. Rapport de synthèse : Réseau de référence. Rapport pour: DIREN Martinique, 166 (Annexes incluses) p.
- Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2010b. Directive Cadre européenne sur l'Eau. Suivi des Stations des Réseaux de Référence et de Surveillance des Masses d'Eau côtières et de Transition au titre de l'année 2009. Volet Biologie. Rapport de synthèse : Réseau de surveillance. Rapport pour: DIREN Martinique, 147 (Annexes incluses) p.
- Impact Mer, Priam, J., 2011. Evolution spatiale des mangroves de Martinique depuis 1951. Rapport pour: DEAL Martinique, 55 (+ annexes) p.
- Ismail, A., 2006. The use of intertidal molluscs in the monitoring of heavy metals and organotin compounds in the west coast of Peninsular Malaysia.
- Jacobi, C.M., Langevin, R., 1996. Habitat geometry of benthic substrata: effects on arrival and settlement of mobile epifauna. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 206 (1-2), 39-54.

- Katayon, S., Ahmad, I., Hishamuddin, O., Misri, K., 2004. Heavy metal depuration in flat tree oysters *Isognomon alatus* under field and laboratory conditions. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 86, 171-179.
- Koike, K., Takayanagi, I., Sbriz, L., Aquino, M.R., de Rodriguez, N.M.A., Fowler, S.W., Sericano, J.L., 1998. Levels of Chlorinated Hydrocarbons and Trace Metals in Bivalves and Nearshore Sediments from the Dominican Republic. *Marine Pollution Bulletin*, 36, 971-979.
- Lacerda, L.D.d., 2002. Mangrove-Root Epibiotic Community. *Mangrove ecosystems : function and management*. Springer-Verlag, Berlin, p. 28.
- Lagadic, L., Caquet, T., Amiard, J.C., Ramade, F., 1997. Biomarqueurs en écotoxicologie. 419.
- Lamberti, G.A., Resh, V.H., 1985. Comparability of introduced tiles and natural substrates for sampling lotic bacteria, algae and macro invertebrates. *Freshwater Biology*, 15 (1), 21-30.
- Lapointe, B., Barile, P.J., Littler, M.M., Littler, D.D., Bedford, B., Gasque, C., 2005. Macroalgal blooms on southeast Florida coral reefs. Nutrient stoichiometry of the invasive green alga *Codium isthmocladum* in the wider Caribbean indicates nutrient enrichment. *Harmful Algae*, 4 (6), 1092-1105.
- Legrand, H., 2010. Cartographie des biocénoses benthiques du littoral martiniquais et eutrophisation en zone récifale en relation avec les sources de pression d'origine anthropique, Ecole Pratique des Hautes Etudes.
- Linton, D.M., Warner, G.F., 2003. Biological indicators in the Caribbean coastal zone and their role in integrated coastal management. *Ocean & Coastal Management*, 46 (3), 261-276.
- Londoño-Mesa, M., Polanía, J., Vélez, I., 2002. Polychaetes of the mangrove-fouling community at the Colombian Archipelago of San Andres and Old Providence, Western Caribbean. *Wetlands Ecology and Management*, 10 (3), 227-232.
- MacDonald, J., Glover, T., Weis, J., 2008. The Impact of Mangrove Prop-Root Epibionts on Juvenile Reef Fishes: A Field Experiment Using Artificial Roots and Epifauna. *Estuaries and Coasts*, 31 (5), 981-993.
- Mahaut, M.L., Basuyaux, O., Baudinière, E., Chataignier, C., Pain, J., Caplat, C., 2012. The porifera *Hymeniacidon perlevis* (Montagu, 1818) as a bioindicator for water quality monitoring. *Environmental Science and Pollution research*, 9.
- MEEDDM, 2010. Arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement. *Journal Officiel de la République Française*, p. 33.
- Melville, F., Pulkownik, A., 2006. Mangrove macroalgae as potential estuarine test species in phytotoxicity tests using physiological endpoints. *Australian journal of ecotoxicology*, 12, 21-28.
- Melville, F., Pulkownik, A., 2007. Investigation of mangrove macroalgae as biomonitors of estuarine metal contamination. *The Science of the total environment*, 387, 301-309.
- Melville, F., Pulkownik, A., Burchett, M., 2005. Zonal and seasonal variation in the distribution and abundance of mangrove macroalgae in the Parramatta River, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64, 267-276.
- Monniot, C., Monniot, F., Laboute, P., 1991. Coral reef ascidians of New Caledonia. *Ird Orstomp*.
- Monniot, F., 1978. Connaissances actuelles sur les ions métalliques chez les ascidies. *Actual Biochim*, 185-194.
- Muricy, G., 1989. Sponges as pollution-biomonitoring at Arraial do Cabo, Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Biologia*, 49 (2), 347-354.
- Naidoo, Y., Steinke, T.D., Mann, F.D., Bhatt, A., Gairola, S., 2008. Epiphytic organisms on the pneumatophores of the mangrove *Avicennia marina*: occurrence and possible function. *African Journal of Plant Science*, 2 (2), 012-015.
- Naranjo, S.A., Carballo, J.L., García-Gómez, J.C., 1996. Effects of environmental stress on ascidian populations in Algeciras Bay (southern Spain). Possible marine bioindicators? *Marine Ecology Progress Series*, 144, 119-131.
- Olwig, M.F., Sorensen, M.K., Rasmussen, M.S., Danielsen, F., Selvam, V., Hansen, L.B., Nyborg, L., Vestergaard, K.B., Parish, F., Karunakaran, V.M., 2007. Using remote sensing to assess the protective role of coastal woody vegetation against tsunami waves. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 3153-3169.
- Orihuela, B., Díaz, H., Conde, J.E., 1991. Mass mortality in a mangrove roots fouling community in a hypersaline tropical lagoon. *Biotropica*, 23 (4), 592-601.
- Owens, N.J.P., Woodward, E.M.S., Aiken, J., Bellan, I.E., Rees, A.P., 1990. Primary production and nitrogen assimilation in the North Sea during July 1987. *Netherlands Journal of Sea Research*, 25 (1), 143-154.
- Parlement Européen, Conseil de l'Union Européenne, 2000. Directive 2000/60/CE du parlement européen et du

- conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Journal officiel des Communautés européennes, p. 72.
- Pawlik, J.R., 1998. Coral reef sponges: Do predatory fishes affect their distribution? *Limnology and Oceanography*, 1396-1399.
- Pedersen, M.F., Borum, J., 1996. Nutrient control of algal growth in estuarine waters: nutrient limitation and the importance of nitrogen requirements and nitrogen storage among phytoplankton and species of macroalgae. *Marine Ecology Progress Series*, 142, 261-272.
- Pellouin-Grouhel, A., 2005. Recommandations techniques pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE. Stratégies d'échantillonnages et protocoles. Volume 1 : contaminants chimiques, phytoplancton, hydrologie. IFREMER, 58 p.
- Perez, T., 2001. Qualité de l'environnement marin littoral : étude des spongiaires pour la bioévaluation des peuplements de substrats durs. Thèse, Université de la Méditerranée - Aix Marseille II, Centre d'Océanologie de Marseille, 229 p.
- Perez, T., Harmelin, J.G., Vacelet, J., Sartoretto, S., 2002. La bioévaluation de la qualité littorale par les peuplements de substrats durs : Spongiaires, Gorgonaires et Bryozoaires, comme indicateurs de pollution. Programme LITEAU. Rapport pour: Centre d'Océanologie de Marseille.
- Rainbow, P.S., 1995. Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 31, 183-192.
- Rainbow, P.S., Phillips, D.J.H., 1993. Cosmopolitan biomonitors of trace metals. *Marine Pollution Bulletin*, 26, 593-601.
- Rocha, R.M., Guerra-Castro, E., Lira, C., Pauls, S.M., Hernández, I., Perez, A., Sardi, A., Perez, J., Herrera, C., Carbonini, A.K., 2010. Inventory of ascidians (Tunicata, Ascidiacea) from the National Park La Restinga, Isla Margarita, Venezuela. *Biota Neotropica*, 10 (1), 209-218.
- Rodriguez, C., Stoner, A.W., 1990. The epiphyte community of mangrove roots in a tropical estuary: Distribution and biomass. *Aquatic Botany*, 36 (2), 117-126.
- Rützler, K., 1969. The mangrove community, aspects of its structure, faunistics and ecology. Mexico City. UNAM-UNESCO, pp. 515-536.
- Rützler, K., 1995. Low-tide exposure of sponges in a Caribbean mangrove community. *Marine Ecology*, 16 (2), 165-179.
- Rützler, K., Díaz, M.C., van Soest, R.W.M., Zea, S., Smith, K.P., Alvarez, B., Wulff, J.L., 2000. Diversity of sponge fauna in mangrove ponds. Pelican Cayz, Belize. *Atoll Research Bulletin*, 476, 229-248.
- Rützler, K., Duran, S., Piantoni, C., 2007. Adaptation of reef and mangrove sponges to stress: evidence for ecological speciation exemplified by *Chondrilla caribensis* new species (Demospongiae, Chondrosida). *Marine Ecology*, 28 (s1), 95-111.
- Rützler, K., Goodbody, I., Díaz, M.C., Feller, I.C., Macintyre, I.G., 2004. The aquatic environment of Twin Cays, Belize. *Atoll Research Bulletin*.
- Saed, K., Ismail, A., Omar, H., Kusnan, M., 2002. Accumulation of Heavy Metals (Zn, Cu, Pb, Cd) in Flat-Tree Oysters *Isognomon Alatus* Exposed to Pig Farm Effluent. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 82, 45-58.
- Savage, C., Leavitt, P., Elmgren, R., 2004. Distribution and retention of effluent nitrogen in surface sediments of a coastal bay. *Limnology and Oceanography*, 1503-1511.
- Sheridan, R.P., 1991. Epicaulous, nitrogen-fixing microepiphytes in a tropical mangal community, Guadeloupe, French West Indies. *Biotropica*, 23 (4), 530-541.
- Sheridan, R.P., 1992. Nitrogen fixation by epicaulous cyanobacteria in the pointe de la saline mangrove community, Guadeloupe, French West Indies. *Biotropica*, 24 (4), 571-574.
- Singh, V., Odaki, K., 2004. Mangrove ecosystem: structure and function. Scientific Publishers Journals Dept, India, 318 p.
- Sutherland, J.P., 1980. Dynamics of the epibenthic community on roots of the mangrove *Rhizophora mangle*, at Bahía de Buche, Venezuela. *Marine Biology*, 58 (1), 75-84.
- Swearingen, D.C., Pawlik, J.R., 1998. Variability in the chemical defense of the sponge *Chondrilla nucula* against predatory reef fishes. *Marine Biology*, 131 (4), 619-627.
- Toffart, J.L., 1980. Composition, distribution et dynamique des peuplements sessiles des racines de palétuviers et leur importance dans l'écosystème littoral en Guadeloupe (Antilles françaises). Thèse, Université Pierre et Marie Curie, 125 p.
- Torres, M.A., Barros, M.P., Campos, S.C.G., Pinto, E., Rajamani, S., Sayre, R.T., Colepiccolo, P., 2008. Biochemical biomarkers in algae and marine pollution: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 71, 1-15.

- Vacelet, J., Bitar, G., Carteron, S., Zibrowius, H., Perez, T., 2007. Five new sponge species (Porifera: Demospongiae) of subtropical or tropical affinities from the coast of Lebanon (eastern Mediterranean). *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, 87 (6), 1539-1552.
- Van der Oost, R., Beyer, J., Vermeulen, N., 2003. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 13 (2), 57-149.
- Vangronsveld, J., Mench, M., Mocquot, B., Clijsters, H.A., 1998. Biomarqueurs d'exposition des végétaux terrestres aux polluants. Application à la pollution par les métaux. In: Lagadic, L., Caquet, T., Amiard, J.C., Ramade, F. (Eds.), *Utilisation de biomarqueurs pour la surveillance de la qualité Publ., Tec & Doc, Paris*, p. 320, p. 320.
- Venkateswara Rao, J., Srikanth, K., Pallela, R., Gnaneshwar Rao, T., 2009. The use of marine sponge, *Haliclona tenuiramosa* as bioindicator to monitor heavy metal pollution in the coasts of Gulf of Mannar, India. *Environmental monitoring and assessment*, 156 (1), 451-459.
- Villares, R., Puente, X., Carballeira, A., 2001. *Ulva* and *Enteromorpha* as indicators of heavy metal pollution. *Hydrobiologia*, 462, 221-232.
- Wahl, M., 1989. Marine epibiosis. I. Fouling and antifouling: Some basic aspects. *Marine Ecology Progress Series*, 58 (1), 175-189.
- Wulff, J.L., 2000. Sponge predators may determine differences in sponge fauna between two sets of mangrove cays, Belize barrier reef. *Atoll Research Bulletin*, 477, 249-263.
- Wulff, J.L., 2004. Sponges on mangrove roots, Twin Cays, Belize: early stages of community assembly. National Museum of Natural History, Smithsonian Institutionp.
- Wulff, J.L., 2005. Trade-offs in resistance to competitors and predators, and their effects on the diversity of tropical marine sponges. *Journal of Animal Ecology*, 74 (2), 313-321.
- Wulff, J.L., 2006. Sponge systematics by starfish: predators distinguish cryptic sympatric species of Caribbean fire sponges, *Tedania ignis* and *Tedania klausii* n. sp. (Demospongiae, Poecilosclerida). *The Biological Bulletin*, 211 (1), 83-94.
- Zuccarello, G.C., Yeates, P.H., Wright, J.T., Bartlett, J., 2001. Population structure and physiological differentiation of haplotypes of *Caloglossa leprieurii* (Rhodophyta) in a mangrove intertidal zone. *Journal of phycology*, 37, 235-244.

Annexes

Annexe 1 : Légende des typologies CLC 2006 présentes en Martinique

| couleur | code_clc_niveau_3 | libelle_fr |
|---------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| | 111 | Tissu urbain continu |
| | 112 | Tissu urbain discontinu |
| | 121 | Zones industrielles et commerciales |
| | 122 | Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés |
| | 123 | Zones portuaires |
| | 124 | Aéroports |
| | 131 | Extraction de matériaux |
| | 132 | Décharges |
| | 133 | Chantiers |
| | 141 | Espaces verts urbains |
| | 142 | Equipements sportifs et de loisirs |
| | 211 | Terres arables hors périmètres d'irrigation |
| | 212 | Périmètres irrigués en permanence |
| | 213 | Rizières |
| | 221 | Vignobles |
| | 222 | Vergers et petits fruits |
| | 223 | Oliveraies |
| | 224 | Canne à sucre |
| | 225 | Bananeraies |
| | 226 | Palmeraies |
| | 227 | Caféiers |
| | 231 | Prairies |
| | 241 | Cultures annuelles associées aux cultures permanentes |
| | 242 | Systèmes culturaux et parcellaires complexes |
| | 243 | Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants |
| | 244 | Territoires agro forestiers |
| | 311 | Forêts de feuillus |
| | 312 | Forêts de conifères |
| | 313 | Forêts mélangées |
| | 314 | Mangroves |
| | 321 | Pelouses et pâturages naturels |
| | 322 | Landes et broussailles |
| | 323 | Végétation sclérophylle |
| | 324 | Forêt et végétation arbustive en mutation |
| | 331 | Plages, dunes et sable |
| | 332 | Roches nues |
| | 333 | Végétation clairsemée |
| | 334 | Zones incendiées |
| | 335 | Glaciers et neiges éternelles |
| | 411 | Marais intérieurs |
| | 412 | Tourbières |
| | 421 | Marais maritimes |
| | 422 | Marais salants |
| | 423 | Zones intertidales |
| | 511 | Cours et voies d'eau |
| | 512 | Plans d'eau |
| | 513 | Cours et voies d'eau temporaires |
| | 521 | Lagunes littorales |
| | 522 | Estuaires |
| | 523 | Mers et océans |

Résumé

Dans le cadre de la DCE, un programme de recherche de bioindicateurs de l'évolution de la qualité des Masses d'Eau de Transition de Martinique a été mené entre Novembre 2010 et Mars 2012. Des suivis des épibiontes des racines du palétuvier *Rhizophora mangle* ont été mis en œuvre à 4 reprises, deux fois en saison humide et deux fois en saison sèche. Deux protocoles distincts ont permis de suivre l'ensemble des macro-organismes classés par grandes catégories ainsi que la diversité des spongiaires dans huit sites répartis autour de la Martinique.

Ce travail est le premier de ce type en Martinique. Il a permis d'acquérir de nombreuses données sur les épibiontes de racines de palétuviers, notamment la distribution des espèces et de groupes fonctionnels. Globalement environ 25% de la racine reste non colonisée. Ce sont ensuite les macroalgues et un couvert gazonnant multi-spécifique ("turf") qui occupent la majorité de l'espace, suivis par les bivalves (19%), les éponges (15%), les cirripèdes (4%), les bryozoaires (2%) et les ascidies (1%). Des variabilités spatiales (intra et inter site) et temporelles ont été observées. Cette variabilité suggère que certains groupes d'organismes pourraient contenir de bons bioindicateurs des variations de qualité du milieu (macroalgues, ascidies, spongiaires). Dans le futur, l'étude de ces groupes devrait être conduite au niveau de la diversité spécifique en considérant les préférences écologiques des espèces inventoriées.

Le suivi des spongiaires a permis de recenser 47 espèces, dont une n'avait jamais décrite auparavant. L'étude de la richesse spécifique cumulée à l'échelle de la Martinique a montré que l'effort d'échantillonnage était globalement satisfaisant, mais aussi, qu'il reste encore quelques espèces à recenser dans les mangroves. Des variations inter-sites et inter-campagnes des peuplements de spongiaires ont été mises en évidence. Au regard de cette variabilité, il semble exister une relation entre la richesse spécifique et l'indice de pression anthropique.

La richesse spécifique ainsi que la présence/absence de certaines espèces d'éponges sont des pistes sérieuses pour la construction d'un bioindicateur de la qualité des masses d'eau jouxtant les mangroves. L'expérience acquise au cours de ces quatre campagnes d'échantillonnage a également permis d'affiner la méthodologie et de faire de nombreuses préconisations concernant des suivis à venir. Des études complémentaires, en particulier au niveau spécifique sur les groupes autres que les spongiaires ainsi qu'un travail sur les indices de pressions anthropiques sont nécessaires pour confirmer ces conclusions.

Mots-clés : Martinique ; mangrove ; épibiontes ; spongiaires ; biodiversité ; indicateurs ; masses d'eau ; qualité ; pressions anthropiques.