



Mise en place du réseau de suivis du Contrat de la Baie de Fort-de-France

Lot 1 : Suivis en milieu marin



Rapport FINAL

Août 2014

Référence dossier : 1201_07_CACEM



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



Étude pour le compte de :



Communauté d'Agglomération du Centre de la Martinique (CACEM)
Immeuble Cascades III – Place François Mitterrand, BP 407
97200 Fort-de-France CEDEX
Tél : 05 96 75 82 72 ; Télécopie : 05 96 75 87 06
infos@cacem-mq.com
Contact : Stéphane Jérémie

Rapport à citer sous la forme :

Impact-Mer, 2014. Mise en place du réseau de suivi du Contrat de la Baie de Fort-de-France. Lot 1 : suivis en milieu marin. Rapport final. Rapport pour : CACEM, 107 pp (annexes incluses).

Rédaction :

Marie Duflos, Marie Thabard, Adeline Pouget-Cuvelier

Coordination générale :

Adeline Pouget-Cuvelier, Marie Duflos

Terrain :

Paul-Alexis Cuzange
Marie Duflos
Julien Garnier
Mélanie Herteman
Jérôme Letellier
Adeline Pouget-Cuvelier
Marie Thabard
Guillaume Tollu



Cartographie :

Paul-Alexis Cuzange



90 rue Prof. Garcin – Didier
97200 Fort-de-France
Tel : 05 96 63 31 35
Siret : 534 347 836 00015
contact@impact-mer.fr

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| A. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE..... | 1 |
| 1 Le Contrat de la Baie de Fort-de-France | 1 |
| 1.1 La démarche | 1 |
| 1.2 Le territoire..... | 2 |
| 1.3 Le réseau de suivis des effets environnementaux du contrat | 3 |
| 2 Objectifs de l'étude | 3 |
| 3 Déroulement de l'étude | 5 |
| B. MATERIEL ET METHODE..... | 6 |
| 1 Suivi de l'état de santé des peuplements coralliens de la baie et écosystèmes associés (Action G2.2) . | 6 |
| 1.1 Sites de suivi « Contrat de Baie » et fréquence des échantillonnages..... | 6 |
| 1.2 Protocole de suivi des communautés coralliennes | 7 |
| 1.2.1 État de santé des récifs | 7 |
| 1.2.2 Caractérisation de l'état des peuplements coralliens et des autres groupes d'organismes benthiques : composition et abondance relative | 7 |
| 1.2.3 Étude complémentaire de la couverture macroalgale au sein de la communauté corallienne..... | 9 |
| 1.2.4 Les oursins..... | 9 |
| 1.2.5 Blanchissement : indice stress corallien | 10 |
| 1.3 Protocole de suivi des herbiers de phanérogames marines | 11 |
| 1.3.1 État de santé de l'écosystème herbier : estimation visuelle | 11 |
| 1.3.2 Densité / biométrie foliaire des plants de phanérogames | 11 |
| 1.3.3 Étude complémentaire de la couverture macroalgale au sein des herbiers..... | 12 |
| 1.4 Recueil des données existantes (réseau DCE) | 12 |
| 1.5 Synthèse des actions menées dans le cadre du suivi de l'état de santé des peuplements coralliens et des écosystèmes associés | 13 |
| 2 Suivi des paramètres hydrologiques des eaux marines (Action G2.3) | 14 |
| 2.1 Paramètres physico-chimiques généraux et phytoplancton | 14 |
| 2.1.1 Sites de suivi « Contrat de Baie » et fréquence des échantillonnages..... | 14 |
| 2.1.2 Paramètres échantillonnés et protocoles | 14 |
| 2.1.3 Recueil des données existantes (réseaux DCE et RNO)..... | 15 |
| 2.2 Contamination de l'eau..... | 16 |
| 2.2.1 Techniques mises en œuvre..... | 16 |
| 2.2.2 Sites de suivi « Contrat de Baie » et fréquence des échantillonnages..... | 17 |
| 2.2.3 Opérations réalisées..... | 17 |
| 2.3 Synthèse des actions menées dans le cadre du suivi des paramètres hydrologiques des eaux marines | 18 |
| 3 Suivi de la contamination des sédiments et des organismes vivants par les micropolluants (Action G2.4) | 19 |
| 3.1 Sédiment | 19 |
| 3.1.1 Sites de suivi « Contrat de Baie » et fréquence des échantillonnages..... | 19 |
| 3.1.2 Paramètres échantillonnés et protocoles | 19 |
| 3.1.3 Recueil des données existantes (réseau REPOM)..... | 20 |
| 3.2 Biotopes (recueil des données existantes : réseau ROCCH) | 20 |
| 3.2.1 Sites et fréquences des suivis ROCCH sur le territoire du Contrat de Baie | 20 |
| 3.2.2 Plan chlrodécone | 21 |
| 4 Bilan des sites marins à suivre dans le cadre du Contrat de la Baie de Fort-de-France..... | 21 |
| C. RESULTATS..... | 23 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Suivi de l'état de santé des peuplements coralliens de la baie et écosystèmes associés (Action G2.2) | 23 |
| 1.1 | Prospection et choix des stations | 23 |
| 1.1.1 | Les stations « communautés coralliennes » | 25 |
| 1.1.2 | Les herbiers | 30 |
| 1.1.3 | Sites retenus pour le suivi des communautés benthiques | 30 |
| 1.2 | Suivis des communautés coralliennes | 32 |
| 1.2.1 | Atterrissage Rouge | 32 |
| 1.2.2 | Pointe la Rose | 35 |
| 1.2.3 | Large Ramier | 37 |
| 1.2.4 | Pointe des Nègres | 39 |
| 1.2.5 | Caye Pointe du Bout | 41 |
| 1.2.6 | Banc Gamelle (Recueil de données DCE) | 42 |
| 1.3 | Suivis des herbiers de phanérogames marines | 45 |
| 1.3.1 | Z'abricot | 45 |
| 1.3.2 | Biro | 46 |
| 1.3.3 | Aéroport : | 47 |
| 1.3.4 | Large Aéroport | 48 |
| 1.3.5 | Baie de Génipa | 49 |
| 1.3.6 | Caye Gros îlet | 50 |
| 1.3.7 | Pagerie | 51 |
| 1.3.8 | Anse Ane | 52 |
| 2 | Suivi des paramètres hydrologiques des eaux marines (Action G2.3) | 53 |
| 2.1 | Paramètres physico-chimiques généraux et phytoplancton | 53 |
| 2.1.1 | Conditions climatiques | 53 |
| 2.1.2 | Paramètres hydrologiques aux stations « Contrat de Baie » | 55 |
| 2.1.3 | Recueil des données existantes (RNO et DCE) | 60 |
| 2.1.4 | Tests statistiques : éléments marquants pour le suivi des paramètres hydrologiques | 63 |
| 2.2 | Contamination de l'eau | 64 |
| 3 | Suivi de la contamination des sédiments et des organismes vivants par les micropolluants (Action G2.4) | 65 |
| 3.1 | Suivi de la contamination des sédiments | 65 |
| 3.1.1 | Métaux | 67 |
| 3.1.2 | Hydrocarbures polyaromatiques (HAP) | 72 |
| 3.1.3 | Phtalates | 77 |
| 3.1.4 | Autres composés | 77 |
| 3.2 | Suivi de la contamination des organismes vivants | 78 |
| 3.2.1 | ROCCH | 78 |
| 3.2.2 | Plan chlordécone | 80 |

D. DIFFICULTES RENCONTREES.....82

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Suivis des paramètres biologiques (benthos) | 82 |
| 2 | Suivis des paramètres hydrologiques | 82 |
| 2.1 | Echantillons concernés | 82 |
| 2.2 | Solutions envisagées | 83 |
| 2.2.1 | Envoi des échantillons pour analyse dans un autre laboratoire (changement de prestataire) | 83 |
| 2.2.2 | Conservation des échantillons pour analyse ultérieure au LDA 972 | 83 |
| 2.3 | Solution proposée (validée par l'Ifremer) | 84 |
| 3 | Retour d'expérience sur les échantillonneurs passifs | 84 |
| 3.1 | Mouillages et récupération des échantillonneurs | 84 |
| 3.2 | Matériel nécessaire aux manipulations en laboratoire | 85 |
| 4 | Réseaux existants | 85 |

E. DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS 86

1 Les communautés de phanérogames marines des stations Contrat de Baie..... 86

1.1 Un phénomène d'hypermédimentation marqué..... 86

1.2 Une présence de macroalgues sur 3 stations 86

1.3 Des densité et hauteurs de plants variables en fonction des pressions ? 87

1.4 Une absence d'*Halophila stipulacea* sur les stations herbier..... 87

1.5 Très peu d'espèces associées 87

2 Communautés coralliennes des stations du Contrat de Baie 88

2.1 Des pourcentages en recouvrement corallien variables..... 88

2.2 Un phénomène d'hypermédimentation marqué..... 89

2.3 Des communautés algales développées à certaines stations..... 90

3 Hydrologie de la baie de Fort-de-France..... 92

4 Contamination sédimentaire en baie de Fort-de-France 93

5 Recommandations pour les suivis ultérieurs 94

5.1 Stations d'échantillonnage et répliqués 94

5.2 Échelle temporelle 94

5.3 Protocole d'échantillonnage..... 95

CONCLUSION ET PERSPECTIVES 96

BIBLIOGRAPHIE..... 98

ANNEXES 100

Annexe 1 : Liste des composés analysés par les techniques d'échantillonnage passif (DGT, SBSE et POCIS) sur les eaux marines 101

Annexe 2 : Liste des contaminants chimiques analysés sur la matrice sédiment aux stations Contrat de Baie, en 2012 104

Annexe 3 : Liste des contaminants chimiques analysés sur la matrice sédiment aux stations Contrat de Baie, en 2013 106

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Le territoire du Contrat de la Baie de Fort-de-France : contexte administratif..... | 2 |
| Figure 2 : Schéma de la mise en œuvre du suivi des peuplements récifaux et de la couverture macroalgale..... | 8 |
| Figure 3 : sites d'échantillonnage et radiales du réseau RNO Martinique (Observatoire de l'Eau Martinique) | 15 |
| Figure 4 : cartographie des points de prélèvement du réseau REPOM (Impact Mer, 2002) | 20 |
| Figure 5 : localisation des 4 stations ROCCH en Martinique (Impact Mer, 2012) | 21 |
| Figure 6 : Carte des sites marins suivis dans le cadre du Contrat de la Baie de Fort-de-France..... | 22 |
| Figure 7 : Répartition de l'espèce <i>Halophila stipulacea</i> dans la Baie de Fort de France (Source : Deal martinique)..... | 23 |
| Figure 8 : prospection des stations de suivi des communautés benthiques : parcours sous-marins réalisés..... | 24 |
| Figure 9 : Illustrations des communautés benthiques à Atterissage Rouge | 25 |
| Figure 10 : Illustrations des communautés benthiques à Pointe la Rose | 26 |
| Figure 11 : Illustrations des communautés benthiques à Fond Blanc Ramier | 27 |
| Figure 12 : Illustrations des communautés benthiques à Large Ramier | 29 |
| Figure 13 : Illustrations des communautés benthiques à Pointe de la Vierge..... | 30 |
| Figure 14 : Carte des sites de suivi des communautés benthiques | 31 |
| Figure 15 : Illustrations de la station "communautés coralliennes" de Banc Gamelle (Type 1) | 42 |
| Figure 16 : Proportions des éléments de la communauté corallienne (PIT) et des autres substrats de Banc Gamelle en 2013 | 43 |
| Figure 17 : Proportions des éléments de la communauté macroalgale (quadrat) et des oursins de Banc Gamelle | 44 |
| Figure 18 : carte des sites de suivi des paramètres hydrologiques des eaux marines. | 54 |
| Figure 19 : Evolution des paramètres mesurés <i>in situ</i> entre juin 2012 et mars 2014. Moyennes de surface pour l'ensemble des stations « Contrat de Baie » et écart-types. A : température (°C) et salinité. B : oxygène dissous (mg l ⁻¹) et pH..... | 56 |
| Figure 20 : évolution des paramètres analysés en laboratoire aux stations Contrat de Baie entre juin 2012 et mars 2014. (A) turbidité (FNU), (B), nitrates (µM), (C) nitrites (µM)..... | 58 |
| Figure 21 : évolution des paramètres analysés en laboratoire aux stations Contrat de Baie entre juin 2012 et mars 2014. (A) ammonium (µM), (B) phosphates (µM), (C) chlorophylle <i>a</i> (µg l ⁻¹)..... | 59 |
| Figure 22 : données RNO et DCE recueillies pour la période juin 2012 - mars 2014. (A) matières en suspension (mg l ⁻¹), (B) nitrates (µM), (C) nitrites (µM) | 61 |
| Figure 23 : données RNO et DCE recueillies pour la période juin 2012 - mars 2014. (A) ammonium (µM), (B) phosphates (µM), (C) chlorophylle <i>a</i> (µg l ⁻¹) | 62 |
| Figure 24 : Résultats de l'ACP effectuée sur l'ensemble des données hydrologiques acquises entre juin 2012 et mars 2014 aux stations Contrat de Baie | 64 |
| Figure 25 : carte des sites de suivi des contaminants chimiques dans les sédiments et le biote. | 66 |
| Figure 26 : Concentrations en métaux dans les sédiments (mg kg ⁻¹ de sédiment sec) aux stations Contrat de Baie et REPOM. (A) Arsenic, (B) Cadmium, (C) Chrome..... | 68 |
| Figure 27 : Concentrations en métaux dans les sédiments (mg kg ⁻¹ de sédiment sec) aux stations Contrat de Baie et REPOM. (A) Cuivre, (B) Mercure, (C) Lithium. | 69 |
| Figure 28 : Concentrations en métaux dans les sédiments (mg kg ⁻¹ de sédiment sec) aux stations Contrat de Baie et REPOM. (A) Nickel, (B) Plomb, (C) Etain. | 70 |
| Figure 29 : Concentrations en zinc dans les sédiments (mg kg ⁻¹ de sédiment sec) aux stations Contrat de Baie et REPOM..... | 71 |
| Figure 30 : Concentrations en HAP dans les sédiments (µg kg ⁻¹ de sédiment sec) aux stations Contrat de Baie et REPOM. (A) Anthracène, (B) Benzo (a) anthracène, (C) Benzo (a) pyrène | 73 |
| Figure 31 : Concentrations en HAP dans les sédiments (µg kg ⁻¹ de sédiment sec) aux stations Contrat de Baie et REPOM. (A) Benzo (b) fluoranthène, (B) Benzo (g,h,i) périlène, (C) Benzo (k) fluoranthène | 74 |
| Figure 32 : Concentrations en HAP dans les sédiments (µg kg ⁻¹ de sédiment sec) aux stations Contrat de Baie et REPOM. (A) Chrysène, (B) Fluoranthène, (C) Indéno (1,2,3-cd) pyrène | 75 |
| Figure 33 : Concentrations en HAP dans les sédiments (µg kg ⁻¹ de sédiment sec) aux stations Contrat de Baie et REPOM. (A) Naphtalène, (B) Phénanthrène, (C) Pyrène..... | 76 |

| | |
|---|----|
| Figure 34 : Concentrations en phtalates dans les sédiments ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de sédiment sec) aux stations Contrat de Baie et REPOM..... | 77 |
| Figure 35 : Suivis chlordécone sur les produits de la mer en baie de Fort-de-France. Représentation cartographique des résultats acquis en février, avril et mai 2013. | 81 |
| Figure 36 : Facteurs impliqués dans la dégradation récifale d'après McManus et Polsenberg, (2004). | 90 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : liste des stations présélectionnées pour le suivi des communautés benthiques..... | 6 |
| Tableau 2 : État de santé général des communautés coralliennes réparti en cinq classes..... | 7 |
| Tableau 3 : Code DCE utilisés pour le suivi des communautés coralliennes (version 2008)..... | 8 |
| Tableau 4 : Classification de l'abondance en macroalgues | 9 |
| Tableau 5 : Grille de qualité « Diadèmes » (Source : McField & Kramer 2007)..... | 9 |
| Tableau 6 : Classification du niveau de blanchissement d'une colonie corallienne et Grille de l'indice « stress corallien »..... | 10 |
| Tableau 7 : Indice de composition/perturbation de l'herbier. Classification de l'état de santé de l'écosystème herbier | 11 |
| Tableau 8 : Classification de l'indice de densité / hauteur de la canopée | 11 |
| Tableau 9 : Sites de suivis Contrat de Baie, pour les paramètres hydrologiques | 14 |
| Tableau 10 : détails méthodologiques et précisions pour l'analyse des paramètres physico-chimiques et la chlorophylle <i>a</i> | 15 |
| Tableau 11 : planning des campagnes d'échantillonnages passif..... | 17 |
| Tableau 12 : Niveaux de référence règlementaires ou en cours de validation par le groupe GEODE pour les sédiments dragués dans les ports français, destinés à être immergés..... | 65 |
| Tableau 13 : liste des HAP analysés aux stations Contrat de Baie et REPOM au cours des campagnes de 2012 et 2013 | 72 |
| Tableau 14 : Concentrations en éléments traces métalliques (mg kg ⁻¹ de poids sec) mesurées dans le cadre du ROCCH en baie de Fort-de-France. Campagnes de novembre 2012 et février 2013 | 78 |
| Tableau 15 : Concentrations en HAP (µg kg ⁻¹ de poids sec) mesurées dans le cadre du ROCCH en baie de Fort-de-France. Campagnes de novembre 2012 et février 2013 | 79 |
| Tableau 16 : Concentrations en contaminants organo-chlorés (µg kg ⁻¹ de poids sec) mesurées dans le cadre du ROCCH en baie de Fort-de-France. Campagnes de novembre 2012 et février 2013 | 79 |
| Tableau 17 : liste des échantillons concernés par la panne LDA (en rouge : les échantillons probablement dégradés) | 83 |
| Tableau 18 : Note sur la sensibilité des herbiers face aux stress turbidité et hypersédimentation..... | 86 |
| Tableau 19 : pourcentage de recouvrement et indice coralliens aux stations étudiées | 88 |
| Tableau 20 : Indice de qualité des milieux en fonction des pourcentages de recouvrement coralliens et autres paramètres (McField and Kramer 2007)..... | 89 |
| Tableau 21 : Note sur la sensibilité des coraux face aux stress turbidité et hypersédimentation | 89 |
| Tableau 23 : Sensibilité relative des coraux suivant leur type de réponse aux stress sédimentation et turbidité (d'après Erfteijer <i>et al.</i> , 2012). | 90 |

Préambule

Le présent document constitue le rapport final attendu dans le cadre du marché « mise en place du réseau de suivis du Contrat de la Baie de Fort-de-France – Lot 1 : suivis en milieu marin ».

Le réseau de suivis en milieu marin a été mis en place selon les modalités du marché. Ce rapport présente la synthèse et l'interprétation globale des résultats acquis dans le cadre du Contrat de Baie et des réseaux existants, au cours des deux années de suivis.

Ce rapport fera l'objet d'une présentation en comité de pilotage.

A. Contexte et objectifs de l'étude

1 Le Contrat de la Baie de Fort-de-France

1.1 La démarche

Source : *Contrat De Baie De Fort De France 2006*

L'outil « Contrat de Baie » est un dispositif contractuel issu d'une **démarche volontaire et partenariale** permettant aux différents acteurs d'une baie et de son bassin versant (élus, administrations, usagers, organismes socioprofessionnels et institutions) de définir d'une **manière globale et concertée** un **programme d'actions sur 5 ans visant à assurer le maintien de la qualité des eaux** de ce territoire, lorsque celle-ci est satisfaite, ou sa restauration, le cas échéant. Le Contrat de Baie n'est cependant pas un outil réglementaire et il ne garantit donc pas la préservation de l'espace ou le respect de règles de gestion de l'eau.

Le contrat de baie repose sur **trois principes essentiels** :

- L'articulation autour d'une série d'objectifs relatifs à la qualité des eaux d'un secteur du littoral,
- L'engagement des partenaires à réaliser le programme d'actions permettant de réaliser les objectifs retenus,
- La nécessité d'une structure de concertation et de gestion pour le maintien durable des résultats acquis pendant la durée du contrat.

L'intérêt de cette démarche « Contrat de Baie » est de prendre en compte les problématiques majeures liées à l'eau (qualité des écosystèmes marins, qualité des eaux de baignade, qualité des cours d'eau,...) sur un territoire pertinent et cohérent (une baie et son bassin versant) en impliquant l'ensemble des acteurs et des usagers de ce territoire. Les différentes actions à entreprendre pour préserver l'environnement littoral n'apportent en effet de résultats significatifs et durables que dans le cadre d'une **réflexion globale** et d'une **démarche concertée et partenariale** telle qu'elle est proposée dans la démarche « Contrat de Baie ».

La démarche d'élaboration du Contrat de Baie s'est réalisée en deux temps. Un dossier de candidature a d'abord été réalisé et présenté en Comité de Bassin en mai 2006. Ce dossier a reçu l'agrément du Comité de Bassin, et les cinq enjeux suivants ont été retenus :

- **Enjeu A** Hyper sédimentation, envasement de la baie et état des récifs coralliens
- **Enjeu B** Qualité des eaux littorales au regard des micropolluants
- **Enjeu C** Qualité bactériologique des eaux de la baie
- **Enjeu D** Niveau trophique de la baie
- **Enjeu E** Qualité écologique et chimique des cours d'eau.

Un arrêté préfectoral portant création du Comité de Baie a été pris le 2 novembre 2006. La CACEM assure le Secrétariat Technique de ce comité.

Le Comité de Baie a ensuite élaboré le dossier définitif de contrat de Baie et son programme d'actions, qui ont tous deux été validés par le Comité de Bassin le 19 juin 2009.

Ce programme d'action a été organisé en 7 grands thèmes :

- **Thème A** Assainissement des eaux usées domestiques
- **Thème B** Assainissement des eaux pluviales urbaines
- **Thème C** Pollutions industrielles, artisanales et portuaires
- **Thème D** Pollutions phytosanitaires
- **Thème E** Erosion / Aménagement de l'espace rural
- **Thème F** Milieux aquatiques
- **Thème G** Pilotage et suivi du contrat de baie

Le Contrat de Baie a finalement été signé le 7 mai 2010 par les élus et acteurs du territoire. Sa durée est de 5 ans.

La présente étude s'inscrit dans le thème G (VI.5. suivi des effets environnementaux du contrat) du programme d'action du Contrat de Baie

1.2 Le territoire

L'aire du Contrat de la Baie de Fort-de-France est définie par une **baie de 70 km²** environ s'étendant sur un **linéaire côtier approximatif de 50 km**, entre Schoelcher au Nord et le Cap Salomon au Sud et par le bassin versant hydrographique de la baie de Fort-de-France, d'une **superficie de 345 km²** soit près du tiers de la surface de la Martinique, drainé par de nombreux cours d'eau (Lézarde, rivière Salée, Madame, Monsieur, la Manche,...).

Le bassin versant de la baie de Fort-de-France recouvre le territoire complet ou partiel de **16 communes** (Figure 1). La population des communes concernées est proche de **290 000 habitants** soit plus de 75 % de la population totale de l'île.

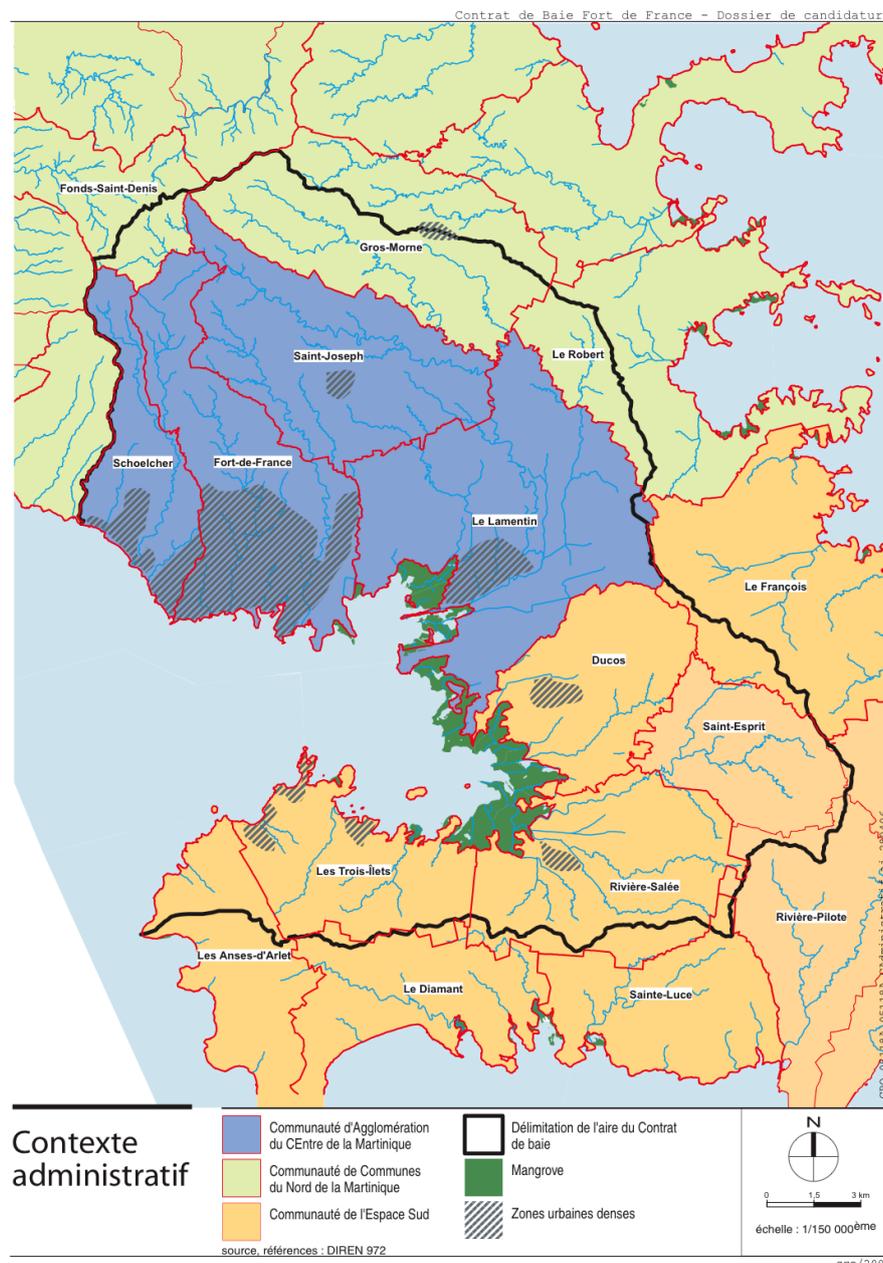


Figure 1 : Le territoire du Contrat de la Baie de Fort-de-France : contexte administratif

1.3 Le réseau de suivis des effets environnementaux du contrat

Une étude préalable a été réalisée pour la définition du réseau de suivis du Contrat de la Baie de Fort-de-France (Impact Mer & Asconit, 2010). Cette étude fait la synthèse et le diagnostic des réseaux existants et a établi des propositions pour la mise en place du réseau de suivis du Contrat de la Baie de Fort-de-France sur le milieu continental et marin. Des éléments de cette étude (milieu marin) sont repris dans le présent document.

La présente étude ne concerne que le milieu marin

2 Objectifs de l'étude

Le présent marché vise à mettre en place un réseau de suivis en milieu marin¹. Ce réseau de suivis doit permettre, d'une part, d'améliorer la connaissance des niveaux de contamination de certains milieux en début de contrat, et d'autre part, d'évaluer l'évolution de l'état des eaux et des milieux durant la période du contrat.

En considérant l'état et le fonctionnement général des milieux, la diversité des usages, le diagnostic, les contraintes, à la fois sur l'ensemble de la zone d'étude et pour chaque secteur, **les résultats de ces suivis** doivent permettre, sur le long terme, de répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les origines précises des perturbations?
- Quelles modifications des pratiques et des usages peut-on et/ou doit-on mettre en œuvre?
- Quels sont les facteurs d'alerte pour l'ensemble des acteurs de la baie ?
- Quels sont les indicateurs de mesure de l'efficacité des actions à mettre en œuvre, et comment seront-ils évalués ?

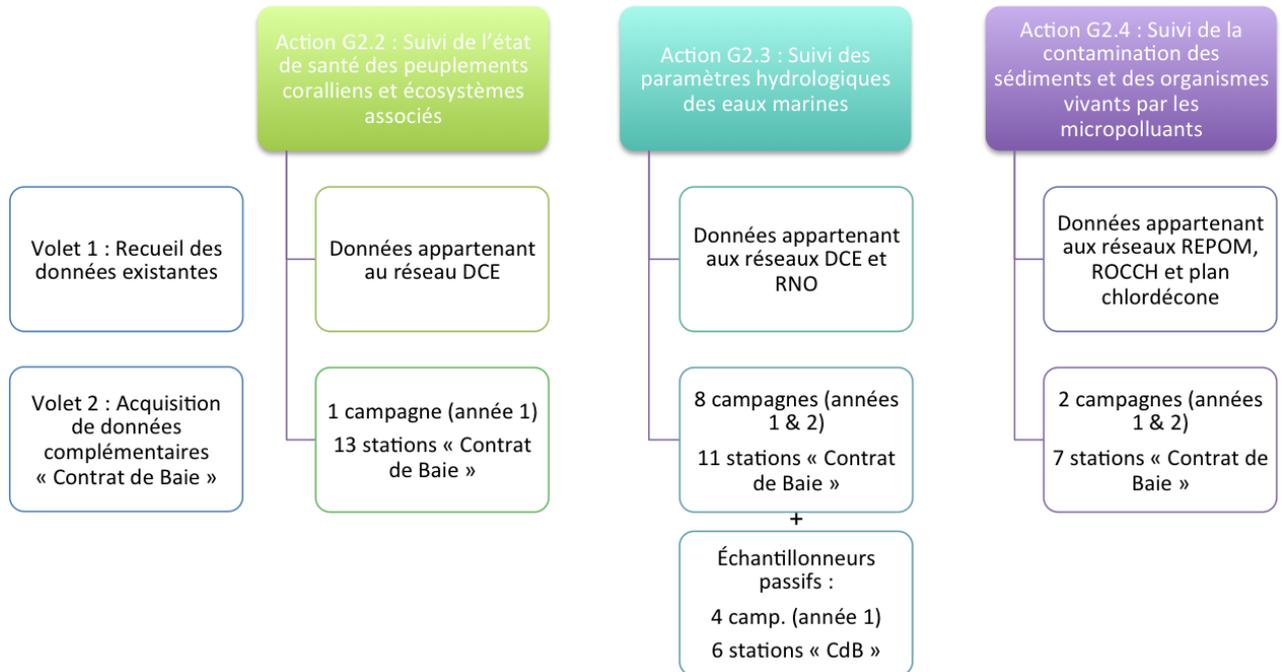
Dans ce contexte, **6 suivis prioritaires ont été définis dans le Contrat de Baie :**

- ❖ **Action G2.2 : Suivi de l'état de santé des peuplements coralliens (et écosystèmes associés)**
- ❖ **Action G2.3 : Suivis des paramètres hydrologiques des eaux marines**
- ❖ **Action G2.4 : Suivi de la contamination des sédiments et des organismes vivants par les micropolluants**
- ❖ Action G2.5 : Suivi du transport des matières solides dans certains cours d'eau
- ❖ Action G2.6 : Suivi de la contamination en produits phytosanitaires de certains cours d'eau
- ❖ Action G2.2 : Suivi hydrobiologique des cours d'eau

Parmi ces 6 suivis prioritaires, 3 actions concernent le milieu marin (actions G2.2, G2.3 et G2.4) et font l'objet de ce marché. L'étude, d'une durée de deux ans, s'articule autour de deux volets :

- **Le volet 1 : Recueil des données existantes dans le cadre d'autres réseaux de suivis**
- **Le volet 2 : Acquisition de données complémentaires, dans le cadre du Contrat de Baie.**

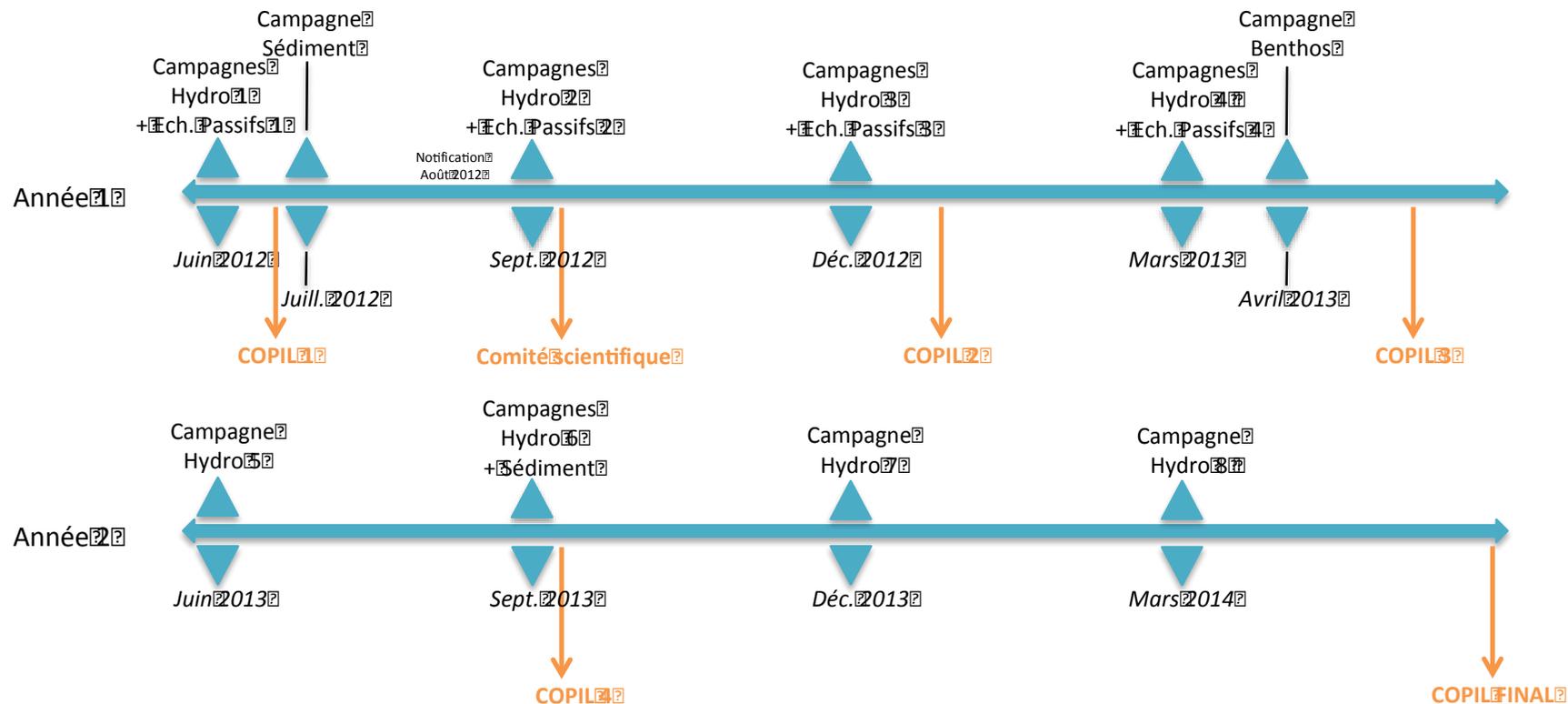
¹ Un réseau de suivis a également été mis en place en milieu terrestre. Il fait l'objet d'un marché séparé.



Remarque : année 1 : mai/juin 2012 à juin 2013 et année 2 : juin 2013 à juin 2014

3 Déroulement de l'étude

15 campagnes de terrain ont été réalisées, au cours desquelles plus de 360 paramètres ont été analysés dans l'eau et le sédiment (et le benthos), entre juin 2012 et mars 2014.



B. Matériel et méthode

1 Suivi de l'état de santé des peuplements coralliens de la baie et écosystèmes associés (Action G2.2)

1.1 Sites de suivi « Contrat de Baie » et fréquence des échantillonnages

Les communautés benthiques ont été suivies sur 13 stations de la baie de Fort-de-France.

Dans l'étude de définition du réseau de suivi du Contrat de la Baie de Fort-de-France (Impact Mer & Asconit, 2010), les stations avaient été pré-positionnées sur la base de la cartographie des biocénoses de la Martinique réalisée en 2010 (Legrand, 2010). Le Tableau 1 récapitule les stations initialement retenues : 8 étaient destinées au suivi des herbiers de phanérogames marines et 5 au suivi des communautés coralliennes.

Tableau 1 : liste des stations présélectionnées pour le suivi des communautés benthiques

| Stations présélectionnées | |
|---------------------------|---|
| Herbier | Récif |
| Z'abricot | Atterrissage Rouge |
| Aéroport | Fond Blanc Ramier (initialement Atterrissage Rouge sud 1) |
| Large Aéroport | Large Ramier (initialement Atterrissage Rouge sud 2) |
| Biroton | Pointe la Rose |
| Baie de Génipa | Caye Pointe du Bout |
| Caye Gros îlet | |
| Pagerie | |
| Anse Ane | |

Conformément au CCTP, une seule campagne d'échantillonnage était à programmer la première année du suivi. Cette campagne s'est déroulée au mois d'avril 2013, en deux temps :

- la prospection nécessaire au choix définitif des stations a été réalisée les 15 et 17 avril (positionnement précis des stations ou changement si station non pertinente),
- le suivi des communautés benthiques a été réalisé entre le 18 et le 25 avril.

Aucun suivi n'est prévu au cours de la seconde année du suivi.

1.2 Protocole de suivi des communautés coralliennes

Le protocole de suivi des communautés benthiques coralliennes est conforme à celui utilisé dans le cadre de la DCE 2012. Il se compose :

- d'une évaluation de l'état général de l'écosystème récifal,
- d'un échantillonnage de la composition et de l'abondance relative des peuplements coralliens et des autres organismes benthiques susceptibles d'être en compétition avec les coraux (algues et invertébrés sessiles),
- d'une étude complémentaire concernant la couverture en macroalgues.

L'échantillonnage de ces paramètres se déroule en plongée sous-marine (scaphandre autonome) sur :

- un secteur comprenant une zone corallienne homogène d'environ 10 m de profondeur
- une surface d'échantillonnage adaptée à la morphologie du fond :
 - si le site est non pentu : la surface équivaut à un disque de rayon de 50 m autour d'un point GPS identifiant le site
 - si le site est pentu : la surface d'échantillonnage correspond à une bande de 100 m de long et environ 2 mètres de large parallèle aux isobathes (la variation de profondeur au sein de cette bande doit être de 2 m maximum).

1.2.1 État de santé des récifs

La méthodologie d'évaluation de l'état de santé des récifs qui a été retenue est issue de Bouchon *et al.* (2004) et adaptée aux exigences de la DCE (5 classes ont été définies contre 4 dans Bouchon *et al.* 2004).

Six transects sont réalisés. Pour chacun, l'état de santé de la communauté corallienne est évalué visuellement selon les 5 classes définies dans le Tableau 2. Le très bon état est caractérisé par un peuplement corallien (dense ou non), sans nécrose et sans macroalgue. Il doit cependant être tempéré par les caractéristiques géographiques et géomorphologiques du site (fond de baie, zones exposées aux cyclones, etc.). L'état général de la station est calculé en moyennant les indices évalués dans les 6 transects.

Tableau 2 : État de santé général des communautés coralliennes réparti en cinq classes

| Indice de l'État de Santé | Peuplement Corallien |
|---------------------------|--|
| 1 = Très bon état | Coraux non nécrosés avec gazon algal et absence de macroalgues |
| 2 = Bon état | Coraux peu nécrosés ou quelques macroalgues ou sédimentation |
| 3 = État moyen | Coraux avec nécroses, peuplement dominé par les macroalgues ou hypersédimentation |
| 4 = État médiocre | Coraux nécrosés avec macroalgues et/ou hypersédimentation et envasement |
| 5 = Mauvais état | Coraux morts ou envahis de macroalgues ou totalement envasés, aucune espèce sensible |



Moyenne de l'indice sur les 6 transects = indice état de santé globale de la station communauté corallienne

1.2.2 Caractérisation de l'état des peuplements coralliens et des autres groupes d'organismes benthiques : composition et abondance relative

Le protocole d'évaluation de l'état des communautés benthiques coralliennes est issu du manuel technique d'études des récifs coralliens de la région Caraïbe (Bouchon *et al.* 2001) et basé sur les descripteurs et la codification de CoReMo 3 (mise à jour de la codification DCE correspondante en octobre 2008, Cf. Tableau 3).

Un plongeur (plongeur n°1 sur la Figure 2) déroule un **transect de 10 m** et l'attache en 2 points fixes tendu au-dessus du fond et au plus proche du substrat (moins de 50 cm). Le plongeur réalise un passage unique sur le transect et réalise un relevé de type « **point intercept** ». Ce relevé consiste à identifier la nature du substrat (Code CoReMo 3 + Notes) présent en un point sous le transect **tous les 20 cm**.

Cette opération est réalisée six fois par station benthos.

L'effort d'échantillonnage est donc de 50 points par transect de 10 m soit 300 points par station. Cette technique d'échantillonnage permet d'obtenir des informations qualitatives sur le benthos récifal et sur son état de stress (blanchissement, indice explicité ci-après).

Remarque : Les 6 transects peuvent être réalisés à la suite le long d'un multi décamètres de 60 m. Si la géomorphologie de la station le permet, cette disposition sera privilégiée.

De plus, des paramètres complémentaires seront consignés avec les données brutes : date et heure de plongée, nom des observateurs, point GPS de la zone considérée comme homogène (systèmes UTM 20, WGS84), conditions climatiques du jour et température de l'eau. Ces informations permettront de disposer de facteurs explicatifs liés aux conditions d'échantillonnage et, de permettre la traçabilité des données dans le cadre de l'assurance qualité.

Tableau 3 : Code DCE utilisés pour le suivi des communautés coralliennes (version 2008)

| | Saisie BD COREMO 3 | | Saisie DCE complémentaire | | Pour mémoire | |
|--------|--|--------------------------|---|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| | Code (niveau intermédiaire Reef Check) | Descripteur COREMO3 | Descripteur DCE | Notes | Version 2007 des codes modifiés | Acronymes français 2007 |
| Vivant | HC / SC | Hard Coral / Soft Coral | Corail vivant | | | CV |
| | HC | Hard Coral | Corail blanchi | CB | | CB |
| | SP | Sponge | Éponge | | | EP |
| | OT | Other | Autres invertébrés | GO, AN, ... | | INV |
| | NIA | Nutrient Indicator Algae | Macroalgues non calcaires | MA ou CYA | OT pour cyanophycées | MA |
| | OT | Other | Macroalgues calcaires | HAL, GAL, ... | | AC |
| | RC | Rock | Turf algal ou algue calcaire encroûtante. | TU ou AC | OT | TU |
| | Mort | RKC | Recent Killed Coral | Corail mort récemment (<1 an) | | |
| RC | | Rock | Substrat dur | | | R |
| RB | | Rubble | Débris coralliens (<15cm) | | | DC |
| SD | | Sand | Sable (<0,5cm) | | | SA |
| SI | | Silt/Clay | Vase (<1mm) | | | VA |

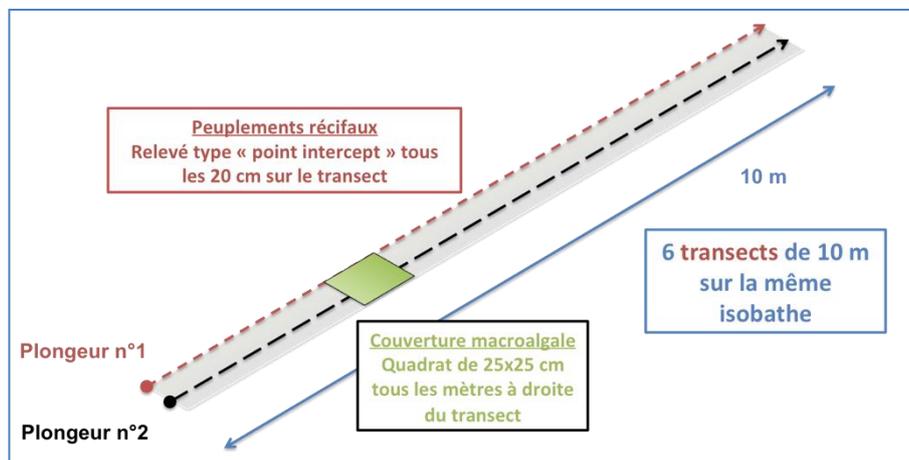


Figure 2 : Schéma de la mise en œuvre du suivi des peuplements récifaux et de la couverture macroalgale



Pourcentage relatif des différentes catégories d'organismes sur les 6 transects puis moyenne de ces 6 valeurs

→ Indice « couverture corallienne »

→ Indice « ratio couverture corail / macroalgue totale »

1.2.3 Étude complémentaire de la couverture macroalgale au sein de la communauté corallienne

Afin d'obtenir une approche plus détaillée de la couverture macroalgale, un suivi de ces organismes est réalisé par un deuxième plongeur simultanément au suivi des communautés coralliennes.

Le plongeur n°2 (Figure 2) réalise 10 quadrats de 25 x 25 cm le long de chaque transect de 10 m établi par le plongeur n°1, avec un pas d'espace régulier d'un mètre. Le quadrat est disposé contre le mètre linéaire (à droite) en face d'une graduation entière. Ainsi, la surface échantillonnée est de 0,625 m² par transect soit 3,75 m² par station.

Pour chacun de ces quadrats sont notés :

- Le recouvrement en macroalgues qui est évalué visuellement selon les 5 classes du Tableau 4.
- Le **genre ou l'espèce de macroalgue dominante**.
- La **nature du substrat** (substrat majoritaire présent dans le quadrat)
- La couverture en cyanobactéries, qui n'appartiennent pas aux macroalgues mais qui sont indicatrices d'eutrophisation, est notée en remarque mais ne rentre pas dans l'évaluation de la classe de recouvrement.

Remarque : soulignons que lors de cet échantillonnage, seuls l'espèce d'algue et le substrat dominant dans chaque quadrat sont échantillonnés (les autres espèces et substrats observés sont cependant notés en remarques). Ces deux indications de type qualitatif peuvent aider à l'interprétation de l'état de santé de l'environnement marin en termes d'eutrophisation. Cependant, elles ne peuvent en aucun cas être interprétées en termes quantitatifs car les proportions exactes de ces éléments au sein du quadrat ne sont pas indiquées (classe de couverture). Les résultats obtenus ne peuvent donc pas être assimilés à une « couverture » spécifique ou abiotique (contrairement à l'échantillonnage effectué avec les points intercept qui prend en compte toutes les espèces et substrats rencontrés).

Tableau 4 : Classification de l'abondance en macroalgues

| Classes | Type de présence | % recouvrement |
|---------|------------------------------|----------------|
| 0 | Pas de macroalgues | 0% |
| 1 | Présence éparse | 1-10% |
| 2 | Présence nettement visible | 11-50% |
| 3 | Présence et couverture forte | 51-90% |
| 4 | Couverture totale | 91-100% |

➡ Moyenne des classes de couverture sur tous les quadrats de la station = indice « macroalgue »

1.2.4 Les oursins

Le protocole d'échantillonnage est le suivant : un quadrat de 1 m x 1 m est positionné à chaque mètre linéaire du transect et la totalité des oursins diadèmes est comptabilisée (soit 60 quadrats par station et 60 m² couverts).

Ces organismes étant vagiles il est important de réaliser l'échantillonnage à des heures standardisées (entre 10h00 et 14h00 ; McField & Kramer 2007). Une grille de qualité définie *a priori* est proposée ci-après (Tableau 5) et sera affinée lors de l'analyse des résultats.

Tableau 5 : Grille de qualité « Diadèmes » (Source : McField & Kramer 2007)

| Classes | Très bon | Bon | Moyen | Médiocre | Mauvais |
|---|----------------|---------|---------|-----------|---------|
| Densité de Diadèmes (nbre /m ²) | > 2,5 mais < 7 | 1,1-2,5 | 0,5-1,0 | 0,25-0,49 | <0,25 |

➡ Moyenne du nombre d'individus sur tous les quadrats de la station = densité des individus (Nombre d'individu / m²)

1.2.5 Blanchissement : indice stress corallien

Sur la base de la méthodologie décrite précédemment pour l'étude des peuplements coralliens (6 transects de 10m de long réalisés), le plongeur note le code de corail blanchi (code=« HC » et Note= « CB ») et ajoute le pourcentage de corail blanchi sous la forme d'un indice de blanchissement en 5 classes comme indiqué dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Classification du niveau de blanchissement d'une colonie corallienne et Grille de l'indice « stress corallien »

| Classe | La colonie corallienne est blanchie à : | Classification du stress des colonies coralliennes | Classification de l'indice « stress corallien » : |
|----------|---|--|---|
| Classe 0 | 0 % | Très bon état | 0 à 0,49 (≈ 0) |
| Classe 1 | 1 à 10 % | Bon état | 0,5 à 1,49 (≈ 1) |
| Classe 2 | 11 à 50 % | État moyen | 1,5 à 2,49 (≈ 2) |
| Classe 3 | 51 à 90 % | État médiocre | 2,5 à 3,49 (≈ 3) |
| Classe 4 | 91 à 100 % | Mauvais état | 3,5 et + (>3) |



Moyenne des classes de blanchissement sur les 6 transects de la station = indice « stress corallien »

1.3 Protocole de suivi des herbiers de phanérogames marines

Pour chaque site présentant un herbier, un suivi de cet écosystème est réalisé. Comme pour les communautés coralliennes, le protocole DCE 2011 a été appliqué pour le suivi des herbiers.

L'échantillonnage de ces paramètres se déroule en plongée sous-marine (scaphandre autonome) sur :

- Un secteur comprenant une zone d'herbier homogène (*Thalassia testudinum* pur ou mixte c'est-à-dire avec du *Syringodium filiforme*)²
- Une surface d'échantillonnage équivalente à la totalité de l'herbier en évitant la périphérie de l'herbier (conditions écologiques différentes)

1.3.1 État de santé de l'écosystème herbier : estimation visuelle

La classification de l'état de santé d'un herbier peut être basée sur sa composition et l'observation de signes d'eutrophisation et de sédimentation. La typologie utilisée dans les suivis DCE a été établie par C. Bouchon (UAG) et adaptée par Impact-Mer pour être en conformité avec la DCE. Elle permet de déterminer 5 classes hiérarchisées.

Cet état de santé est estimé visuellement grâce à la typologie établie (Tableau 7).

Remarque : Cette typologie ne concerne que les herbiers à Thalassia et ou Syringodium. Elle ne prend pas en compte la présence d'autres espèces comme l'espèce envahissante Halophila stipulacea

Tableau 7 : Indice de composition/perturbation de l'herbier. Classification de l'état de santé de l'écosystème herbier

| Classification de l'état de Santé | Caractéristique de l'herbier de phanérogames |
|-----------------------------------|--|
| 1 = Très bon état | Herbier de <i>Thalassia testudinum</i> pur |
| 2 = Bon état | Herbier mixte à <i>Thalassia</i> et <i>Syringodium</i> ou Herbier à <i>Syringodium</i> pur |
| 3 = État moyen | Signe d'eutrophisation ou de sédimentation |
| 4 = État médiocre | Herbier avec macroalgues ou envasé. Eutrophisation ou hypersédimentation marquée |
| 5 = Mauvais état | Herbier envahi par les macroalgues ou envasé |



Indice de l'état de santé global de la station herbier

1.3.2 Densité / biométrie foliaire des plants de phanérogames

La densité des plants et la hauteur de la canopée seraient également liées à l'état de santé de l'écosystème herbier. À partir de cette constatation Bouchon *et al.* 2003 ont établi un protocole de suivi et une classification de l'état de santé du milieu. Ce protocole a été repris et la classification a été adaptée aux exigences DCE :

Un premier plongeur comptabilise le nombre de plants (ou faisceaux³) de *Thalassia testudinum* et de *Syringodium filiforme* dans 30 quadrats de 10 x 20 cm (soit 0,6 m²) positionnés aléatoirement dans une zone d'herbier homogène.

Un deuxième plongeur mesure la longueur de la plus grande feuille (de la base à l'extrémité non « broutée » si possible) de 100 plants de *Thalassia testudinum* pris au hasard dans la zone d'herbier homogène.

Ces données doivent permettre de :

- caractériser la canopée : indice de densité des plants / hauteur de la canopée (classification provisoire : Tableau 8, cet indice n'a pas encore été utilisé pour la classification de l'état écologique)
- calculer l'abondance relative des 2 espèces de phanérogames considérées

Tableau 8 : Classification de l'indice de densité / hauteur de la canopée

| Classification | Caractéristiques des plants |
|-------------------|---------------------------------|
| 1 = Très bon | Herbier dense et haut |
| 2 = Bon | Herbier dense et court |
| 3 = Moyen | Herbier peu dense et haut |
| 4 = État médiocre | Herbier peu dense et court |
| 5 = Mauvais état | Herbier clairsemé et très court |

² Le protocole présenté ne convient pas aux herbiers à *Halophila*, qui ne sont par conséquent pas échantillonnés.

³Un plant ou faisceau peut être composé de plusieurs feuilles



- Longueur moyenne des plus grandes feuilles de *Thalassia* (en cm) = hauteur de la canopée
 - Densité moyenne des plants de *Thalassia* (en nombre de plants / m²)
 - Densité moyenne des plants de *Syringodium* (en nombre de plants / m²)
- à transformer en indice(s)

1.3.3 Étude complémentaire de la couverture macroalgale au sein des herbiers

Un suivi des macroalgues au sein des herbiers a été ajouté dans le protocole de suivi DCE en 2009. *Cet indice n'est cependant pas utilisé pour l'évaluation de l'état global de l'herbier.*

Un deuxième plongeur réalise 10 quadrats de 25 x 25 cm posés aléatoirement au sein de l'herbier.

Le recouvrement en macroalgues est évalué visuellement par quadrat selon les 5 classes du Tableau 4.

Pour chaque quadrat, sont indiqués :

- le genre ou l'espèce de macroalgue dominante.,
- la nature du substrat (substrat majoritaire présent dans le quadrat).

Ces deux dernières indications de type qualitatif peuvent aider à l'interprétation de l'état de santé de l'environnement marin en termes d'eutrophisation. Cependant, elles ne peuvent en aucun cas être interprétées en termes quantitatifs (taux de recouvrement) car les proportions exactes de ces éléments au sein du quadrat ne sont pas indiquées.

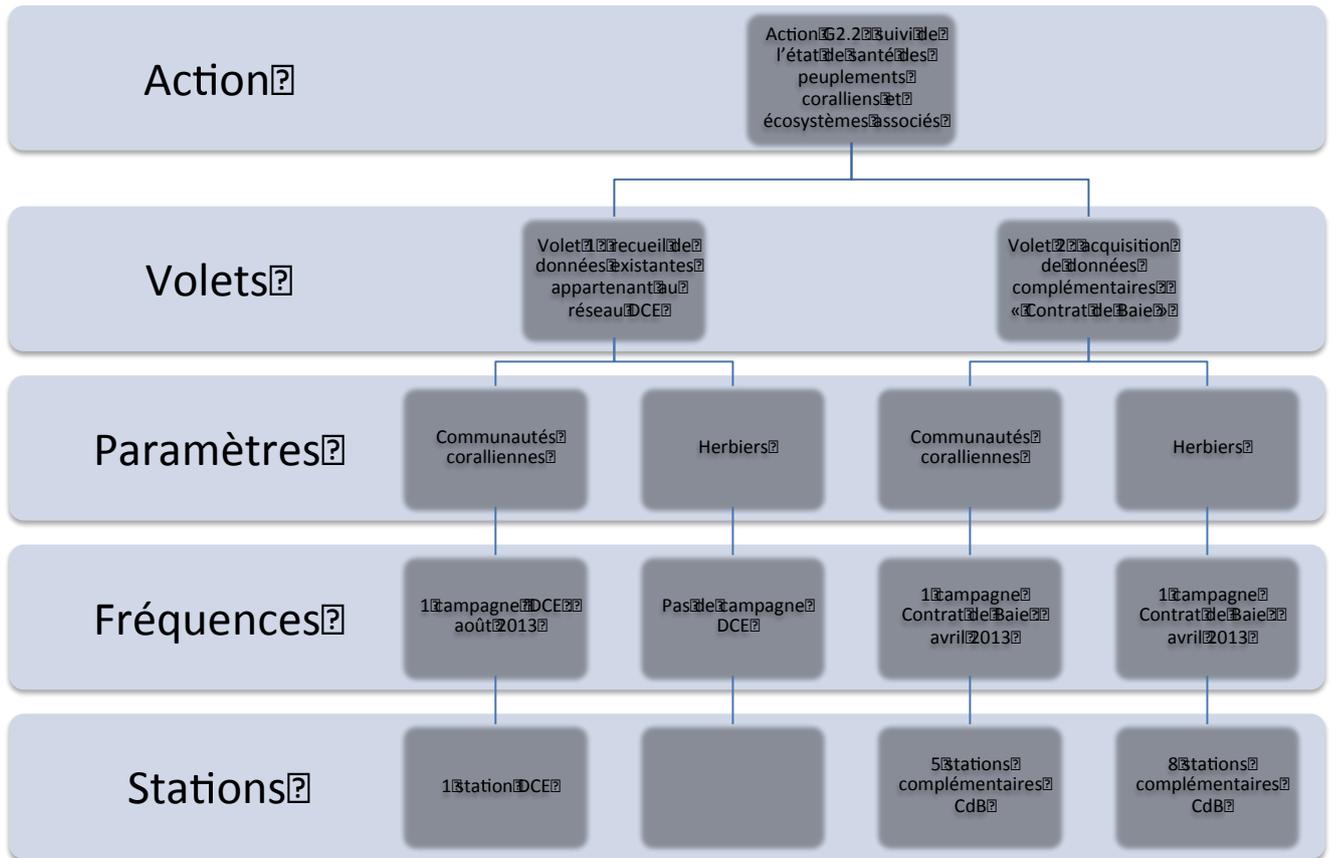


Moyenne des classes de couverture sur tous les quadrats de la station = indice «macroalgue»

1.4 Recueil des données existantes (réseau DCE)

Le suivi DCE des communautés benthiques n'a pas été réalisé en 2012. La campagne de 2013 a été réalisée en juillet-août 2013, selon les mêmes protocoles que ceux décrits ci-dessus et uniquement pour les communautés coralliennes. Sur le territoire du Contrat de Baie, un seul site DCE a été suivi : Banc Gamelle.

1.5 Synthèse des actions menées dans le cadre du suivi de l'état de santé des peuplements coralliens et des écosystèmes associés



2 Suivi des paramètres hydrologiques des eaux marines (Action G2.3)

2.1 Paramètres physico-chimiques généraux et phytoplancton

2.1.1 Sites de suivi « Contrat de Baie » et fréquence des échantillonnages

Les échantillonnages se sont déroulés sur 11 stations de la baie de Fort-de-France (Tableau 9) :

Les 8 campagnes de prélèvement se sont déroulées à une fréquence trimestrielle, de juin 2012 à mars 2014.

L'ensemble des prélèvements a été réalisé le matin, en parallèle aux prélèvements de chlorophylle *a*. Les stations ont été échantillonnées autant que possible à des heures comparables et dans le même ordre, d'une campagne à l'autre.

Tableau 9 : Sites de suivis Contrat de Baie, pour les paramètres hydrologiques

| | |
|---|----------------|
| Anse Ane | Aéroport |
| Large Ramier (initialement Atterrissage Rouge sud 2) | Large Aéroport |
| Fond Blanc Ramier (initialement Atterrissage Rouge sud 1) | Birot |
| Flamands_Sud | Baie de Génipa |
| Z'abricots | Caye Gros Ilet |
| Pagerie | |

2.1.2 Paramètres échantillonnés et protocoles

Les méthodes de prélèvement, d'échantillonnage et d'analyse sont conformes aux préconisations de l'IFREMER (Aminot et Kérouel, 2004) et aux normes en vigueur (NF EN ISO 5667, FD T90 523-1, notamment). Elles correspondent à celles utilisées dans les protocoles de suivi du RNO et de la DCE en Martinique.

Les paramètres échantillonnés dans le cadre du suivi des paramètres hydrologiques sont identiques à ceux de la DCE 2012 (Tableau 10).

Mesure des paramètres in situ :

L'eau de mer est prélevée grâce à une bouteille NISKIN (bouteille Free Flow HYDRO-BIOS, 2,5 l) en sub-surface, puis tous les 2 mètres (jusqu'à une profondeur équivalente à 2 m au-dessus de la profondeur maximale de la station). La **température**, la **salinité**, le **pH**, l'**oxygène** dissous et la saturation en oxygène sont analysés simultanément par une sonde multiparamètre (WTW Multi 350i) calibrée quotidiennement (Tableau 10).

Paramètres analysés en laboratoire :

L'eau de mer est prélevée grâce à une bouteille NISKIN (bouteille Free Flow HYDRO-BIOS, 2,5 l) en sub-surface. L'eau contenue dans la bouteille est ensuite sous-échantillonnée dans des flacons destinés aux différentes analyses. Une fois remplis, les flacons sont immédiatement placés debout à l'obscurité et au frais. L'ensemble des échantillons est livré au laboratoire d'analyse avant 14 h 00 le jour du prélèvement (LDA Martinique).

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 et à la DCE).

Tableau 10 : détails méthodologiques et précisions pour l'analyse des paramètres physico-chimiques et la chlorophylle *a*

| Paramètre | Analyse | Méthode d'analyse | Limite de quantification | Précision |
|-----------------------|----------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Salinité | <i>In situ</i> | Sonde multiparamètres | 0 à 70 psu | ± 0,2 |
| Température | <i>In situ</i> | Sonde multiparamètres | -5 à +105 °C | ± 0,2 |
| pH | <i>In situ</i> | Sonde multiparamètres | -2 à +20 | ± 0,004 |
| Oxygène | <i>In situ</i> | Sonde multiparamètres | 0 à 20 mg/l 0 à 200% | ± 0,5% de la valeur mesurée |
| Chlorophylle <i>a</i> | LDA 972 | NF T 90-117 Scor Unesco | 0,01 µg/l | |
| Nitrates | LDA 972 | Méthode RNO + Spectro UV-V | 0,05 µmol/l | 0,02 |
| Nitrites | LDA 972 | Méthode RNO + Spectro UV-V | 0,03 µmol/l | 0,01 |
| Ammonium | LDA 972 | Méthode RNO + Spectro UV-V | 0,1 µmol/l | 0,05 |
| Orthophosphates | LDA 972 | Méthode RNO + Spectro UV-V | 0,05 µmol/l | 0,02 |
| Turbidité | LDA 972 | NF EN ISO 7027 | 0,1 et 40 FNU | 0,03 |

2.1.3 Recueil des données existantes (réseaux DCE et RNO)

Réseau DCE :

Un seul site DCE a été suivi sur le territoire du Contrat de Baie pour les paramètres hydrologiques : **Banc Gamelle**.

Les prélèvements DCE se sont déroulés chaque trimestre, aux mêmes dates que les échantillonnages du réseau « Contrat de Baie » (8 campagnes : de juin 2012 à mars 2014). Toutefois, seuls les résultats des 4 premières campagnes (juin, septembre, décembre 2012 et mars 2013) étaient disponibles pour être intégrés et traités dans le cadre de cette étude.

Les protocoles d'échantillonnages et paramètres mesurés sont identiques à ceux suivis dans le cadre du Contrat de Baie (Tableau 10).

Réseau RNO :

Dans le cadre du RNO, 7 stations sont suivies en baie de Fort-de-France (**Atterrissage Rouge, Pointe du Bout, Pointe de la Rose, Gros Ilet, Banc Gamelle** (différent du site DCE), **Pointe des Sables, Cohé du Lamentin**). Ces stations sont situées sur deux radiales convergentes : la radiale nord, sous l'influence de la rivière Lézarde et la radiale sud, qui concerne la baie de Génipa (Figure 3).

Les prélèvements RNO se déroulent à une fréquence mensuelle et non trimestrielle. Les données disponibles pour la période d'étude qui nous intéresse ont été recueillies, elles correspondent aux campagnes de juin 2012 à octobre 2012, de août 2013 à novembre 2013 et de février et mars 2014.

Les protocoles d'échantillonnages sont identiques à ceux appliqués aux stations Contrat de Baie, les paramètres également, excepté la turbidité, remplacée par la concentration en matières en suspension (MES).



Figure 3 : sites d'échantillonnage et radiales du réseau RNO Martinique (Observatoire de l'Eau Martinique)

2.2 Contamination de l'eau

Bien que la technique d'échantillonnage passif ne soit pas encore opérationnelle ni validée en Martinique, elle a été utilisée afin de réaliser un état initial de la contamination chimique de la baie de Fort-de-France.

La prestation d'Impact Mer pour ce volet consiste en une assistance technique et logistique pour l'organisation des campagnes d'échantillonnages, le conditionnement du matériel, les extractions et les expéditions. Ce travail a été réalisé en partenariat avec l'Ifremer, le Cèdre et le LPTC.

L'intégration de ces données et leur interprétation ne sont pas prévues dans le cadre de cette étude. Elle font l'objet d'un rapport annexe (Gonzalez *et al.*, 2013).

2.2.1 Techniques mises en œuvre

Trois techniques d'échantillonnage passif ont été utilisées :

- DGT (Diffusive Gradient in Thin film) :

La technique DGT permet de mesurer les concentrations de certains cations métalliques dissous : cadmium (Cd), cuivre (Cu), cobalt (Co), chrome (Cr), plomb (Pb), manganèse (Mn), nickel (Ni) et zinc (Zn), ainsi que l'argent (Ag) en test.

Les échantillonneurs DGT sont disposés en triplicats sur un support en plastique et immergés dans l'eau pendant 2 à 4 jours minimum.



- POCIS (Polar Organic Chemical Integrative Sampler) :

Les POCIS sont utilisés pour la surveillance des contaminants organiques hydrophiles tels que des alkylphénols, des pesticides ou encore certaines substances émergentes (produits pharmaceutiques).

Les membranes POCIS sont fixées sur des disques en inox et disposées par trois dans des cages métalliques. Les cages sont immergées pendant 21 jours minimum.



- SBSE (Stir Bar Sorptive Extraction) :

La technique SBSE permet de doser des composés organiques hydrophobes tels que HAP, PCB ou certains pesticides (organo-chlorés).

Contrairement aux techniques DGT et POCIS, la technique SBSE n'est pas intégrative dans le temps. Un échantillon d'eau de mer est prélevé à chaque station. De retour au laboratoire, une étape d'extraction par sorption est réalisée avec un barreau aimanté sous agitation magnétique.



La liste des contaminants analysés à l'aide des trois techniques est donnée en Annexe 1.

2.2.2 Sites de suivi « Contrat de Baie » et fréquence des échantillonnages

Le suivi des contaminants chimiques dans l'eau de mer concerne uniquement la première année du suivi. Quatre campagnes d'échantillonnage ont été réalisées en parallèle aux campagnes destinées aux analyses des paramètres physicochimiques et de la chlorophylle *a*.

La première campagne, réalisée en mai-juin 2012 a bénéficié de la mutualisation des moyens avec celle menée par la DEAL et l'ODE dans le cadre de la DCE. Les campagnes suivantes ont été organisées en septembre, décembre 2012 et en mars 2013 (Tableau 11).

Tableau 11 : planning des campagnes d'échantillonnages passif

| | Campagne 1 | Campagne 2 | Campagne 3 | Campagne 4 |
|--|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Pose des échantillonneurs (POCIS et DGT) | 21/05/12 | 13/09/12 | 17/12/12 | 14/03/13 |
| Prélèvements d'eau | 21/05/12 | 19/09/12 | 17/12/12 | 19/03/13 |
| Récupération des DGT | 01/06/12 | 19/09/12 | 20/12/12 | 19/03/13 |
| Récupération des POCIS | 11/06/12 | 04/10/12 | 09/01/13 | 04/04/13 |
| Extractions SBSE | 19 et 21/11/12 | 19 et 21/11/12 | 25 et 26 /06/13 | 25 et 26 /06/13 |

Les échantillonnages ont été réalisés sur 6 stations réparties autour de la baie de Fort-de-France, aux embouchures des principales rivières (cf. Figure 18) :

- Embouchure de la rivière Madame : Madame EP
- Embouchure de la rivière Monsieur : Monsieur EP
- Embouchure de la rivière Jambette : Jambette EP
- Embouchure de la rivière Lézarde : Lézarde EP
- Embouchure de la rivière Salée : Salée EP
- Embouchure de la Pagerie : Pagerie

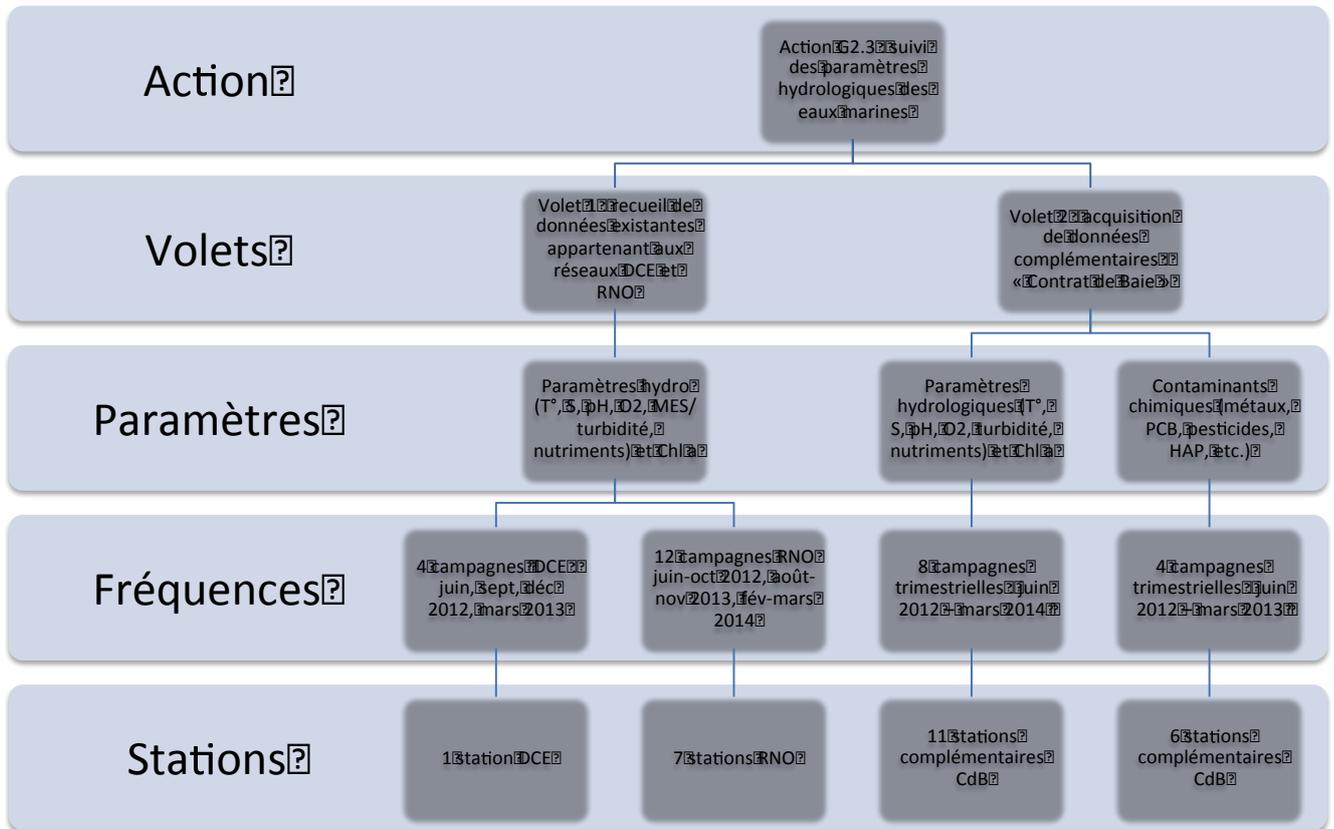
2.2.3 Opérations réalisées

L'ensemble des manipulations de laboratoire s'est déroulé dans les locaux d'Impact Mer ou à la station Ifremer du Robert, où un local, un réfrigérateur, un congélateur et un four à pyrolyse ont été mis à disposition.

Les préconisations de l'Ifremer ont été respectées scrupuleusement pour toutes les manipulations des échantillonneurs sur le terrain ou au laboratoire (Gonzalez, 2012) :

- Préparation des lignes de mouillage
- Préparation des échantillonneurs
- Pose des échantillonneurs
- Prélèvements d'eau de mer destinés aux analyses SBSE
- Récupération des échantillonneurs, et conditionnement
- Extractions SBSE
- Renvoi des échantillonneurs conditionnés aux différents laboratoires

2.3 Synthèse des actions menées dans le cadre du suivi des paramètres hydrologiques des eaux marines



3 Suivi de la contamination des sédiments et des organismes vivants par les micropolluants (Action G2.4)

3.1 Sédiment

3.1.1 Sites de suivi « Contrat de Baie » et fréquence des échantillonnages

Le suivi des contaminants chimiques dans les sédiments a été réalisé sur 7 stations de la baie de Fort-de-France (Cf. Figure 25):

- Anse Ane,
- Baie de Génipa,
- Flamands_Sud,
- Bourg de Schoelcher,
- Caye Gros Ilet,
- Pagerie,
- Rivière Lézarde

Deux campagnes d'échantillonnage ont été réalisées (en juillet 2012 et septembre 2013), approximativement aux mêmes périodes que les campagnes REPOM.

3.1.2 Paramètres échantillonnés et protocoles

Les méthodes de prélèvements, d'échantillonnage et d'analyse s'appuient sur les recommandations de l'Ifremer (guide de prélèvement d'échantillons marins pour l'analyse des contaminants chimiques, 2007) et sur les normes et/ou guides en vigueur (norme NF EN ISO 5667-15, guide ISO 5667-12, notamment). Elles sont conformes à celles utilisées dans le cadre du réseau de suivi REPOM. Les prélèvements sont notamment réalisés moteur éteint, par des opérateurs munis de gants à usage unique (non poudrés).

Les prélèvements de sédiments sont réalisés à l'aide d'une benne Eckman-Birge (0,033m²), en sub-surface. A chaque station, 3 prélèvements élémentaires sont réalisés, espacés au maximum de quelques mètres les uns des autres. Les premiers centimètres de sédiment contenus dans chaque benne sont récupérés, en prenant soin d'éviter toute contamination.

Les échantillons élémentaires sont ensuite mélangés afin d'obtenir un échantillon brut par station. L'échantillon brut de 600 ml est ensuite transféré dans un flacon en verre étiqueté. Une fois remplis, les flacons sont immédiatement placés debout à l'obscurité et au frais (glacière rigide + plaques eutectiques ou glace) jusqu'au retour à terre.

Conformément aux recommandations du laboratoire d'analyse (laboratoire de Rouen), les échantillons ont été congelés à -20°C puis expédiés le lendemain au laboratoire, conditionnés dans des glacières contenant de la carboglace.

Conformément au CCTP, les substances analysées correspondent aux substances de l'état chimique DCE et aux substances spécifiques locales, dont le support le plus pertinent à étudier est le sédiment (liste des eaux douces choisie par défaut).

Les concentrations en contaminants ont été mesurées par un laboratoire agréé (laboratoire de Rouen⁴). Les paramètres, méthodes d'analyse, limites de quantification et accréditations COFRAC éventuelles sont détaillés dans les tableaux présentés en Annexe 2.

Remarque : lors de la seconde campagne, une partie des composés non détectés la première année n'a pas été recherchée et 51 composés supplémentaires ont été analysés (Annexe 3).

⁴ Le laboratoire de Rouen possède l'accréditation COFRAC et l'agrément du Ministère de l'Environnement pour la plupart des paramètres à analyser.

3.1.3 Recueil des données existantes (réseau REPOM)

Sur le territoire du Contrat de Baie, les suivis REPOM concernent 5 sites du port de Fort-de-France : **Baie des Flamands, Quai Ouest, Quai Est, Pointe des Grives, Cohé du Lamentin** (Figure 4).

Les données recueillies correspondent aux campagnes qui se sont déroulées en juillet 2012 et août 2013. Les protocoles de prélèvement sont identiques à ceux appliqués aux stations Contrat de Baie mais la liste des composés recherchés diffère entre les deux types de suivis (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

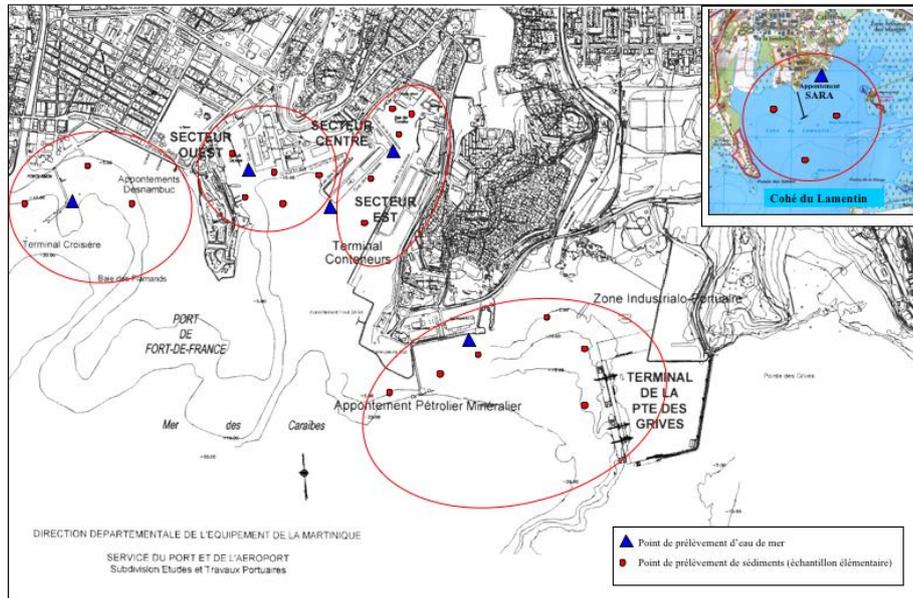


Figure 4 : cartographie des points de prélèvement du réseau REPOM (Impact Mer, 2002)

Rappel : Initialement, le marché ne prévoyait pas l'intégration des données du réseau REPOM dans l'analyse des données sédiment. Lors de la réunion de démarrage du 27 juin 2012, le comité de pilotage a demandé que ces données soient tout de même intégrées. Cette proposition a été validée par la CACEM et Impact Mer (sans incidence financière).

3.2 Biotés (recueil des données existantes : réseau ROCCH)

Le suivi de la contamination des organismes vivants par les micropolluants ne fait pas l'objet d'échantillonnages complémentaires sur des stations Contrat de Baie. Seul le recueil des données issues du réseau ROCCH et du plan chlordécone est prévu dans le cadre de ce marché.

3.2.1 Sites et fréquences des suivis ROCCH sur le territoire du Contrat de Baie

Les suivis ROCCH sont réalisés sur 4 stations dont 2 situées sur le territoire du Contrat de Baie : **Rivière Lézarde** et **Baie de Génipa** (Figure 5).

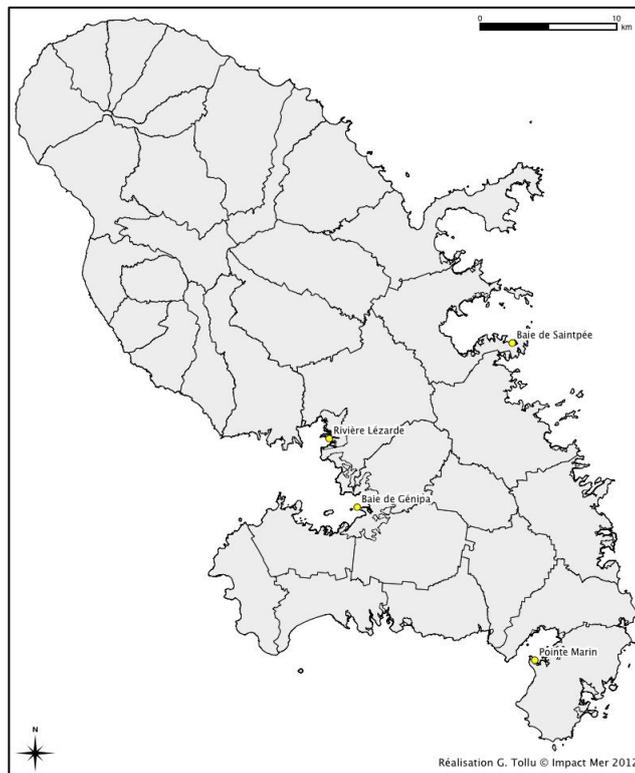


Figure 5 : localisation des 4 stations ROCCH en Martinique (Impact Mer, 2012)

La mesure des contaminants chimiques est réalisée sur l'huître plate des palétuviers *Isognomon alatus*. Deux campagnes de prélèvements sont organisées chaque année, sur le modèle métropolitain (en février et novembre).

Les paramètres mesurés dans le cadre du suivi ROCCH en Martinique sont les suivants :

- métaux
- insecticides organochlorés, dont chlordécone
- polychlorobiphényles (PCB)
- hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les données recueillies dans le cadre du Contrat de baie sont celles des campagnes de novembre 2012 et février 2013.

3.2.2 Plan chlordécone

Dans le cadre du plan chlordécone, des analyses de chlordécone sont réalisées sur des produits de la mer. Les données disponibles recueillies correspondent à une vingtaine d'échantillons prélevés en baie de Fort-de-France aux mois de février, avril et mai 2013.

4 Bilan des sites marins à suivre dans le cadre du Contrat de la Baie de Fort-de-France

La carte suivante (Figure 6) illustre l'ensemble des sites Contrat de Baie suivis pour l'état de santé des communautés benthiques, les paramètres hydrologiques (physico-chimiques et contaminants chimiques) des eaux marines, et les contaminants chimiques des sédiments.

Contrat de la Baie de Fort-de-France : réseau de suivis en milieu marin

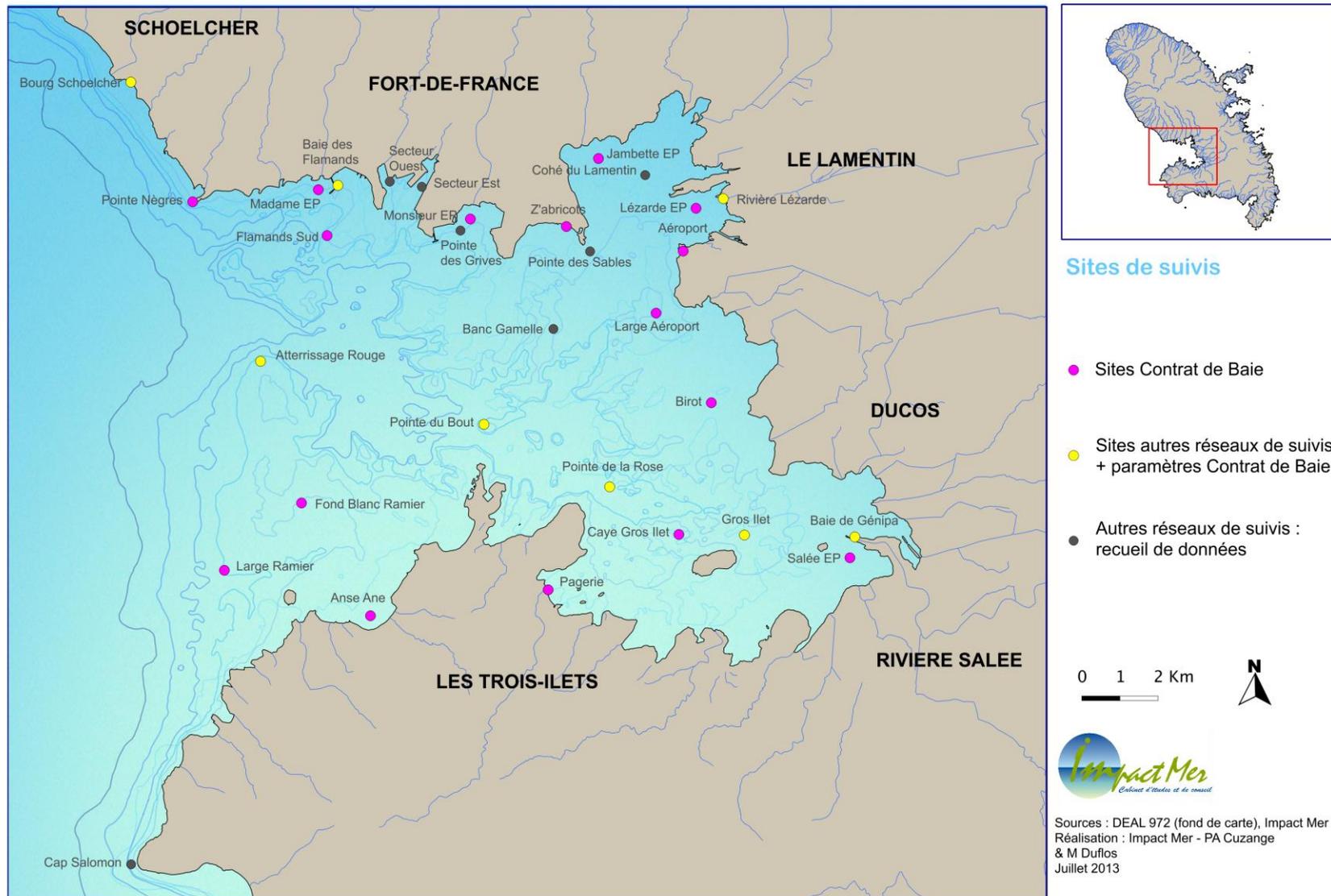


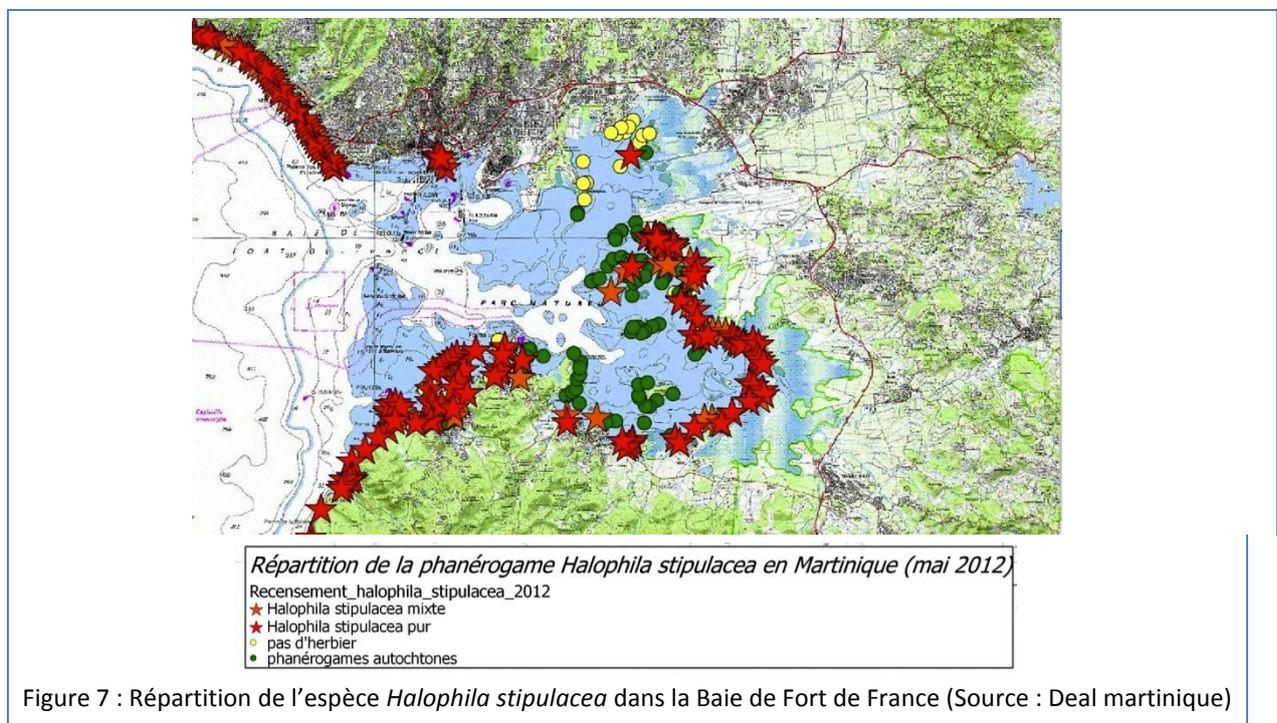
Figure 6 : Carte des sites marins suivis dans le cadre du Contrat de la Baie de Fort-de-France

C. Résultats

1 Suivi de l'état de santé des peuplements coralliens de la baie et écosystèmes associés (Action G2.2)

1.1 Prospection et choix des stations

Les stations à échantillonner pour le suivi des peuplements benthiques (CCTP + Note méthodologique) avaient été définies d'après la cartographie des biocénoses benthiques réalisée par Legrand en 2010. Cependant, depuis l'élaboration de cette cartographie les communautés benthiques des stations présélectionnées ont pu évoluer. Pour les herbiers notamment, l'apparition en Martinique de la nouvelle espèce de phanérogame marine envahissante *Halophila stipulacea* a changé le paysage sous-marin, notamment dans la baie de Fort de France (Figure 7). De plus, la colonisation des récifs par les macroalgues marines est un processus connu en Martinique et il est probable que certaines stations reconnues jusqu'à présent comme coralliennes aient été colonisées par des macroalgues depuis.



Le choix des stations avait été réalisé sur la base des recommandations faites lors des précédents comités de pilotage (2009-2013) :

1. Les stations « communautés coralliennes » à faciès majoritairement corallien (station « corallienne ») ou à faciès corail/macroalgues non calcaires (station « intermédiaire » correspondant à un état dégradé d'une station « corallienne ») doivent être privilégiées mais il serait également pertinent d'échantillonner une station à dominance macroalgale (station « macroalgue »)
Pour cette raison et pour permettre l'observation d'un « gradient », les stations **Atterrissage Rouge**, Atterrissage Rouge Sud 1 (renommée **Fond Blanc Ramier**) et Atterrissage Rouge Sud 2 (renommée **Large Ramier**) avaient été retenues.
2. Des stations « herbier » à dominance de *Thalassia testudinum* et *Syringodium filiforme* doivent être privilégiés pour rester en cohérence avec les suivis DCE.
3. L'échantillonnage et le suivi d'herbiers de phanérogames marines composés de *Halophila stipulacea* (espèce de phanérogame envahissante) seraient également pertinents mais il a été convenu que cette étude devait faire l'objet de la mise au point d'un protocole adapté voire de la mise en place d'un groupe de travail spécifique.

Afin de s'assurer de la composition des stations présélectionnées, une prospection a donc été réalisée en scaphandrier autonome (stations communautés coralliennes et herbiers) et/ou en apnée (stations herbiers uniquement).

Remarque : Cette prospection non prévue dans le marché a fait l'objet d'un avenant complémentaire.

La Figure 8 illustre les stations prospectées et les parcours sous-marins réalisés.

Contrat de la Baie de Fort-de-France : prospection des stations de suivi des communautés benthiques

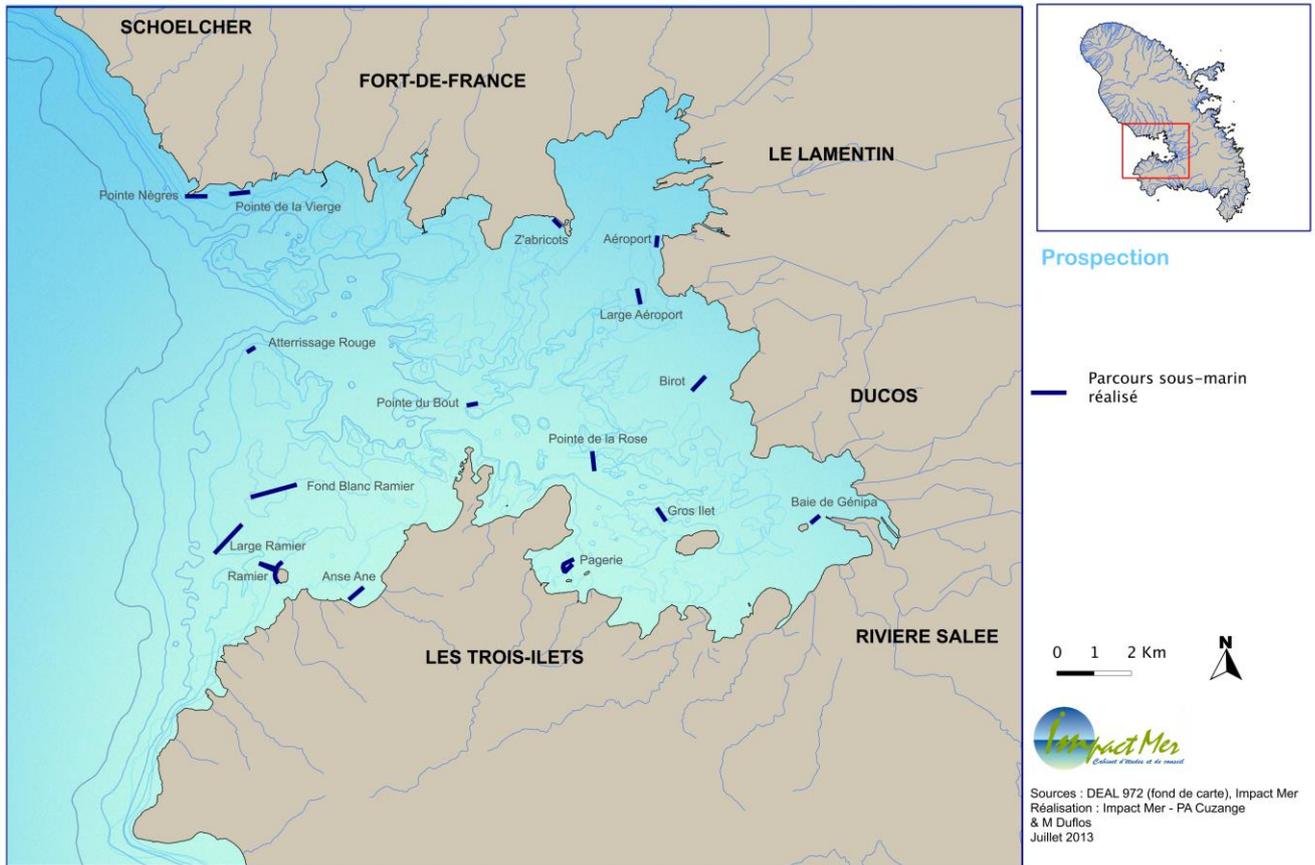


Figure 8 : prospection des stations de suivi des communautés benthiques : parcours sous-marins réalisés

1.1.1 Les stations « communautés coralliennes »

Parmi les stations « corail », deux ont été repositionnées afin de répondre aux recommandations pour la mise en place des suivis.

a) Atterrissage Rouge : station supposée « corallienne »

Le site d'Atterrissage Rouge semble être en bon état de santé. Il présente une forte couverture corallienne, représentée principalement des *Madracis mirabilis*. Quelques espèces plus rares, comme le corail *Dendrogyra cylindrus* classé en tant que vulnérable sur les listes IUCN ont également été observées. La zone semble exploitée par les pêcheurs (plusieurs casiers observés et plusieurs zones de casse de colonies coralliennes, probablement sous l'effet des casiers).

→ Ce site présente les caractéristiques requises pour être sélectionné et suivi.



Figure 9 : Illustrations des communautés benthiques à Atterrissage Rouge

b) Pointe de la rose : station supposée « intermédiaire »

Le site de Pointe de la Rose présente des communautés coralliennes bioconstruites très envasées. Une bonne richesse spécifique en coraux et de nombreuses éponges sont observées dans ce site.

→ Ce site présente les caractéristiques requises pour être sélectionné et suivi.



Figure 10 : Illustrations des communautés benthiques à Pointe la Rose

c) **Fond Blanc Ramier : station supposée « macroalgue »**

Ce site avait été présélectionné pour sa **couverture supposée en macroalgues**. Cependant, il présente un herbier de phanérogame marine à *Halophila stipulacea* et aucune caye corallienne n'a été notée. Seules quelques patates coralliennes sont présentes.

Il est intéressant de noter que cet herbier jeune présente d'ores et déjà de nombreuses espèces associées et semble riche.

→ Ce site qui était prospecté pour trouver un faciès à macroalgues n'a donc pas été retenu.



Figure 11 : Illustrations des communautés benthiques à Fond Blanc Ramier

Il a donc été choisi de prospecter deux autres stations complémentaires pour remplacer cette station : Caye Pointe du Bout. et îlet à Ramier

Nord Ouest de l'îlet à Ramier

Ce site situé en sortie de baie de Fort-de-France est *a priori* moins soumis aux pressions anthropiques.

Notons que la station prospectée pour le contrat de Baie n'est pas l'îlet en lui-même, mais sa partie nord ouest qui pouvait potentiellement présenter le faciès recherché.

Cependant, au delà de 7-8 m, le substrat est recouvert d'un herbier de phanérogames marines à *Halophila stipulacea*.

→ Ce site qui était prospecté pour trouver un faciès à macroalgues n'a donc pas été retenu.

Remarque : Une exploration en parallèle de l'îlet Ramier a permis de noter que, contrairement aux autres sites explorés, ce site à éboulis rocheux présentait de nombreux poissons lions.

Caye Pointe du Point

Cette station présente des colonies coralliennes dégradées, qui pourraient être qualifiées de intermédiaires. Cette station est localisée sur le plateau, en surplomb d'un tombant. Le substrat est bioconstruit, mais les colonies coralliennes sont dégradées. On note la présence de nombreuses éponges, et de macroalgues.

→ Ce site qui était prospecté a été retenu pour remplacer Fond Blanc Ramier.



d) Large Ramier : station supposée « intermédiaire »

De 18 à 15 m de profondeur, cette zone est non bio-construite, mais présente des patates coralliennes colonisées par des Sargasses. C'est un faciès intermédiaire Algue-Corail mais **dominé par les macroalgues**. A partir de 15 m, les patates coralliennes sont plus clairsemées et laissent place à de grandes bandes de sable nu, puis à des herbiers de phanérogames marines à *H. stipulacea*.

→ Ce site (au-delà de 15 m de profondeur) présente les caractéristiques requises pour être sélectionné et suivi. Cette station sera considérée comme la station « macroalgue » à la place de la station Fond Blanc Ramier.



Figure 12 : Illustrations des communautés benthiques à Large Ramier

e) Baie des Flamands : station supposée « intermédiaire »

Ce site situé sur un axe de navigation (navette maritime Fort de France / Trois Ilet) ne répondait pas aux conditions de sécurité pour le positionnement d'une station de suivi à long terme.

→ Ce site n'a donc pas été retenu.

Il a été choisi de le prospecter 2 stations pour remplacer celle-ci : Pointe de la Vierge et Pointe des Nègres.

Pointe de la Vierge

Ce site « urbain » localisé à proximité de la rivière Madame permettrait d'apprécier les influences de la ville sur les biocénoses. D'après la cartographie des biocénoses (Legrand, 2010), il présenterait des communautés algales. Cependant, la prospection a mis en évidence une zone presque entièrement colonisée par des *Halophila stipulacea*. Quelques zones de sable « nu » subsistent mais sont rares. De nombreux macro déchets ont été observés, parmi lesquels des pneus, des taules, etc.

→ Ce site qui était prospecté pour trouver un faciès à macroalgues n'a donc pas été retenu.

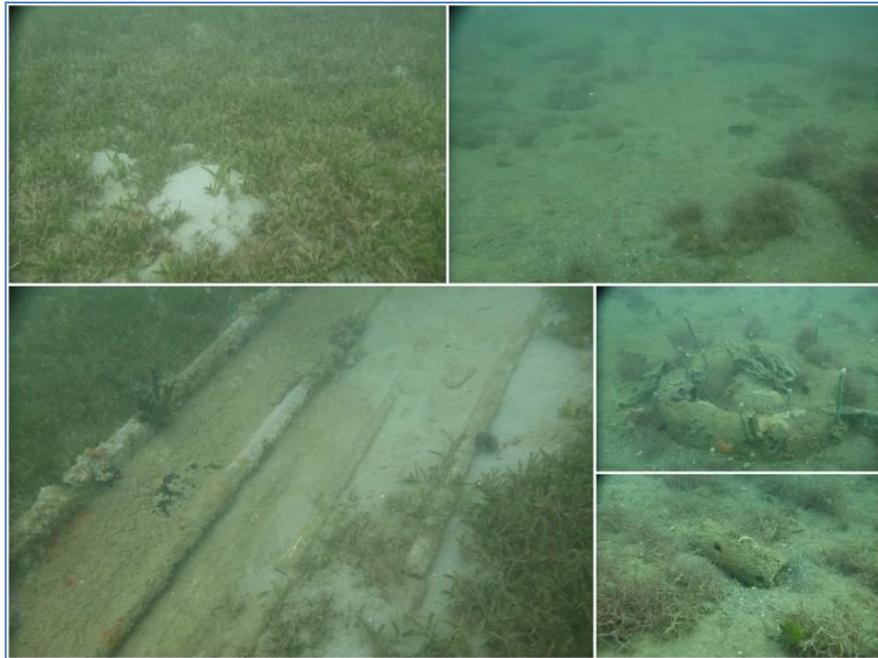


Figure 13 : Illustrations des communautés benthiques à Pointe de la Vierge

Pointe des Nègres

Ce site « urbain » localisé en sortie nord de baie de Fort de France est soumis à plusieurs pressions anthropiques parmi lesquelles une STEP. La Pointe des Nègres présente des communautés coralliennes bioconstruites. Ces dernières sont en mauvais état, enalguées et quelques peu envasées.

→ Ce site qui était prospecté pour trouver des communautés coralliennes a été retenu.

f) Bilan

Huit sites ont été prospectés de manière approfondie et plusieurs autres sites ont été survolés durant cette phase prospective. Ce travail a permis de montrer que certaines zones ont été entièrement colonisées par l'espèce d'herbier invasive *Halophila stipulacea* depuis 2010. Ces herbiers récents présentent d'ores et déjà de nombreuses espèces associées (juvéniles de poissons, *Pina carnea*, oursins, macroalgues...).

Cinq sites ont pu être sélectionnés afin de conduire les suivis des communautés coralliennes :

- Atterrissage Rouge
- Large Ramier
- Pointe des Nègres
- Pointe de la Rose
- Caye Pointe du Bout

1.1.2 Les herbiers

Toutes les zones présélectionnées pour la prospection des herbiers de phanérogames marines présentaient des communautés pures à *Thalassia testudinum* ou mixtes à *Thalassia testudinum*, *Syringodium filiforme* (cas de l'Anse à l'âne). Aucune zone à *Halophila stipulacea* n'a été notée aux points inspectés.

→ Toutes les stations présélectionnées ont par conséquent été validées pour la réalisation du suivi.

1.1.3 Sites retenus pour le suivi des communautés benthiques

Cette prospection a montré que les communautés benthiques de certaines stations présélectionnées avaient évolué depuis la réalisation de la cartographie des biocénoses benthiques (Legrand, 2010). Ceci concerne en particulier les communautés algales qui semblent avoir été « remplacées » ou « complétées » par des herbiers à *Halophila stipulacea*.

Les sites retenus pour le suivi des communautés benthiques sont présentés sur la carte suivante (Figure 14).

Contrat de la Baie de Fort-de-France : réseau de suivis en milieu marin

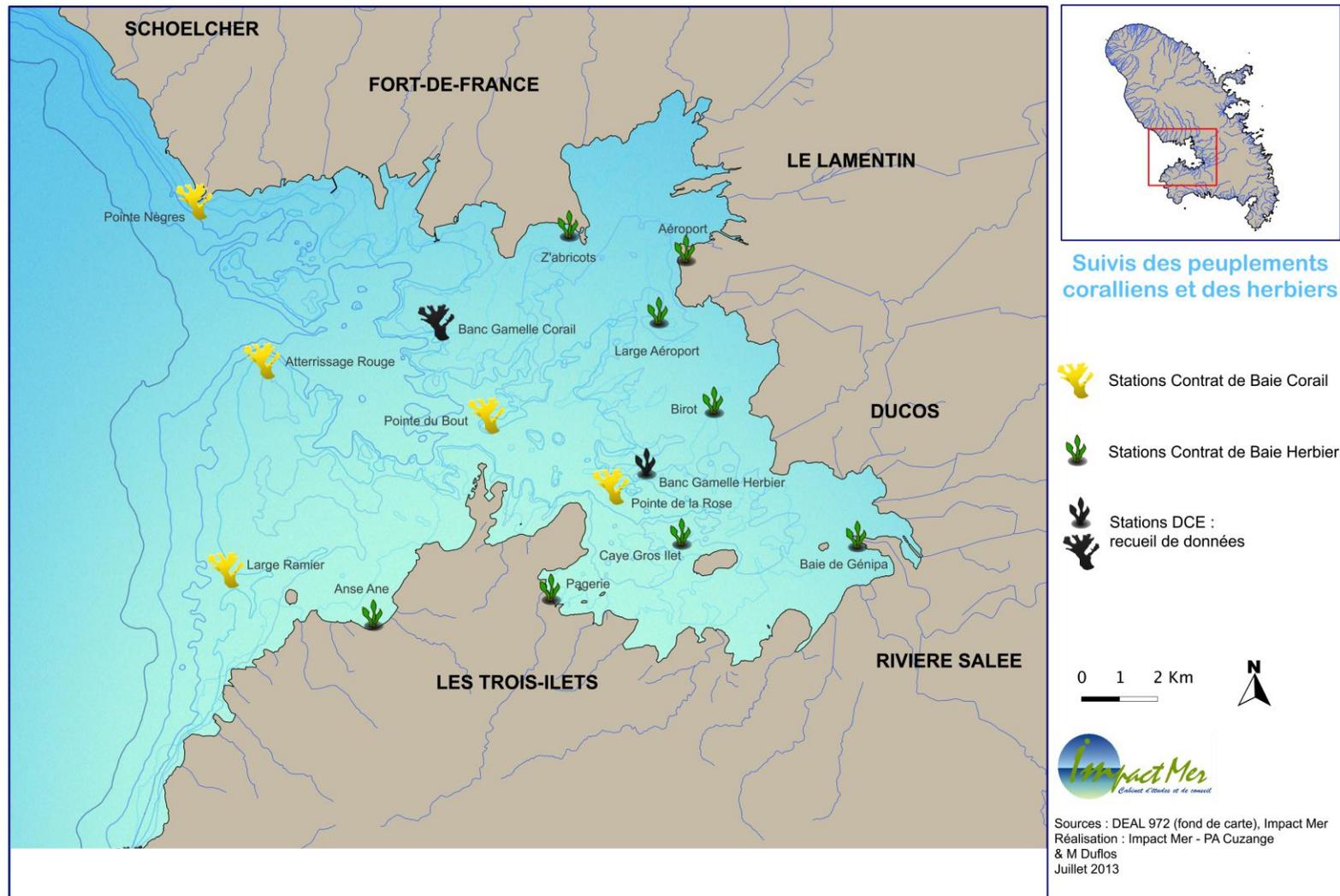


Figure 14 : Carte des sites de suivi des communautés benthiques

1.2 Suivis des communautés coralliennes

L'échantillonnage de ces paramètres a eu lieu en avril 2013.

1.2.1 Atterrissage Rouge

Cette station se caractérise en 2013 par :

- ❖ **Une couverture vivante représentant 70% de la couverture du substrat et composée majoritairement d'algues (31%) et de corail (29%)**

Ainsi, au sein du peuplement benthique :

- ❖ **Le corail vivant représente 29% de la couverture vivante.** Les espèces dominantes sont les *Madracis mirabilis*. De nombreuses zones à *Madracis* sont cassées.
 - Les autres invertébrés observés sont majoritairement des éponges (10 % de la couverture totale du substrat).
 - Les **algues sont essentiellement représentées par des macroalgues non calcaires (17%), des algues calcaires encroûtantes (7%) et du turf (6%).**
 - La **couverture macroalgue** est moyenne : la **classe 1** (1 à 10 %) est majoritaire (37 % des quadrats) suivie par la **classe 2** (11 à 50 %) avec 35 % des quadrats. Ce peuplement macroalgal est dominé par les *Dictyota* à 73%. L'indice macroalgue de la station est de 1,6. Ce sont surtout les colonies coralliennes cassées (nombreuses zones de *Madracis* cassées) qui sont colonisées.
- ❖ **Un nombre restreint d'oursins Diadème a été observé sur le site ($0,3 \pm 0,3 \text{ ind.m}^{-2}$).**

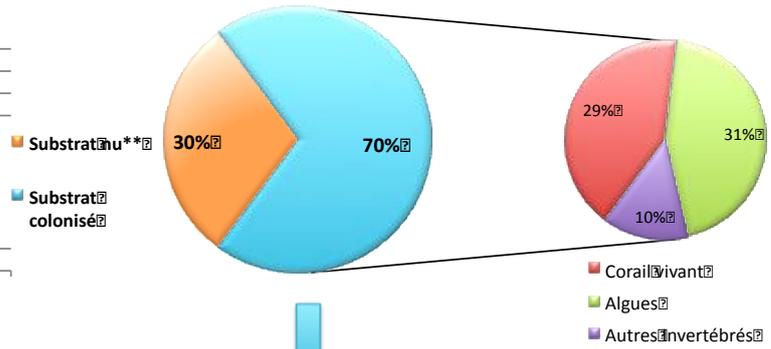
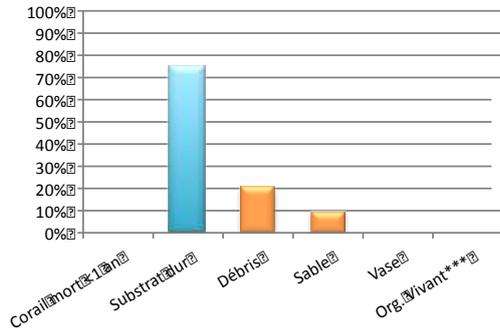
Cette station présente un état de santé général de 2,2 (bon) en raison d'une couverture corallienne relativement importante par rapport aux macroalgues non calcaires.

Remarque : la chaîne de la bouée de signalisation rouge de Atterrissage Rouge a détruit les communautés benthiques sur plusieurs dizaines de mètres carrés.

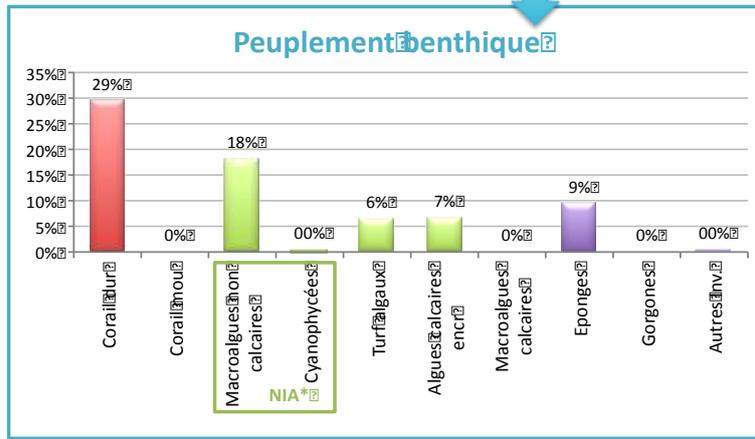
Atterrissage Rouge

Etat de Santé 2,2 ± 0,4

Le Substrat de la Station

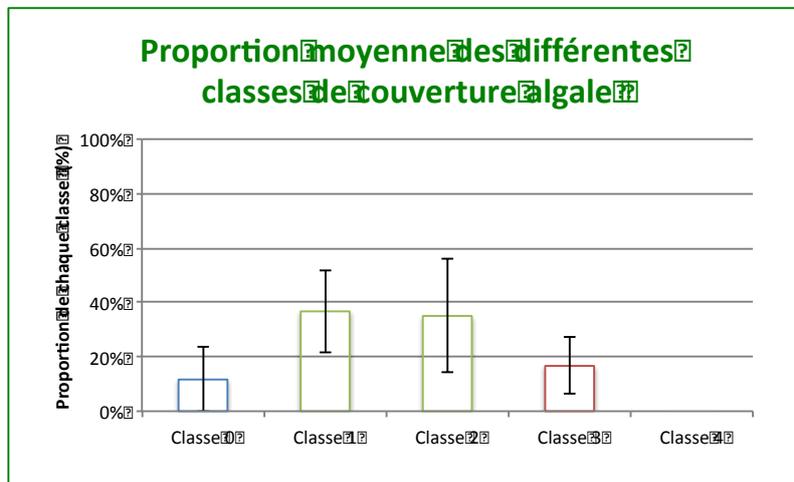


Couverture corallienne 29%



Ratio Corail:Macroalgues 1,6

*Nutrient Indicating Algae / **cad sans couverture vivante macroscopique / ***Organismes vivants sur lesquels se sont développés d'autres organismes



Indice Macroalgues de la Station 1,6 ± 0,2



1.2.2 Pointe la Rose

Cette station se caractérise en 2013 par :

❖ Une couverture vivante représentant 51% de la couverture du substrat et composée majoritairement d'éponges (22%).

Ainsi, au sein du peuplement benthique :

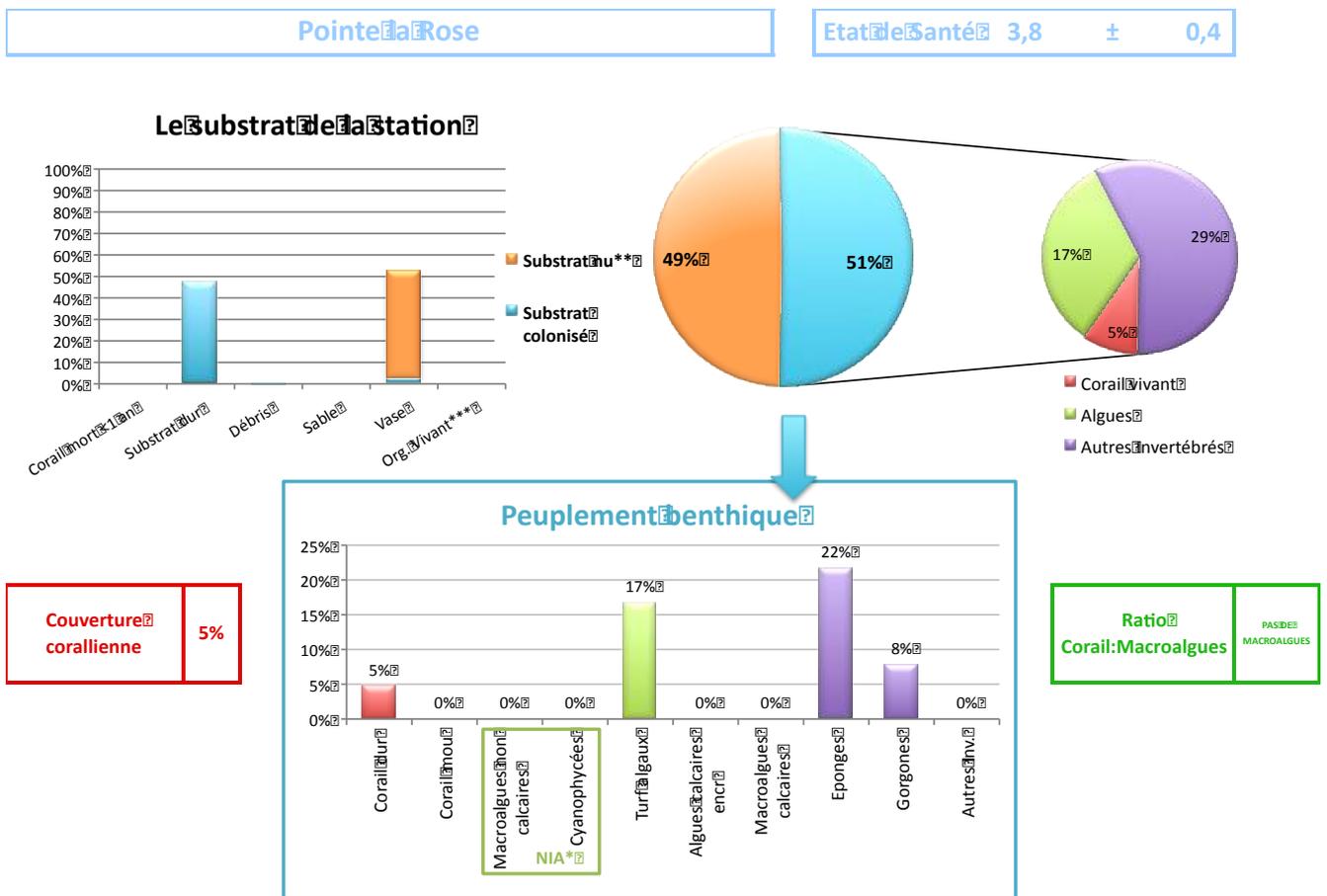
❖ Le corail vivant ne représente que 5%.

- Les autres invertébrés observés sont des gorgones (8%).
- Les algues sont essentiellement représentées par le turf (17%).
- La couverture macroalgue est faible : la classe 0 (0 %) est majoritaire (83 % des quadrats) et la classe 1 (1 à 10 %) représente 10 % des quadrats. Ce peuplement macroalgal est dominé par les Chlorophyceae.

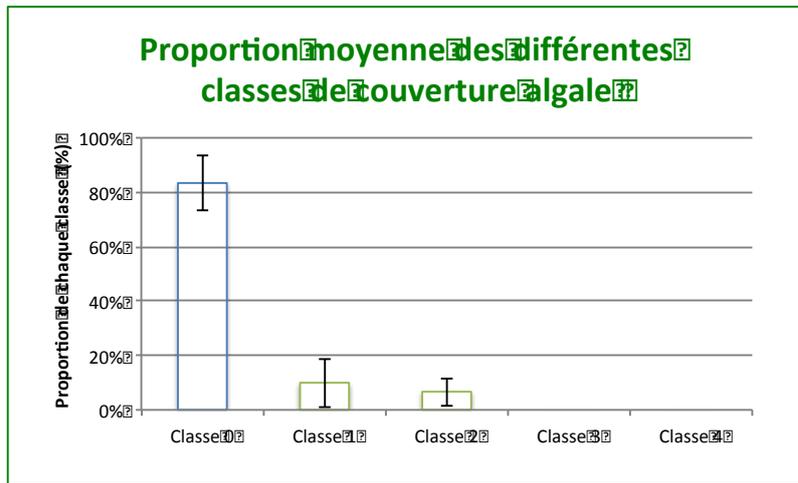
❖ La densité en oursins Diadème est faible $0,5 \pm 0,3 \text{ ind.m}^{-2}$.

❖ Une forte sédimentation est notée

Cette station présente un état de santé général de 3,8 (médiocre) en raison de l'hypermédimentation et de la quasi absence de macroalgues non calcaires (observées uniquement dans les quadrats).



*Nutrient Indicating Algae / **cad sans couverture vivante macroscopique / ***Organismes vivants sur lesquels se sont développés d'autres organismes



Indice Macroalgues de la Station $0,2 \pm 0,1$



1.2.3 Large Ramier

Cette station se caractérise en 2013 par :

❖ Une couverture vivante représentant 53% de la couverture du substrat et composée majoritairement d'algues (33 %).

Ainsi, au sein du peuplement benthique :

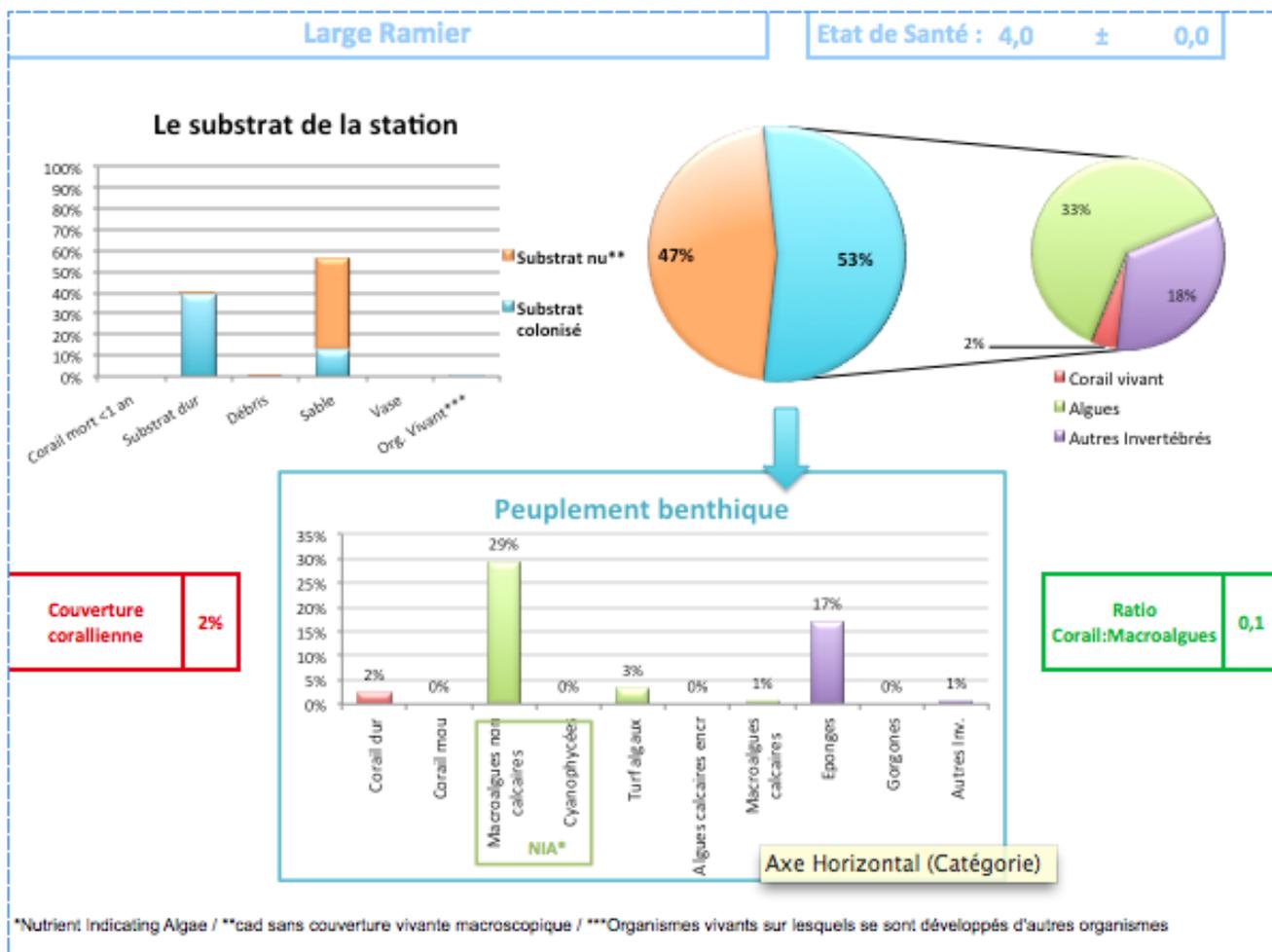
❖ Le corail vivant ne représente que 2%.

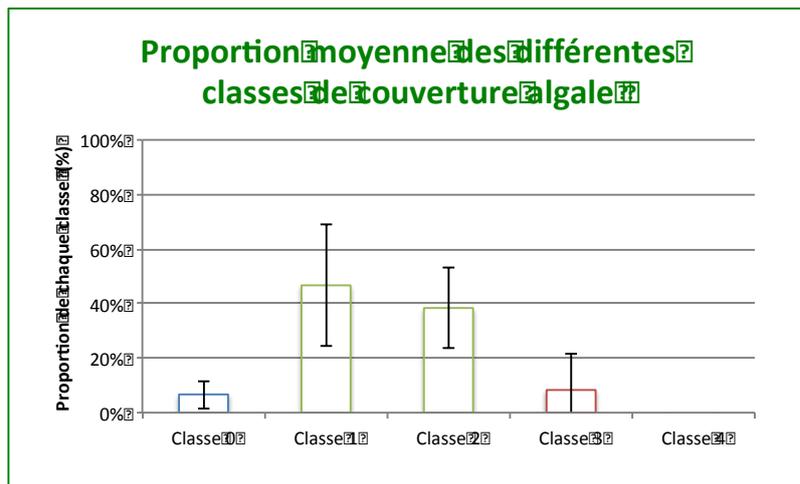
- Les autres invertébrés observés sont majoritairement des éponges (17,0 % de la couverture totale du substrat).
- Les algues sont essentiellement représentées par les macroalgues non calcaires (29 %) parmi lesquelles des Sargasses et de Dictyota. Le turf algal représente 3%.
- La couverture macroalgue est moyenne : la classe 1 (1 à 10 %) est majoritaire (47 %) et la classe 2 (11 à 50 %) représente 38 % des quadrats. Ce peuplement macroalgal est dominé par les Phaeophyceae parmi lesquels les genres *Sargassum* (espèce dominante dans 19% des quadrats) et *Dictyota* (espèce dominante dans 14 % des quadrats) et les Rhodophyceae parmi lesquelles le genre *Galaxaura* (espèce dominante dans 12 % des quadrats).

❖ Aucun oursin Diadème n'est observé.

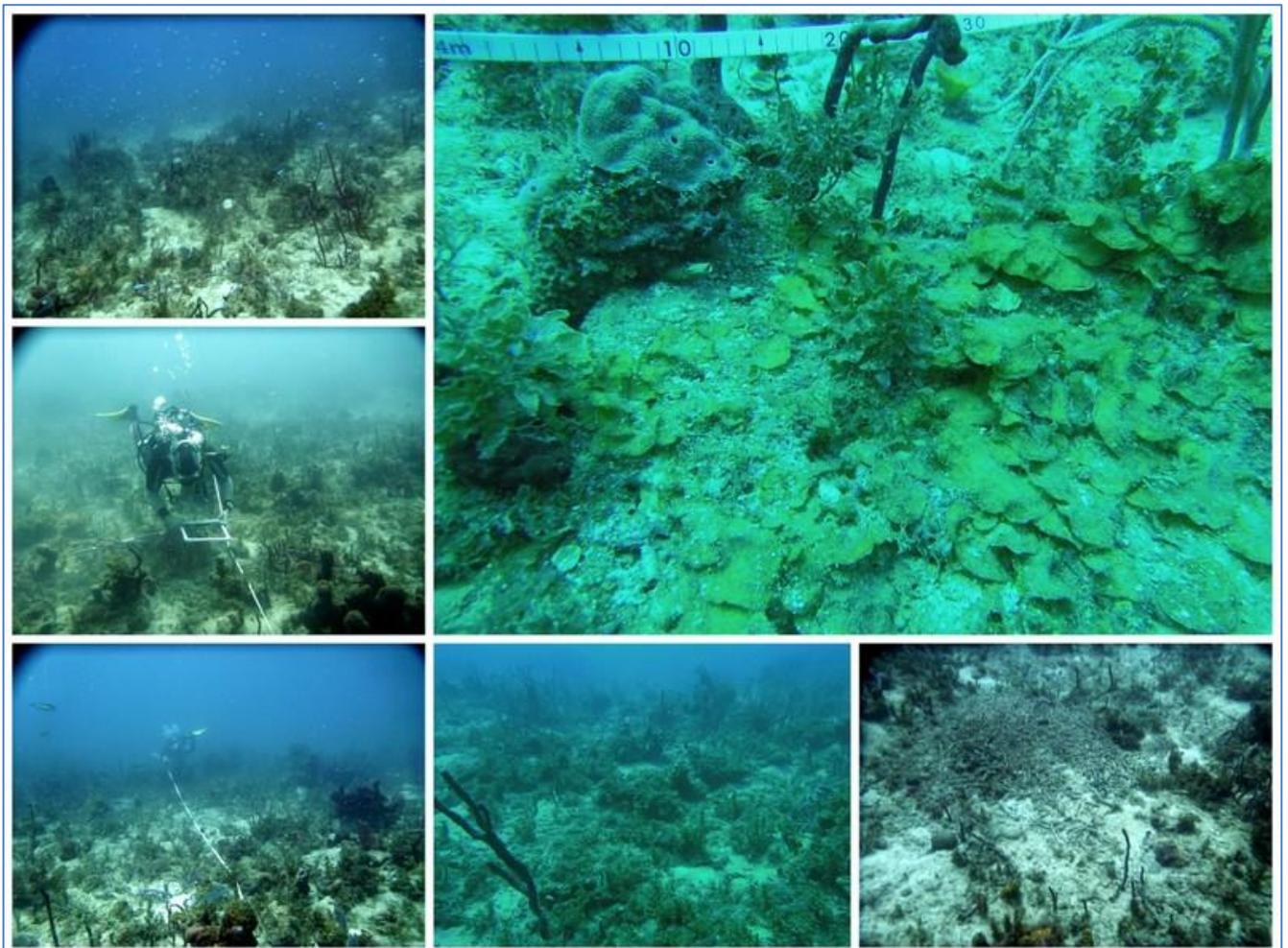
❖ Plusieurs zones de débris coralliens (probablement *Porites porites*)

Cette station présente un état de santé général de 4 (médiocre) en raison de sa faible couverture corallienne mais surtout de la dominance des macroalgues non calcaires.





Indice Macroalgues de la Station $1,5 \pm 0,3$



1.2.4 Pointe des Nègres

Cette station se caractérise en 2013 par :

❖ Une couverture vivante représentant 73% de la couverture du substrat et composée majoritairement d'algues (45%)

Ainsi, au sein du peuplement benthique :

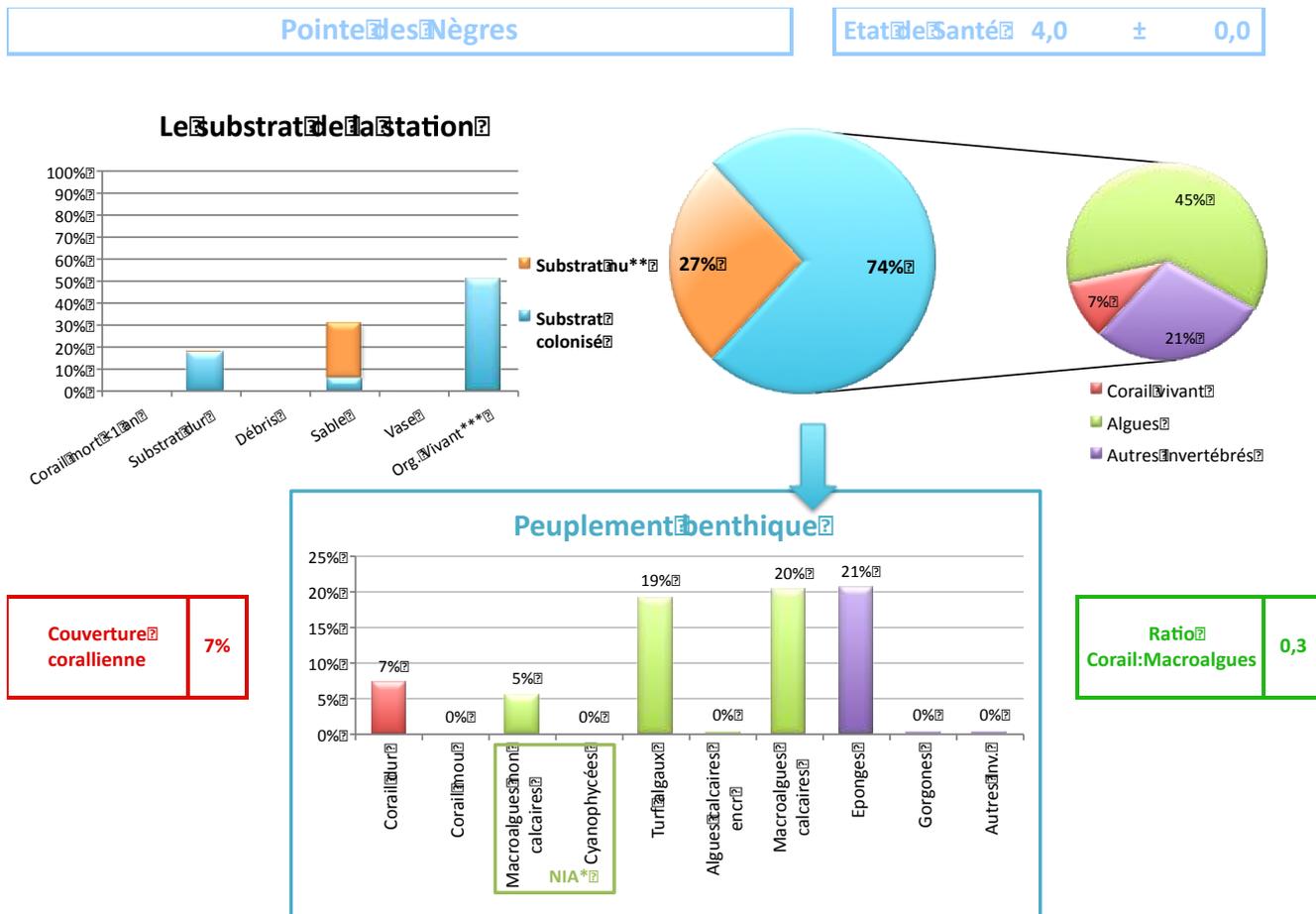
❖ Le corail vivant ne représente que 7% de la couverture vivante.

- Les autres invertébrés observés sont majoritairement des éponges (21,0 % de la couverture totale du substrat).
- Les algues sont essentiellement représentées par les macroalgues calcaires (20%) et le turf (19 %).
- La couverture macroalgue est moyenne : la classe 1 (1 à 10 %) est majoritaire (57 % des quadrats) et la classe 2 (11 à 50 %) représente 27 % des quadrats. Ce peuplement macroalgal est dominé par les macroalgues calcaires rouges (Galaxaura).

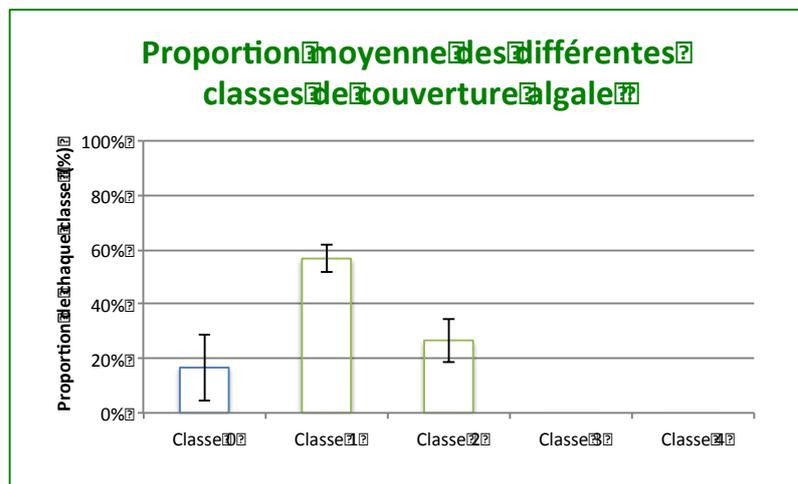
❖ Aucun oursin Diadème n'est observé sur le site.

❖ Ce site est plutôt sédimenté

Cette station présente un état de santé général de 4 (médiocre) en raison de l'hypersédimentation, de la faible proportion de corail et de la présence de macroalgues.



*Nutrient Indicating Algae / **cad sans couverture vivante macroscopique / ***Organismes vivants sur lesquels se sont développés d'autres organismes



Indice Macroalgues de la Station 1,1 ± 0,2



1.2.5 Caye Pointe du Bout

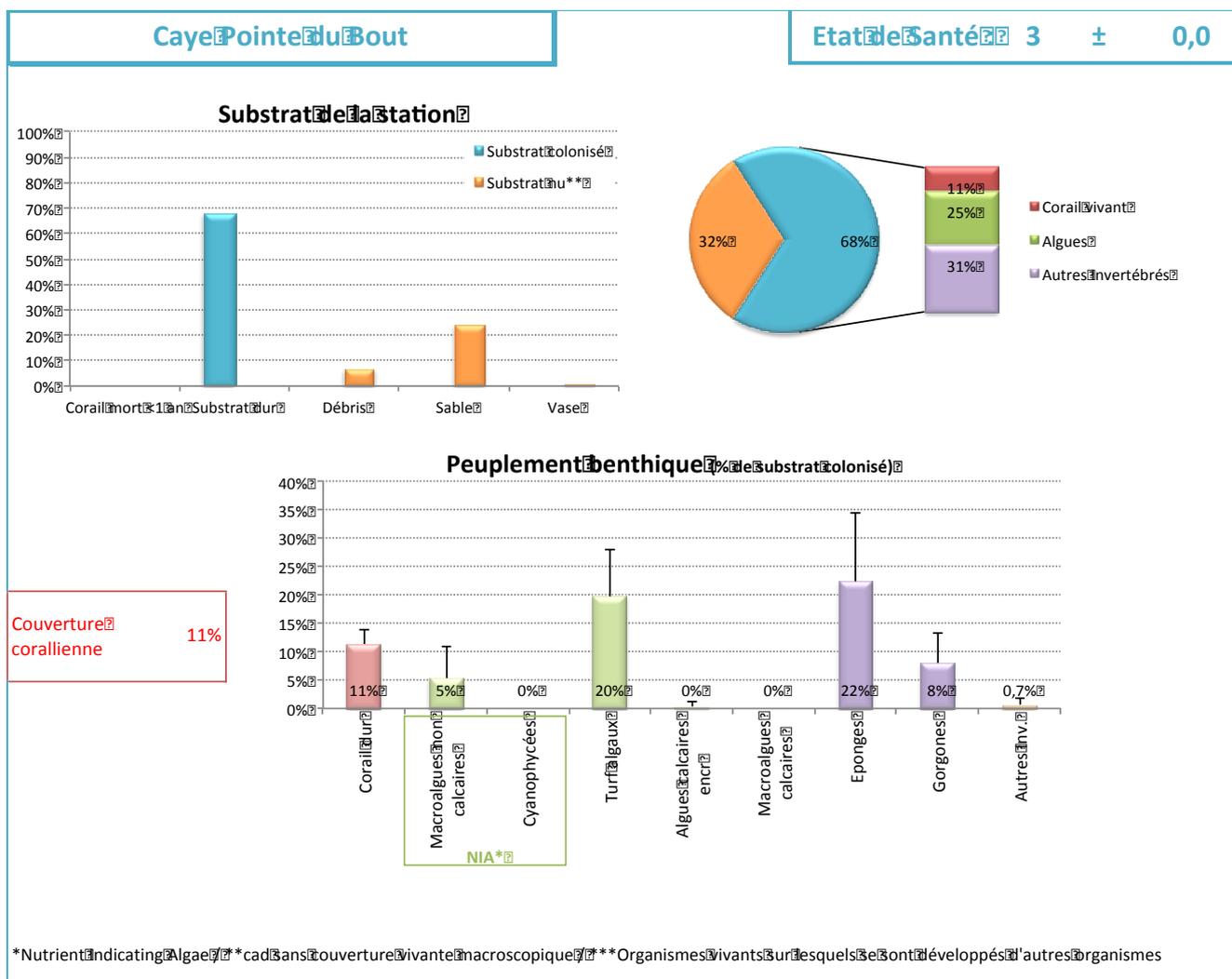
Cette station se caractérise en 2013 par :

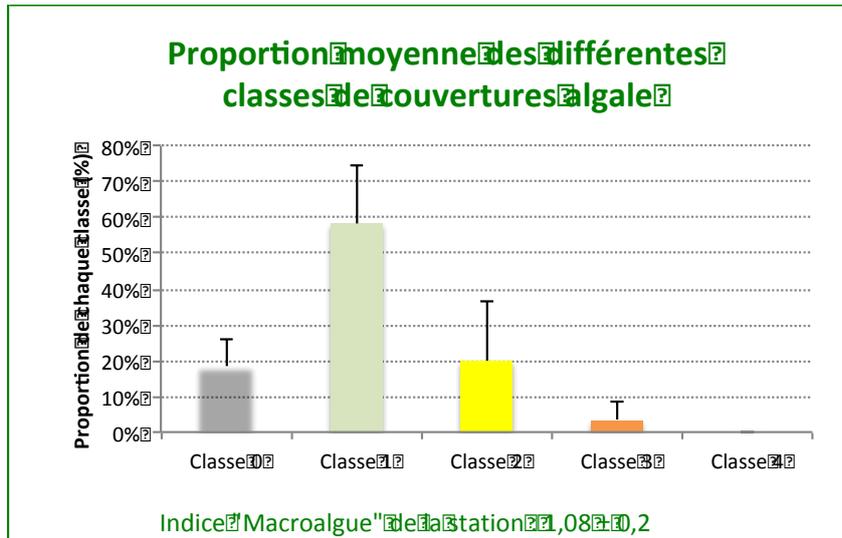
❖ Une couverture vivante représentant 68% de la couverture du substrat et composée majoritairement d'algues (25%) et d'autres invertébrés (31%)

Ainsi, au sein du peuplement benthique :

- ❖ Le corail vivant représente 11% de la couverture vivante. Les espèces dominantes sont les *porites*.
 - Les autres invertébrés observés sont majoritairement des éponges (22 % de la couverture totale du substrat).
 - Les algues sont essentiellement représentées par des macroalgues non calcaires (5%) et du turf (20%).
 - La couverture macroalgue est faible : la classe 1 (1 à 10 %) est majoritaire (58 % des quadrats) suivie par la classe 2 (11 à 50 %) avec 20 % des quadrats. Ce peuplement macroalgal est dominé par les *Dictyota* à 68%. L'indice macroalgue de la station est de 1,08.
- ❖ Un nombre restreint d'oursins *Diadème* a été observé sur le site ($0,37 \pm 0,21 \text{ ind.m}^{-2}$).

Cette station présente un état de santé général de 3 (moyen) en raison d'une couverture corallienne relativement faible.





1.2.6 Banc Gamelle (Recueil de données DCE)

Description générale

Banc Gamelle est une station hypersédimentée présentant une succession de « patates » à *O. annularis* en plus ou moins bon état de santé, entrecoupées par des bancs de sédiments sablo-vaseux (Figure 15).



Figure 15 : Illustrations de la station "communautés coralliennes" de Banc Gamelle (Type 1)

La communauté corallienne en 2013

73% du substrat de la station Banc Gamelle est colonisé (Figure 16).

Les coraux

Les coraux représentent 14% de la couverture benthique. Le genre *Orbicella* est largement majoritaire suivi par les *Porites*. La densité corallienne maximale est de 2,5 *Porites*.m⁻² suivie par les *Agariciidae* (1 indiv.m⁻²) et les *Orbicella* (0,65 indiv.m⁻²). La densité en juvénile est de 0,7 ± 1,03 indiv.m⁻².

Les macroalgues

Les macroalgues sont les organismes majoritaires sur la station avec une couverture de 51% (Figure 16). Ces dernières sont essentiellement représentées par le turf (45%) puis les macroalgues non calcaires (5%).

L'indice « quadrat macroalgues » de la station est de 0,85 ± 0,3 (Figure 17). La classe 1 est majoritaire suivie par la 0 et la 2. Les macroalgues non calcaires sont essentiellement des *Dictyota*. On rencontre également quelques *Laurencia*, *Caulerpa* et des *Halimeda* (algues calcaires). Ces algues colonisent essentiellement du substrat dur (plus de 75%) mais également du sable.

Les autres organismes sessiles

Les autres organismes sessiles de la station ne représentent que 8% de la couverture benthique avec majoritairement des gorgones (4%), des éponges (3%) et d'autres invertébrés (1,3%).

Les oursins

La densité en oursin est de 0,47 ± 0,47 Indiv.m⁻². Ces derniers sont essentiellement des *Echinometra viridis* (90%). On rencontre également quelques *Diadema antillarum* et des *Eucidaris tribuloides* (Figure 17).

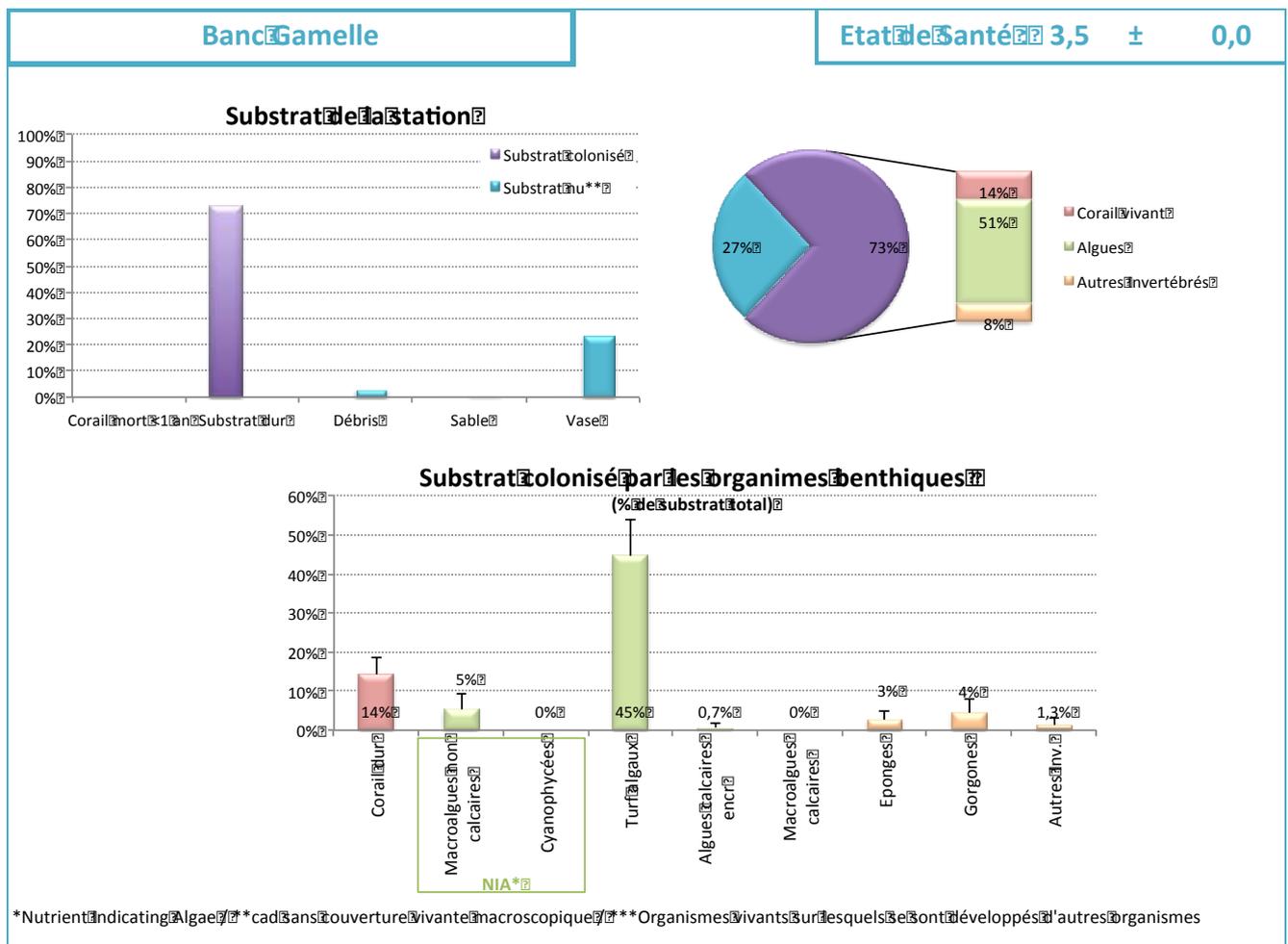


Figure 16 : Proportions des éléments de la communauté corallienne (PIT) et des autres substrats de Banc Gamelle en 2013

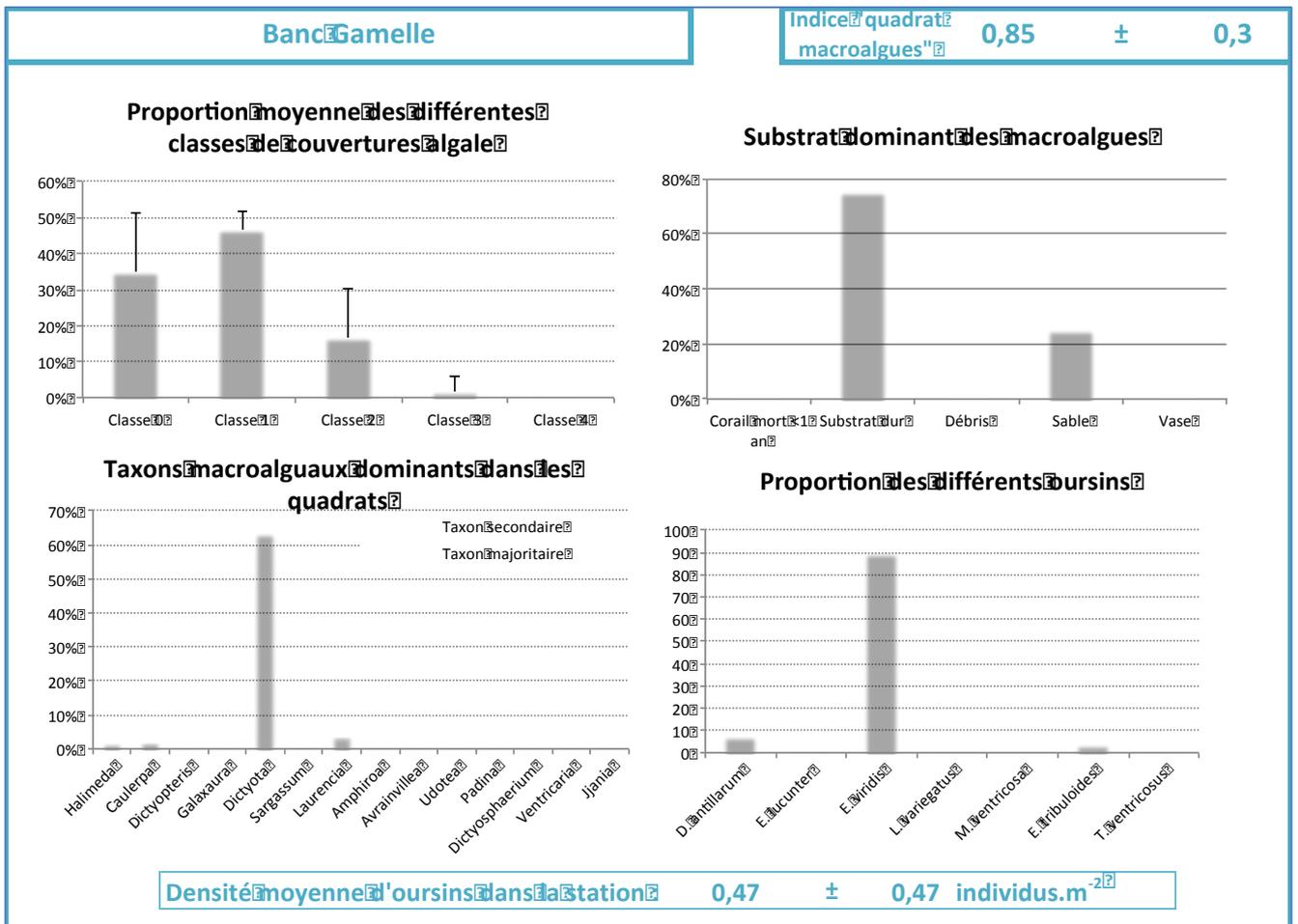


Figure 17 : Proportions des éléments de la communauté macroalgale (quadrat) et des oursins de Banc Gamelle

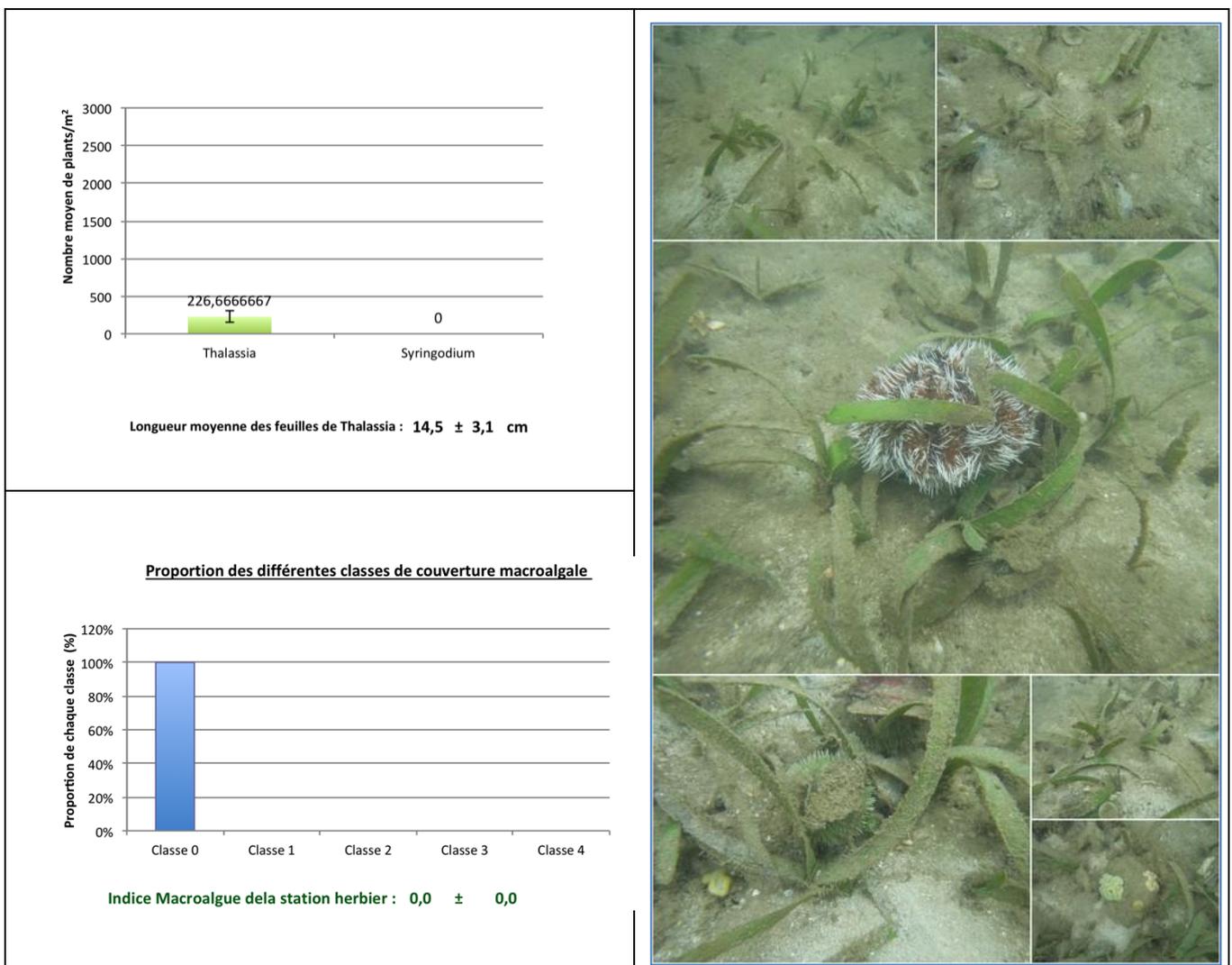
1.3 Suivis des herbiers de phanérogames marines

Les huit herbiers de phanérogames marines ont été échantillonnés en avril 2013. Les échantillonnages se sont tous déroulés lors de la marée descendante. De nombreux juvéniles (1-2 centimètres de diamètre) de l'espèce d'oursin *Lytechinus variegatus*, ont été observés sur l'ensemble des sites attestant d'un fort taux de recrutement de cette espèce dans la zone.

1.3.1 Z'abricot

Cet herbier constitué de *Thalassia testudinum* est très envasé et présente beaucoup d'épiphytes. Bien qu'aucune macroalgue n'ait été observée dans les quadrats, plusieurs genres ont été identifiés sur la station (*Avrainvillea*, *Halimeda*). Les plants de *Thalassia* présentent une hauteur moyenne de 14,5 cm et une densité moyenne de 226,7 plants.m⁻². Quelques espèces associées sont observées parmi lesquelles les oursins *L. variegatus* et *Tripneustes ventricosus*, les coraux *Manicina areolata*, *Siderastrea radians* et quelques tumulus attestant la présence de vers.

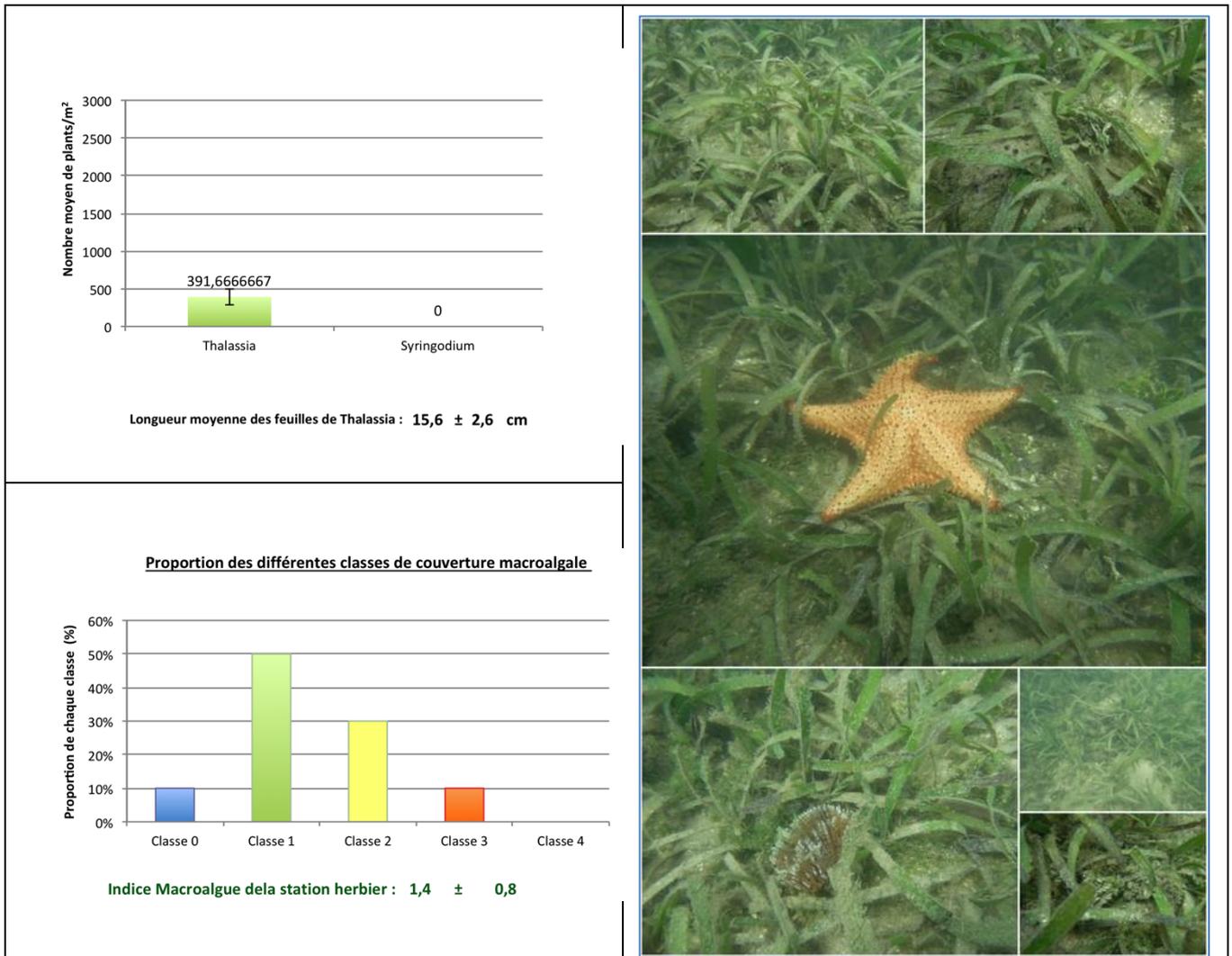
Cette station présente un herbier à *Thalassia testudinum* en mauvais état de santé (classe 5). Il est très clairsemé et hypersédimenté.



1.3.2 Birot

Cet herbier constitué de *Thalassia testudinum* pur est sédimenté et présente de nombreuses macroalgues (Halimeda, Caulerpa...) avec un indice de 1,4. Les plants de *Thalassia* présentent une hauteur moyenne de 15,6 cm et une densité moyenne de 391,7 plants.m⁻². Quelques espèces associées sont observées parmi lesquelles des holothuries.

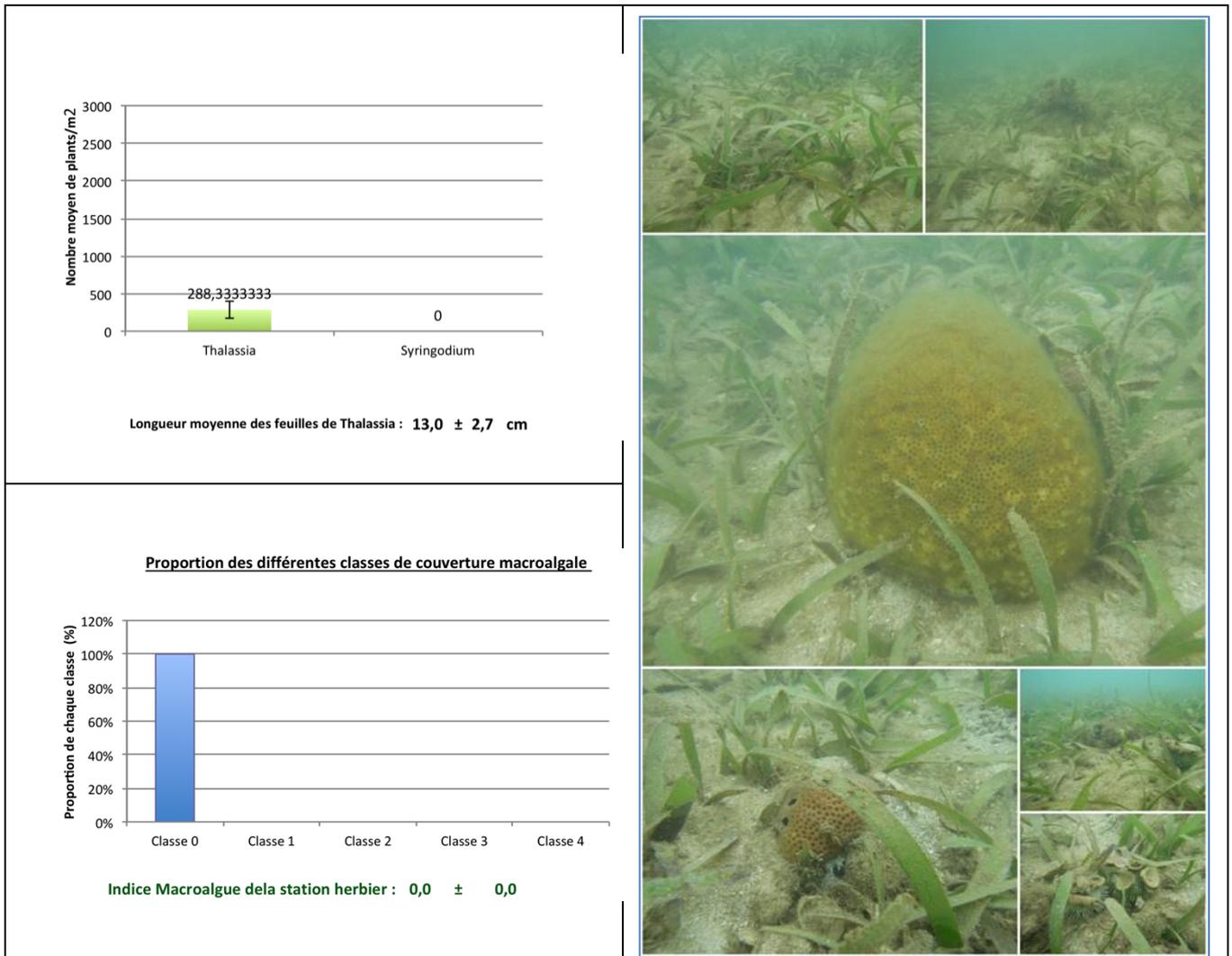
Cette station présente un herbier pur à *Thalassia testudinum* en état de santé moyen à médiocre (classe 3 à 4) en raison de la présence de macroalgues en proportion importante dans certaines zones (signe d'eutrophisation pour certaines espèces).



1.3.3 Aéroport :

Cet herbier est clairsemé. Le substrat est sableux. Les plants de *Thalassia* présentent une hauteur moyenne de 13 cm et une densité moyenne de 288,3 plants.m⁻². Quelques espèces associées ont été observées parmi lesquelles le corail *Siderastrea siderea* et l'oursin *Lytechinus variegatus*. L'herbier est très peu épiphyté et aucune macroalgue n'a été observée dans les quadrats.

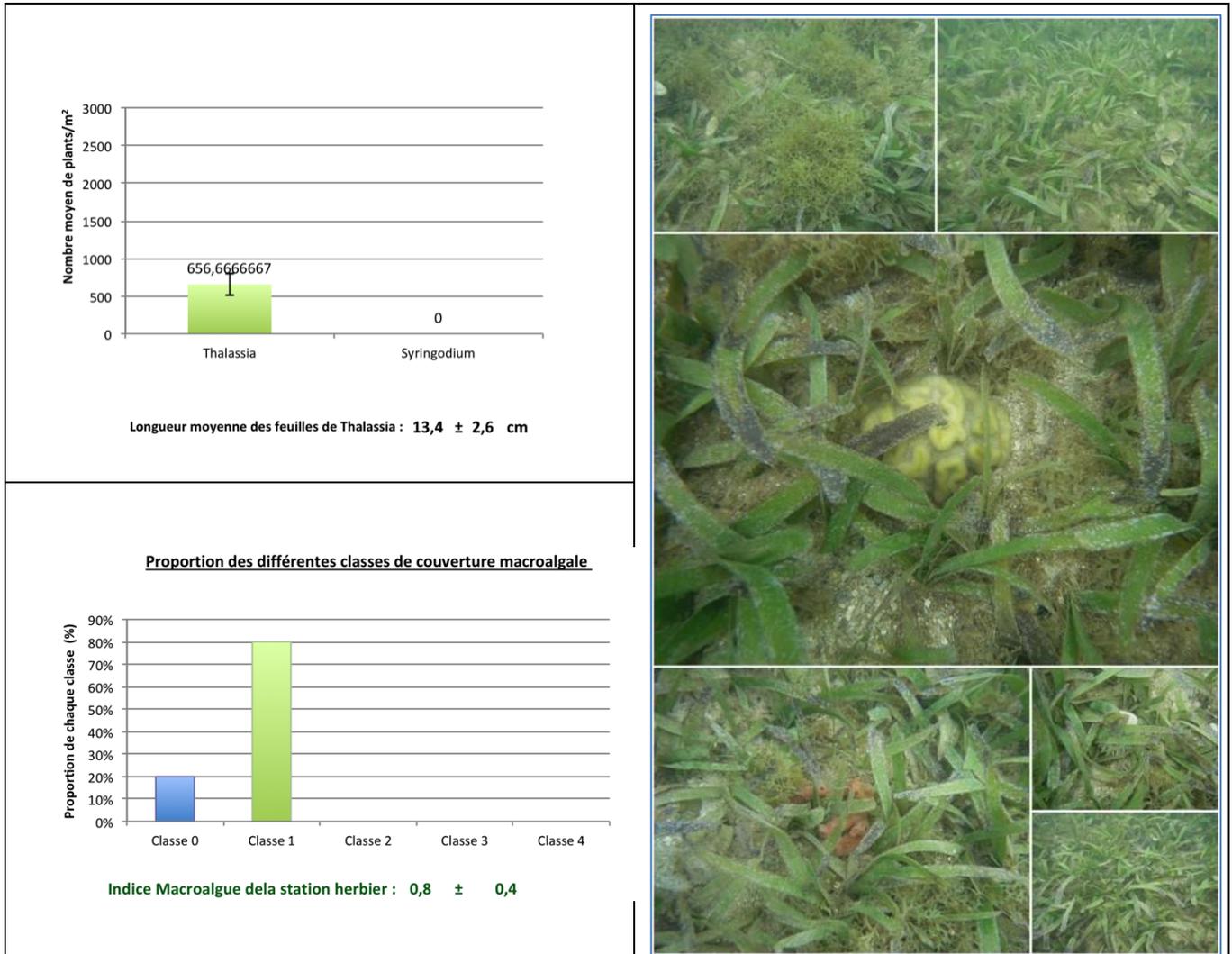
Cette station présente un herbier à *Thalassia* en état de santé médiocre (classe 4). Il est clairsemé et sédimenté.



1.3.4 Large Aéroport

Les plants de *Thalassia* présentent une hauteur moyenne de 13,4 cm et une densité moyenne de 656,7 plants.m⁻². Quelques espèces associées sont observées parmi lesquelles *Manicina areolata*, *Lytechinus variegatus* et *Porites* sp.

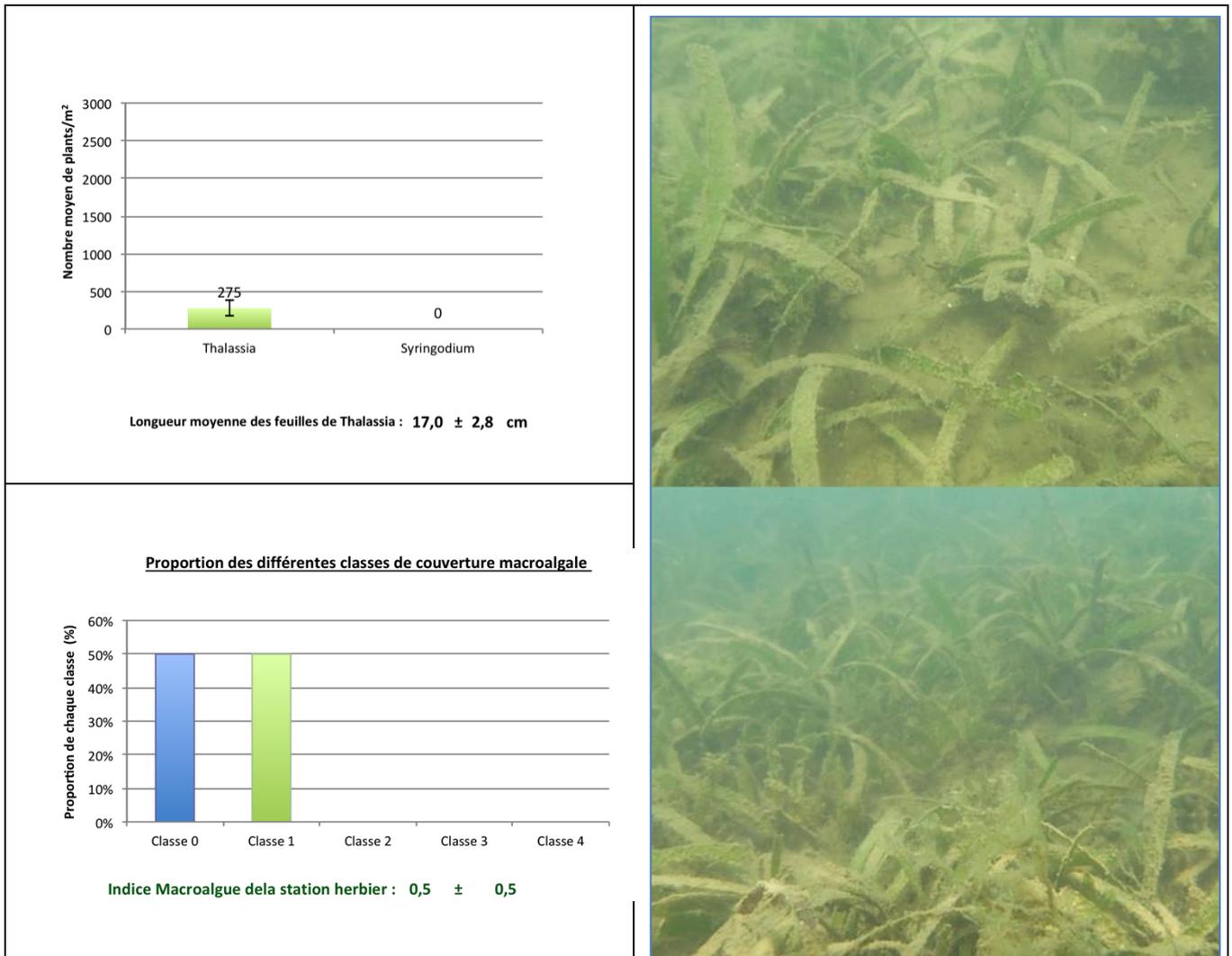
Cette station présente un herbier à *Thalassia* pur en relativement bon état de santé (classe 2). C'est un herbier dense qui présente peu de signe d'eutrophisation (peu de macroalgues)



1.3.5 Baie de Génipa

Cet herbier est extrêmement envasé. Bien que peu de macroalgues aient été notées dans les quadrats (indice 0,5), de nombreuses *Dictyota* ont été observées. Les plants de *Thalassia* présentent une hauteur moyenne de 17,0 cm et une densité moyenne de 275 plants.m⁻². Cet herbier est localisé à proximité d'une zone envahie par un herbier d'*Halophila stipulacea*.

Cette station présente un herbier en état de santé mauvais (classe 5). Il est très clairsemé et hypersédimenté.

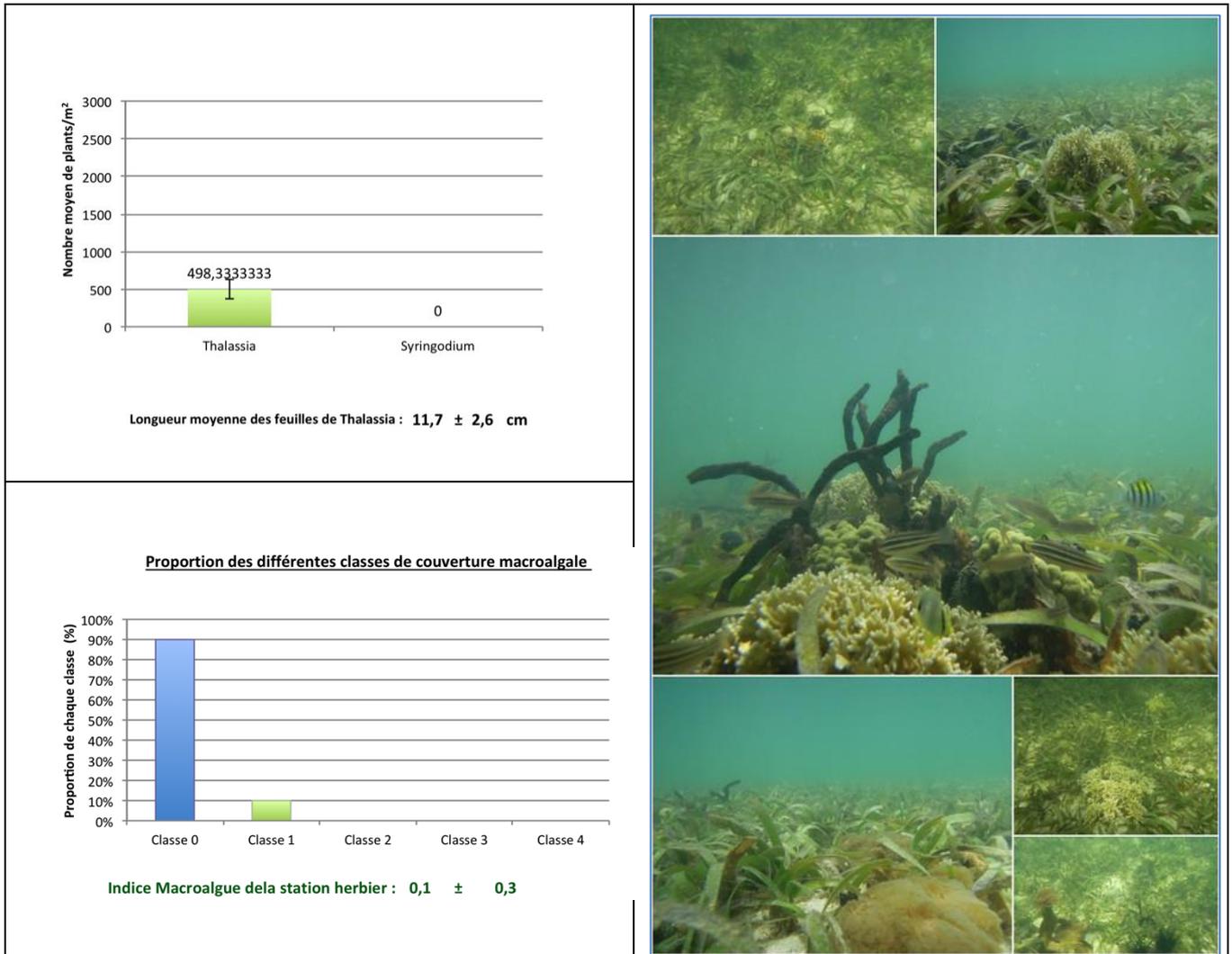


1.3.6 Caye Gros îlet

Cet herbier à *Thalassia* pur est très peu épiphyté et ne montre pas de signes de sédimentation ou d'eutrophisation. De plus, il présente de nombreuses espèces associées, parmi lesquelles des coraux (*Manicina areolata*, *Millepora alcicornis*, *Porites astreoides*, *Agaricia* sp. et *Occulina* sp.), des gorgones (*Erythropodium caribaeorum*) et des oursins (*Diadema antillarum* et *Lytechinus variegatus*).

Les plants de *Thalassia* présentent une hauteur moyenne de 11,7 cm et une densité moyenne de 498,3 plants.m⁻².

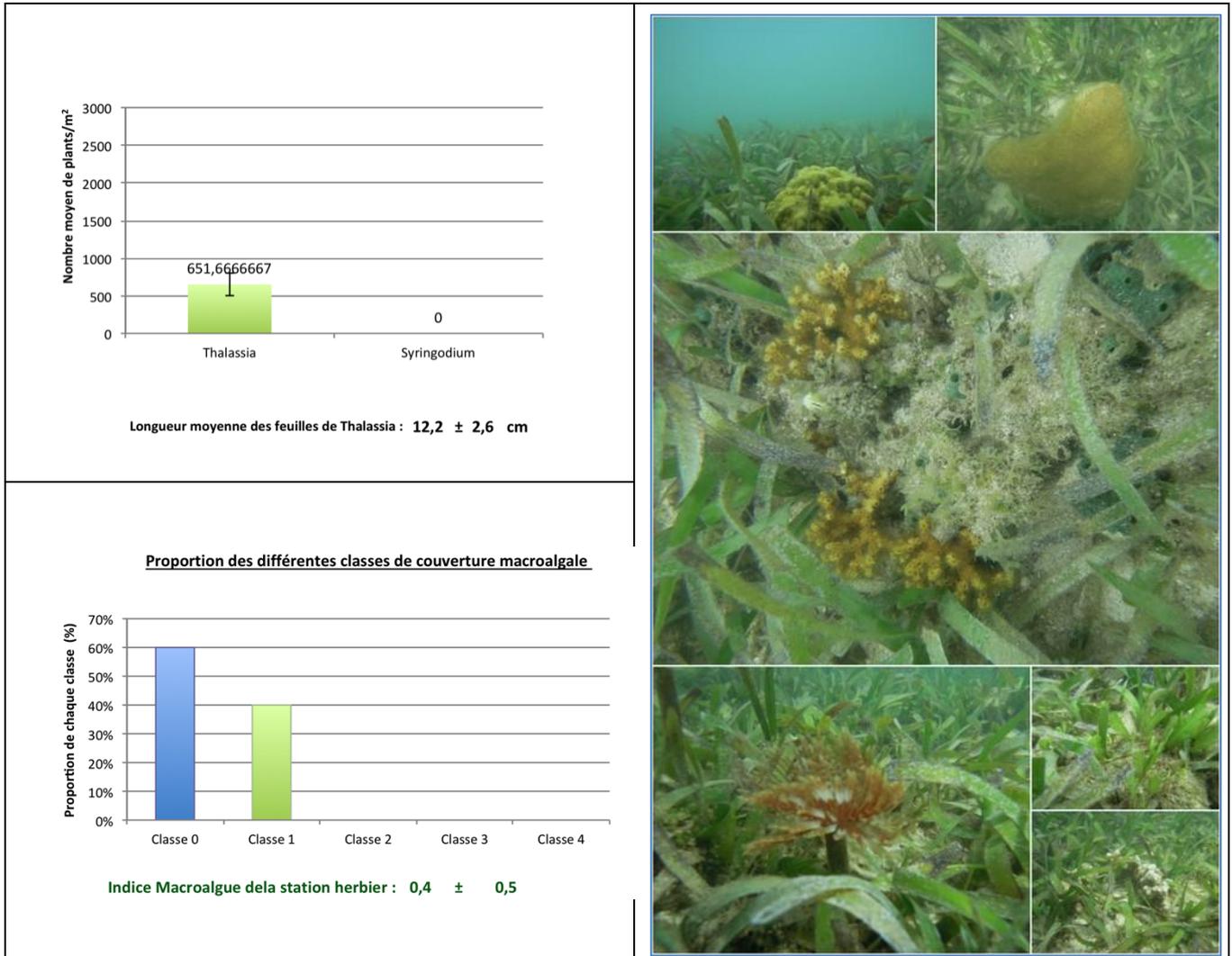
Cette station présente un herbier à *Thalassia* pur en très bon état de santé (classe 1).



1.3.7 Pagerie

Cet herbier est plutôt en bon état de santé. Il est très peu épiphyté et envasé et présente un indice de macroalgue faible (0,4). Les plants de *Thalassia* présentent une hauteur moyenne de 12,2 cm et une densité moyenne de 651,7 plants.m⁻². Quelques espèces associées sont observées parmi lesquelles des algues : *Caulerpa verticillata*, *C. sertularioides*, et l'oursin *L. variegatus*.

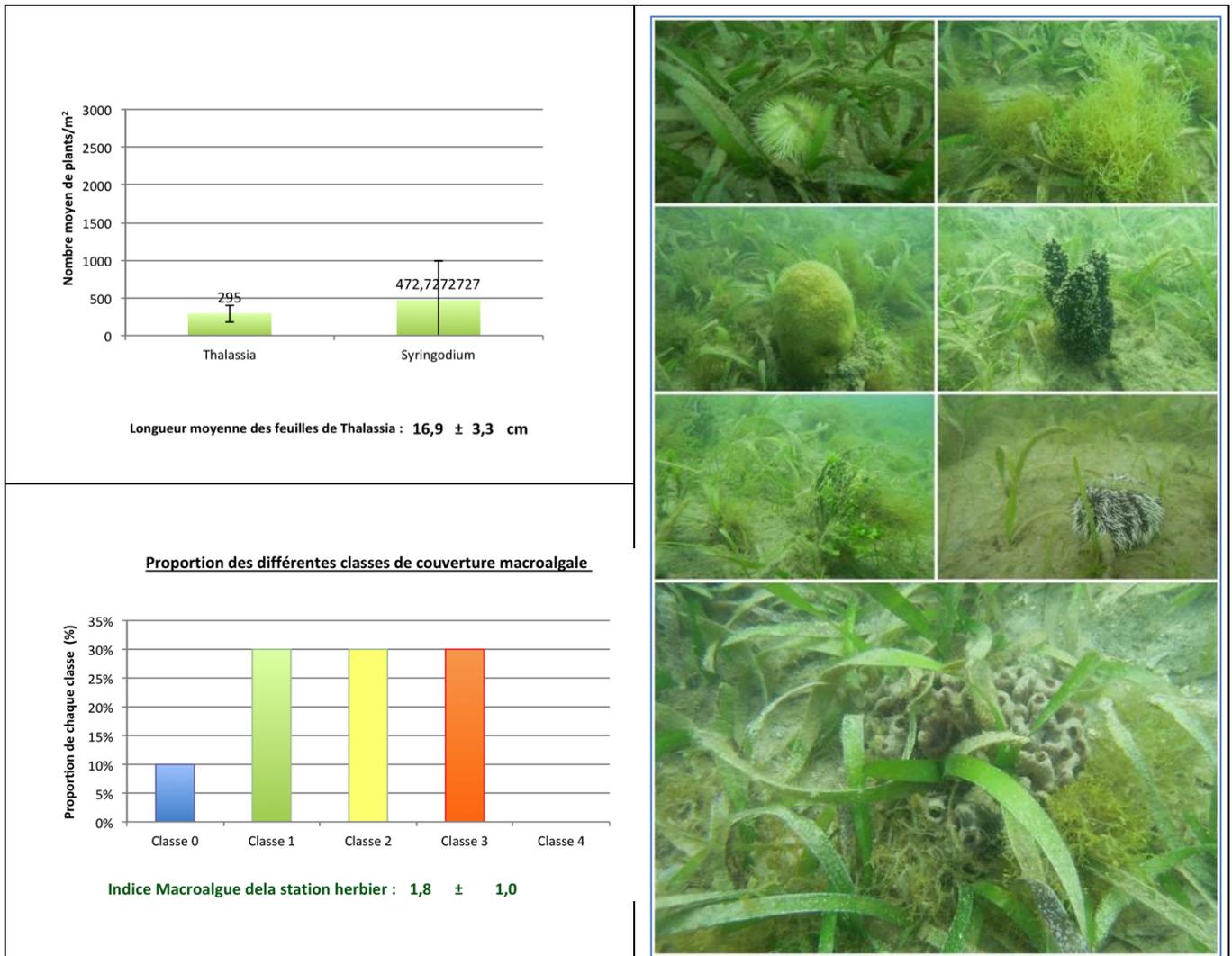
Cette station présente un herbier à *Thalassia* pur en bon état de santé (classe 2) en raison d'une sédimentation présente mais peu marquée.



1.3.8 Anse Ane

Cet herbier est le seul à présenter des plants de *Syringodium filiforme* (Herbier mixte). Il est très clairsemé et enalgué avec un indice macroalgue de 1,8. Les plants de *Thalassia* ont une hauteur moyenne de 16,9 cm et une densité moyenne de 295 plants.m⁻² et les plants de *Syringodium filiforme* ont une densité moyenne de 472,7 plants.m⁻². Cet herbier constitue un des seuls patches observés dans la zone. Sa surface est réduite.

Cette station présente un herbier mixte en état de santé médiocre (classe 4) en raison de la forte proportion de macroalgues (Dictyota, signe d'eutrophisation)



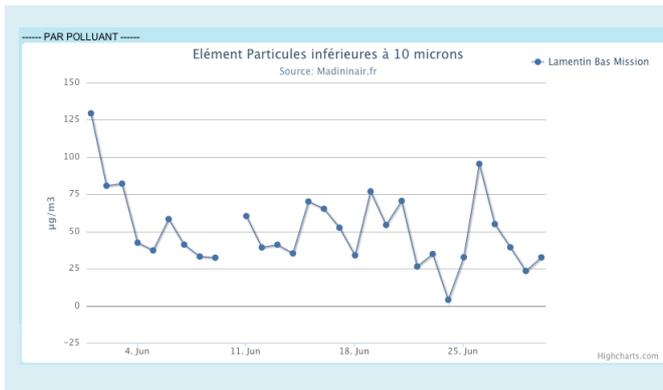
2 Suivi des paramètres hydrologiques des eaux marines (Action G2.3)

La Figure 18 présente la carte des sites suivis pour les paramètres hydrologiques des eaux marines.

2.1 Paramètres physico-chimiques généraux et phytoplancton

2.1.1 Conditions climatiques

Campagne 1 (21 et 27 juin 2012) : le mois de juin 2012 a été marqué par une extrême sécheresse, équivalente à un mois de carême. Il était caractérisé par des températures particulièrement élevées, un ensoleillement très important, des vitesses de vent classiques pour un mois de juin (28 km h^{-1} en moyenne sur la côte atlantique) et des épisodes de brumes de sables exceptionnellement fréquents (18 occurrences de dépassement des seuils de micro-poussières, un record depuis 10 ans pour un mois de juin).



Les particules fines PM10 sont des particules en suspension dans l'air de diamètre inférieur à $10 \mu\text{m}$. Elles viennent principalement de l'activité industrielle, du trafic routier et des brumes de sable. Trois procédures ont été déclenchées au mois de juin 2012 pour dépassement du seuil d'alerte ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{jour}$) : du 1^{er} au 3, du 16 au 18, et du 26 au 28). Les épisodes de brumes du 18, et du 26 juin concernent donc nos échantillonnages du mois de juin 2012.

Source : madinainair.fr

Campagne 2 (11 et 12 septembre 2012) : après un mois d'août très arrosé et caractérisé par le passage de plusieurs ondes ou tempêtes tropicales, le mois de septembre était à nouveau sec, en particulier pendant la première quinzaine. Cette sécheresse en début de mois était associée à une panne des alizés, un fort ensoleillement, des températures chaudes et une mer exceptionnellement plate.

Campagne 3 (11 et 12 décembre 2012) : le mois de décembre était caractérisé par des épisodes de pluies intenses (les 10 et 11 notamment) encadrant des périodes sèches, des températures élevées pour la période (moyenne mensuelle de $26,6^\circ\text{C}$ au Lamentin), une durée d'ensoleillement supérieure à la normale et des alizés se renforçant, en particulier autour du 11 décembre.

Campagne 4 (12 et 14 mars 2013) : les conditions de ce mois de mars sont typiques d'un carême, avec un temps sec (en particulier la première partie du mois : 17 jours sans pluie) et un fort ensoleillement. Le régime sec d'alizés faiblit cependant. A noter qu'à partir du 10 mars et en particulier le 11 mars, une houle de nord-ouest déferle sur la côte caraïbe.

Campagne 5 (12 et 13 juin 2013) : après la fin du mois de mai marquée par une augmentation de la pluviométrie, les pluies restent excédentaires en juin 2013 (22 jours de pluie). Ce mois est également caractérisé par un renforcement des alizés et une recrudescence du nombre de jours brumeux (24 au lieu de 19 en moyenne à cette période).

Campagne 6 (3 et 4 septembre 2013) : le mois de septembre 2013 est marqué par de fortes températures et un déficit de pluviométrie important par rapport aux normales (- 1/3). L'activité cyclonique est particulièrement faible cette année et les alizés soufflent moyennement et régulièrement.

Campagne 7 (4 et 5 décembre 2013) : la période des vents s'est montrée précoce puisque les alizés se renforcent dès novembre. Le mois de décembre 2013 est exceptionnellement venteux pour la période et se caractérise également par un excès de pluviométrie par rapport aux normales (+ 60%).

Campagne 8 (12 et 13 mars 2014) : comme en 2013, les conditions de ce mois de mars 2014 reflètent bien l'établissement du carême, avec une diminution de la pluviométrie et une augmentation de l'ensoleillement. Le faible taux d'humidité marque même un début de sécheresse.

Contrat de la Baie de Fort-de-France : réseau de suivis en milieu marin

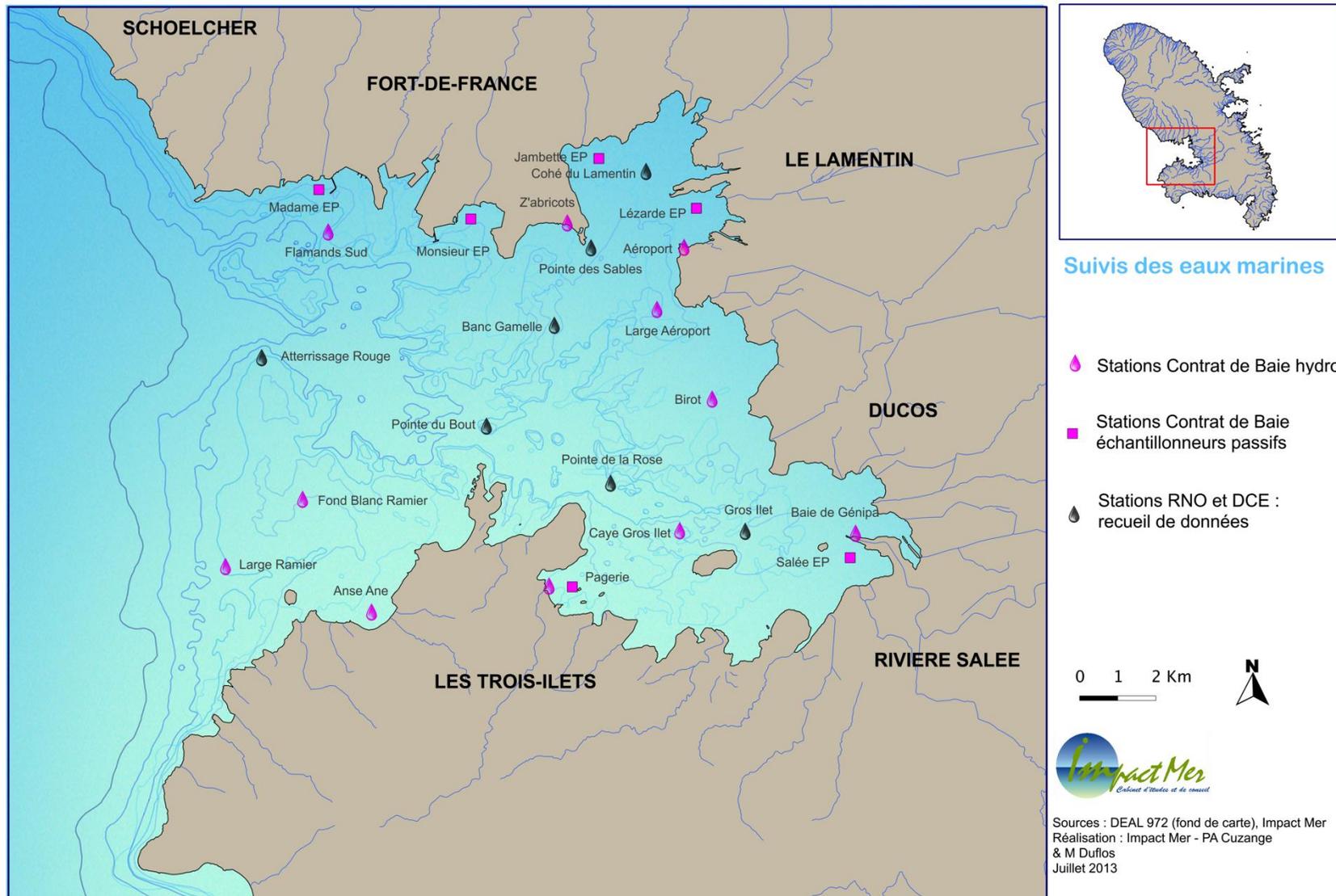


Figure 18 : carte des sites de suivi des paramètres hydrologiques des eaux marines.

2.1.2 Paramètres hydrologiques aux stations « Contrat de Baie »

Les Figure 19 à Figure 21 présentent l'évolution des paramètres hydrologiques entre juin 2012 et mars 2014. Les moyennes (toutes stations confondues) sont données avec leur écart-type.

D'une manière générale, la colonne d'eau s'est révélée relativement homogène tout au long de la période d'échantillonnage : les valeurs des paramètres *in situ* ne présentent pas de différences significatives en fonction de la profondeur, quelle que soit la saison. Pour cette raison, nous ne considérons ici que les valeurs de surface, où les paramètres de laboratoire ont également été mesurés.

Les **températures** moyennes de surface présentent une évolution saisonnière classique des milieux tropicaux, avec une amplitude de seulement quelques degrés sur l'année. Les valeurs minimales sont enregistrées aux mois de mars 2013 ($27,2 \pm 0,6$ °C) et mars 2014 ($26,5 \pm 0,4$ °C). Les valeurs maximales sont enregistrées aux mois de septembre 2012 ($30,2 \pm 0,7$ °C) et septembre 2013 ($29,1 \pm 0,3$ °C). Lors de la seconde année du suivi (juin 2013 - mars 2014), les températures étaient en moyenne plus basses que lors de la première année.

L'évolution de la **salinité** de surface reflète approximativement la saisonnalité des précipitations. La première année (juin 2012 – mars 2013), les valeurs minimales sont enregistrées au cours de la saison des pluies, au mois de septembre 2012 ($32,4 \pm 1,2$), après le passage de plusieurs ondes ou tempêtes tropicales au mois d'août. Les valeurs maximales sont enregistrées pendant la saison sèche, au mois de mars 2013 ($34,7 \pm 1,2$), après une période de sécheresse marquée. Les forts écart-types sont liés à l'hétérogénéité des apports en eau douce dans la baie et notamment aux valeurs extrêmes mesurées à la station Baie de Génipa au mois de septembre (28,8) et à la station Birot au mois de mars (37,8). La seconde année, les valeurs minimales sont mesurées en juin 2013 ($33,1 \pm 0,3$) après des mois d'avril et mai 2013 particulièrement pluvieux. Le mois de septembre 2013, en revanche, a été marqué par un déficit des précipitations par rapport aux normales saisonnières. Ce phénomène se traduit par une augmentation de la salinité ($34,1 \pm 1,2$). Les valeurs maximales de salinité sont mesurées en mars 2014 ($34,6 \pm 0,2$).

Les concentrations moyennes en **oxygène** dissous présentent un minimum en décembre 2013 ($6,03 \pm 0,7$ mg l⁻¹) et un maximum en mars 2013 ($7,73 \pm 0,3$ mg l⁻¹). La saturation moyenne en oxygène varie entre $89,3 \pm 4,4$ % (décembre 2012) et $97,7 \pm 8,0$ % (septembre 2013). Les valeurs extrêmes sont mesurées à la station Z'Abricots ($4,1$ mg l⁻¹ en décembre 2013 et $8,5$ mg l⁻¹ en mars 2013).

Le **pH** varie peu. Les valeurs moyennes sont minimales au mois de septembre 2012 ($8,01 \pm 0,06$) et maximales au mois de mars 2013 ($8,21 \pm 0,02$). Ces valeurs sont dans la gamme de celles généralement mesurées en milieu marin (entre 8,0 et 8,3). Les valeurs extrêmes sont mesurées à la station Baie de Génipa ($7,98$ en septembre 2012 et $7,86$ en septembre 2013) et à la station Pagerie au mois de mars 2013 ($8,25$).

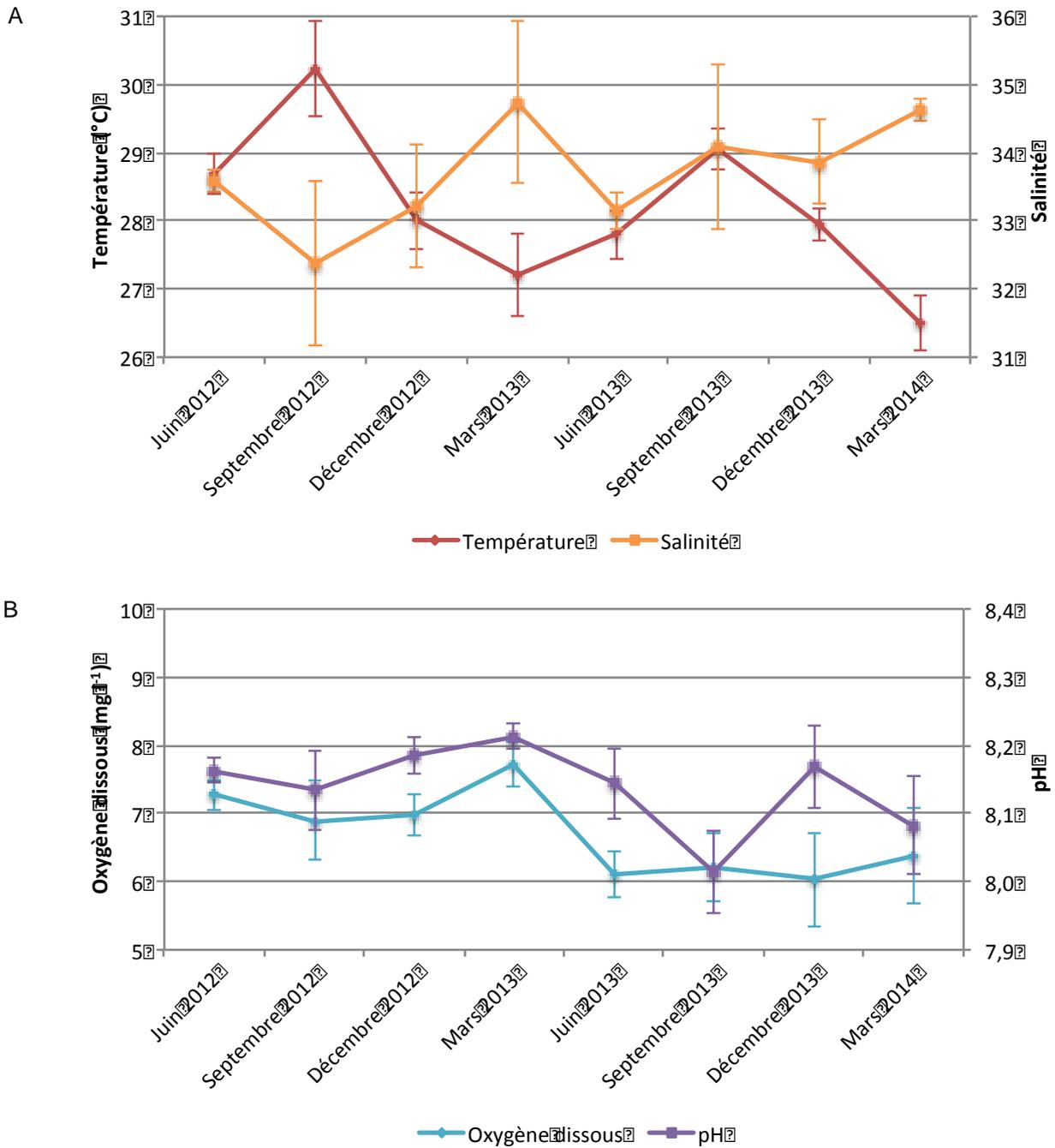


Figure 19 : Evolution des paramètres mesurés *in situ* entre juin 2012 et mars 2014. Moyennes de surface pour l'ensemble des stations « Contrat de Baie » et écart-types. A : température (°C) et salinité. B : oxygène dissous (mg l⁻¹) et pH.

Turbidité :

Les valeurs de turbidité présentent de fortes variations selon les campagnes ou les stations. Les mesures varient de 0,13 FNU (Large Ramier, décembre 2012) à 10 FNU (Baie de Génipa, septembre 2013).

D'une manière générale, les valeurs minimales sont mesurées en sortie de baie alors que les valeurs maximales sont mesurées en fond de baie, aux stations peu profondes ou aux embouchures. Ainsi, les groupes de stations Fond Blanc Ramier, Large Ramier et Flamands_Sud d'une part et Baie de Génipa, Z'Abricots, Pagerie, Aéroport d'autre part, présentent des valeurs de turbidité significativement différentes.

Composés azotés :

Remarque : En raison d'une panne de leur spectrophotomètre, le LDA n'a pas analysé les nitrates pour les échantillons de la campagne de décembre 2012.

Les concentrations en **nitrates** mesurées lors de la campagne de septembre 2012 sont significativement différentes de celles mesurées lors des autres campagnes. A cette période, elles sont comprises entre 13,0 μM (Flamands_Sud) et 17,1 μM (Baie de Génipa).

Au cours des autres campagnes, les concentrations varient entre 0,3 μM (Baie de Génipa, mars 2014) et 7,9 μM (Baie de Génipa, juin 2012). Seul un pic exceptionnel est mesuré à la station Birot en mars 2014 (15,6 μM).

57 % des concentrations en **nitrites** sont inférieures ou égales à la limite de quantification appliquée par le laboratoire (0,03 μM). Les concentrations quantifiables varient entre 0,03 et 0,43 μM (Baie de Génipa, septembre 2013). Bien qu'aucune différence statistique ne puisse être mise en évidence, les résultats montrent que les stations du nord et du fond de la baie présentent des concentrations mesurables plus fréquemment et plus importantes que les stations situées en sortie de baie (Large Ramier, Fond Blanc Ramier, Anse à l'Ane, Flamands_Sud).

Les concentrations en **ammonium** sont inférieures ou égales à la LQ (0,1 μM) dans 66 % des échantillons. Lorsqu'elles sont quantifiables, les concentrations varient de 0,1 à 2,5 μM . La station Baie de Génipa présente des concentrations systématiquement supérieures à la LQ. Elle se distingue des stations Fond Blanc Ramier, Large Ramier, Birot et Large aéroport qui présentent généralement des concentrations inférieures à la LQ (différences statistiques significatives).

Orthophosphates :

Les concentrations en phosphates sont inférieures à la LQ (0,05 μM) dans 74 % des échantillons. Lorsqu'elles sont quantifiables, elles varient entre 0,05 et 0,47 μM . Comme pour les nitrites et l'ammonium, c'est à la station Baie de Génipa que les plus fortes concentrations sont mesurées.

Chlorophylle a :

Remarque : les échantillons acquis à 4 stations (Z'Abricots, Large Aéroport, Caye Gros Ilet et Anse Ane) au cours de la campagne de mars 2013 n'ont pas été analysés dans les temps (du fait de la panne du spectrophotomètre au LDA) et sont définitivement perdus.

Les concentrations en chlorophylle a varient de la limite de quantification (0,1 $\mu\text{g l}^{-1}$) à 2,4 $\mu\text{g l}^{-1}$.

Aucune tendance temporelle ne se dégage. En revanche, des différences statistiques significatives existent entre les stations Large Ramier et Fond Blanc Ramier (profondes et situées le plus à l'extérieur de la baie) et certaines stations du fond de la baie, peu profondes (Large Aéroport, Z'Abricots, et Pagerie).

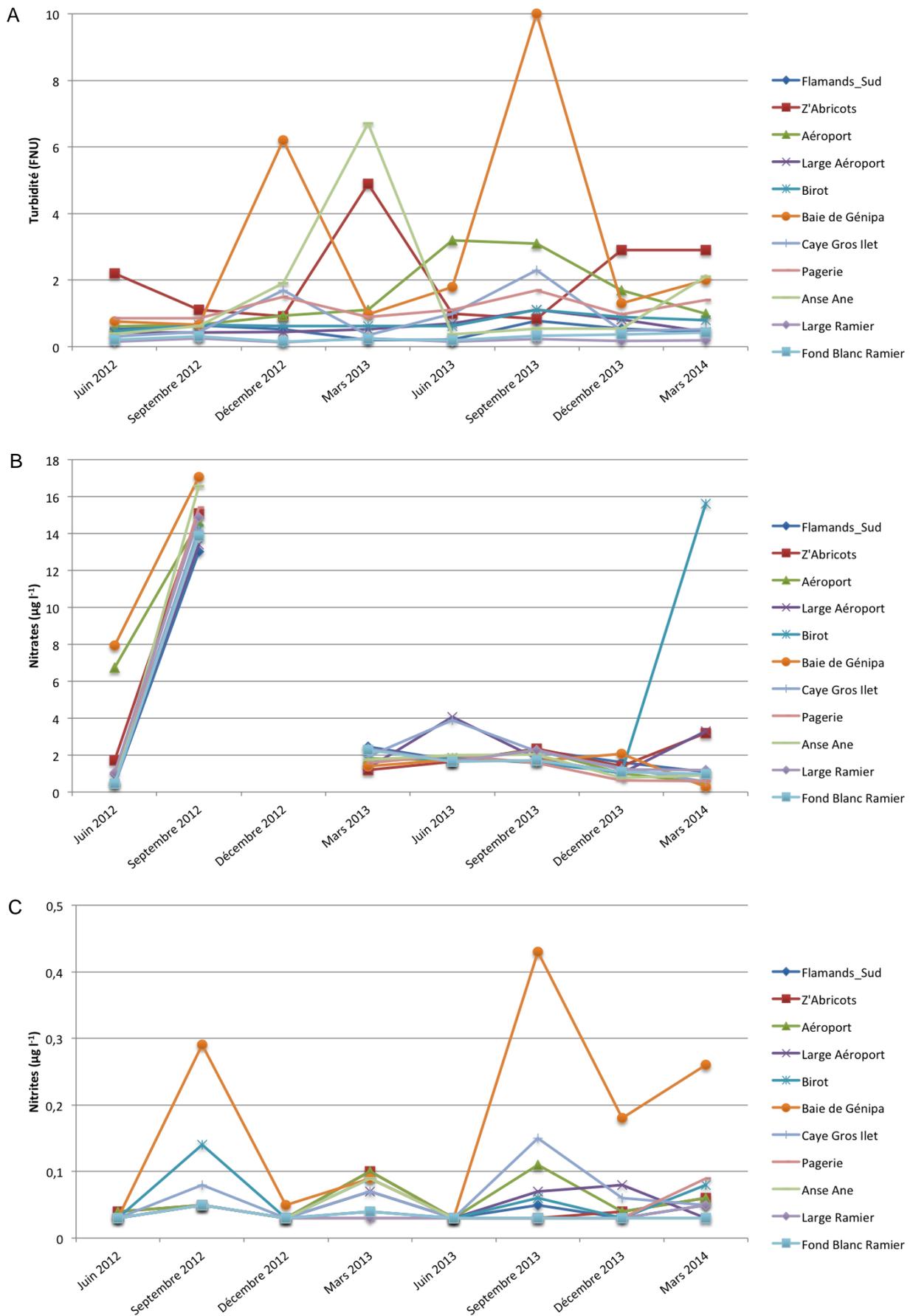


Figure 20 : évolution des paramètres analysés en laboratoire aux stations Contrat de Baie entre juin 2012 et mars 2014. (A) turbidité (FNU), (B), nitrates (μM), (C) nitrites (μM)

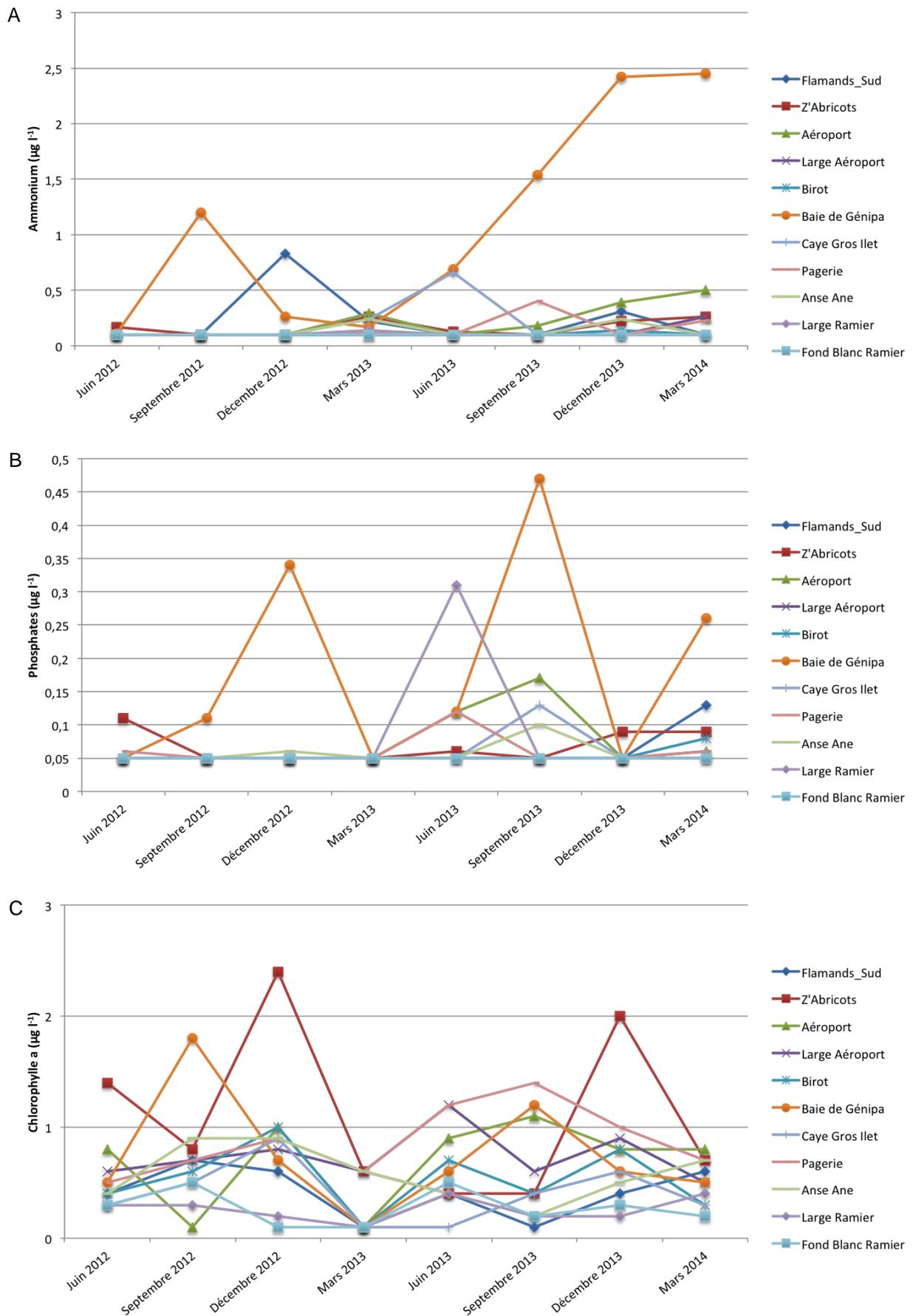


Figure 21 : évolution des paramètres analysés en laboratoire aux stations Contrat de Baie entre juin 2012 et mars 2014. (A) ammonium (μM), (B) phosphates (μM), (C) chlorophylle a ($\mu\text{g l}^{-1}$)

2.1.3 Recueil des données existantes (RNO et DCE)

Les Figure 22 et Figure 23 présentent l'évolution des paramètres hydrologiques aux stations RNO et DCE entre juin 2012 et mars 2014.

Pour la plupart des paramètres, les valeurs acquises dans le cadre des réseaux existants sont dans la gamme de celles mesurées aux stations Contrat de Baie et varient selon les mêmes tendances.

Aux stations RNO, les **températures** moyennes sont minimales en hiver ($26,1 \pm 0,2$ en février 2014) et maximales à la fin de l'été ($30,1 \pm 0,5$ °C en septembre 2013). A la station DCE Banc Gamelle, elles sont comprises entre 26,9 (février 2013) et 30,5 °C (octobre 2012).

La **salinité** varie de $33,0 \pm 0,4$ (août 2012) à $36,0 \pm 0,1$ (mars 2014) aux stations RNO et de 31,9 (août 2012) à 35,8 (février 2013) à la station DCE Banc Gamelle.

La **turbidité** a été mesurée trimestriellement à la station DCE Banc Gamelle, de juin 2012 à juin 2013. Elle varie entre 0,3 et 0,4 FNU mais présente un pic au mois de juin 2013 (3,73 FNU). Cette valeur est cohérente avec celle mesurée à la station Contrat de Baie Aéroport à la même période (3,2 FNU).

Aux stations RNO, la transparence de l'eau est évaluée à partir des concentrations en matières en suspension (**MES**) et non de la turbidité. Aucune campagne RNO n'a été réalisée en juin 2013. Au cours de la période d'étude, les concentrations en MES varient de la LQ (2 mg l^{-1}) à $33,6 \text{ mg l}^{-1}$ (à la station RNO Banc Gamelle, en août 2013). D'une manière générale, les valeurs moyennes les plus faibles sont mesurées lors du carême (février et mars 2014) et les valeurs moyennes maximales en juillet 2012. Toutefois, la majeure partie des mesures a été réalisée en période des pluies.

Les concentrations en **nitrate**s présentent des différences notables selon les réseaux, lors de la campagne de septembre 2012. En effet, les concentrations élevées mesurées sur l'ensemble des stations Contrat de Baie (environ 13 à 17 μM) ne se retrouvent pas aux stations RNO ni DCE, où elles varient entre 3,2 et 6,2 μM . En revanche, des concentrations élevées sont mesurées aux stations RNO en octobre 2012 (4,1 à 14,2 μM). Lors de la période juin 2012 – octobre 2012, les concentrations maximales en nitrates sont systématiquement mesurées à la station Cohé du Lamentin. Au cours des périodes août 2013 – novembre 2013 et février-mars 2014, les concentrations sont plus homogènes et en accord avec celles mesurées aux stations Contrat de Baie (0,5 – 4,2 μM).

Les concentrations en **nitrite**s sont faibles et cohérentes avec celles mesurées aux stations Contrat de Baie, sur l'ensemble de la période d'étude (0,03 – 0,12 μM). Les concentrations en **ammonium** sont également dans la gamme de celles rencontrées aux stations Contrat de Baie. Elles sont généralement inférieures ou égales à la LQ (0,1 μM) mais présentent ponctuellement des pics (0,13 à 3,2 μM) sans qu'une tendance puisse être dégagée. A noter tout de même les campagnes de février et mars 2014, où des concentrations supérieures à la LQ sont mesurées sur l'ensemble des stations (0,17 – 1,68 μM). Les concentrations en **phosphates**, quant à elles, sont presque systématiquement inférieures ou égales à la LQ (0,05 μM). La concentration maximale est mesurée à Gros Ilet en novembre 2013 (0,13 μM).

Pour la **chlorophylle a**, aucune tendance temporelle ne peut être mise en évidence. Les concentrations varient entre la limite de quantification ($0,1 \mu\text{g l}^{-1}$) et $1,57 \mu\text{g l}^{-1}$. Elles sont donc dans la gamme de celles mesurées aux stations Contrat de Baie et les concentrations maximales sont également mesurées en fond de baie (à Cohé du Lamentin et/ou Pointe des Sables).

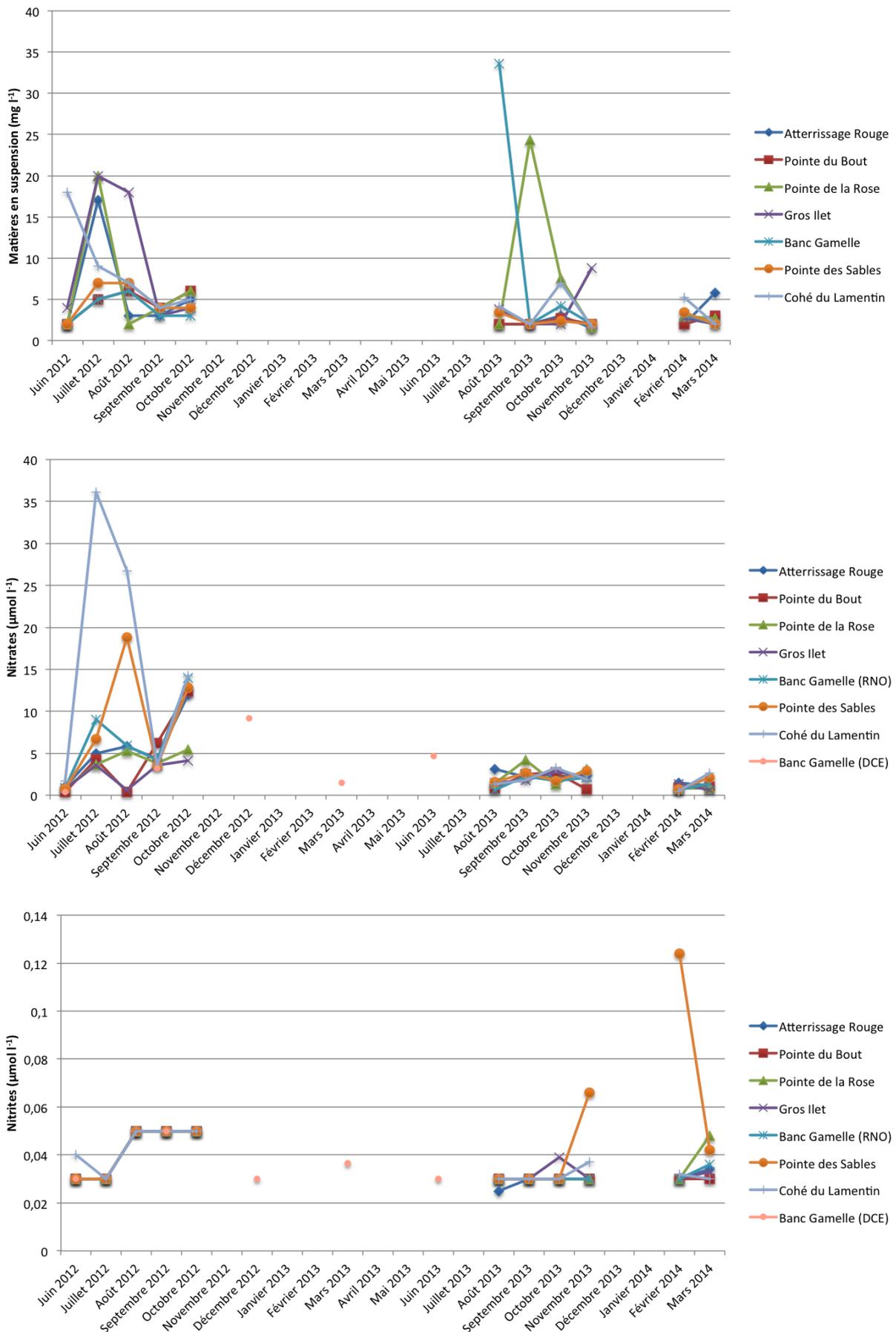


Figure 22 : données RNO et DCE recueillies pour la période juin 2012 – mars 2014. (A) matières en suspension (mg l^{-1}), (B) nitrates (μM), (C) nitrites (μM)

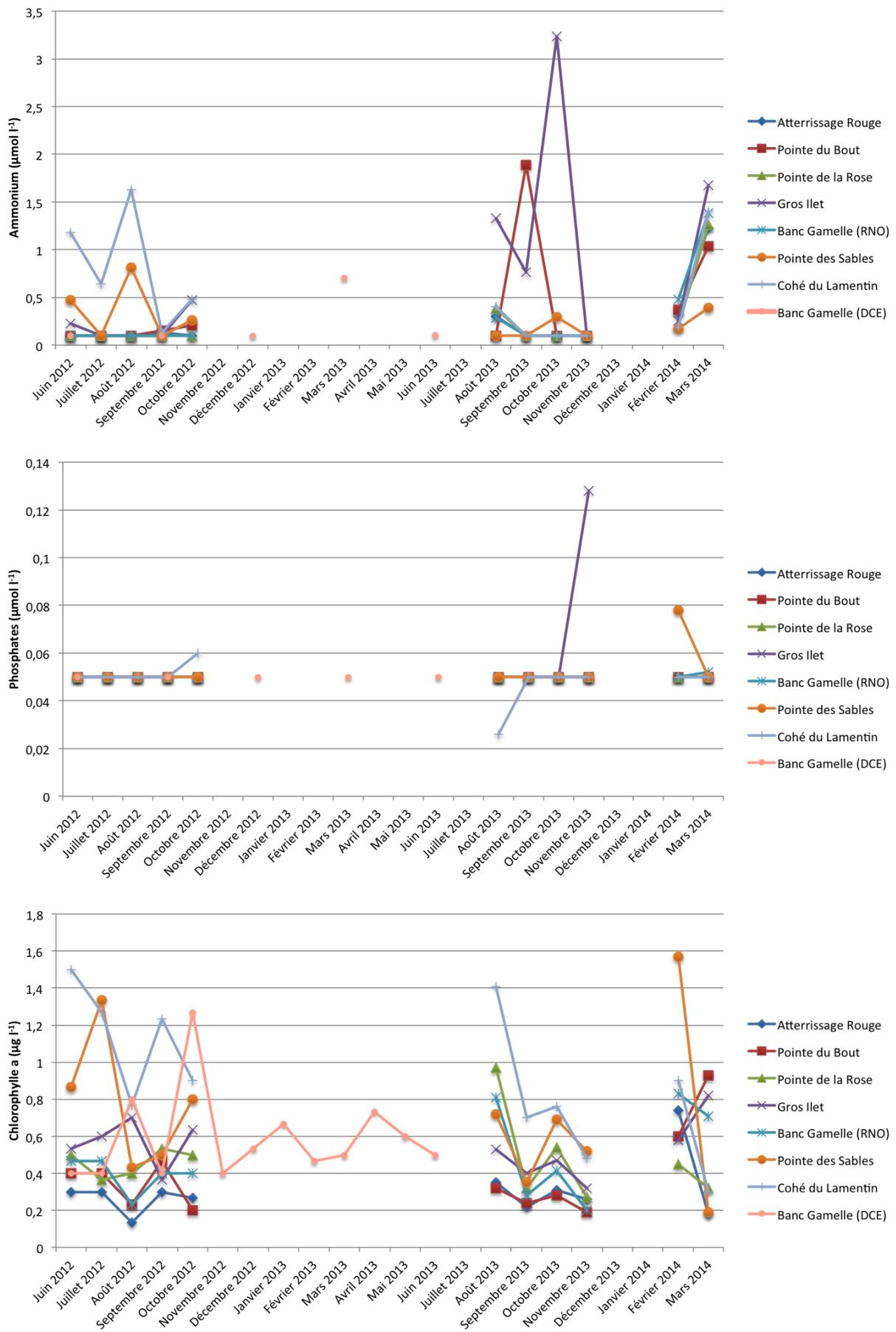


Figure 23 : données RNO et DCE recueillies pour la période juin 2012 – mars 2014. (A) ammonium (μM), (B) phosphates (μM), (C) chlorophylle a ($\mu\text{g l}^{-1}$)

2.1.4 Tests statistiques : éléments marquants pour le suivi des paramètres hydrologiques

Des tests de corrélations (Pearson), des comparaisons d'observations et des analyses multivariées (ACP) ont été réalisées sur l'ensemble des données acquises aux stations Contrat de Baie, pour les paramètres hydrologiques. L'ensemble de ces analyses a été réalisé sous XLSTAT.

Les corrélations significatives confirment l'évolution attendue de la plupart des paramètres hydrologiques dans le contexte de la Martinique. Ces résultats sont à interpréter avec précaution étant donné le nombre relativement faible d'observations ($n = 88$).

- La relation négative entre la température et la salinité ($-0,493$, $p < 0,05$) traduit bien la **saisonnalité** des précipitations, typique de notre région : la saison des pluies se met en place en été, alors que les températures de surface sont les plus élevées, tandis que la saison sèche (carême) s'installe en hiver où les températures de surface sont les plus basses.
- La salinité est inversement corrélée aux concentrations en nitrates, nitrites et phosphates ($p < 0,05$), traduisant les apports en nutriments dans la baie lors des épisodes pluvieux.
- Les concentrations en oxygène dissous et le pH sont également bien corrélés ($0,555$, $p < 0,05$). Ces paramètres sont en effet étroitement liés à certains processus biologiques tels que la photosynthèse (consommation de CO_2 et libération d'oxygène entraînant une augmentation de la concentration en O_2 et du pH dans le milieu) ou inversement, la reminéralisation de la matière organique. Une forte diminution du pH en milieu marin peut également refléter des apports en eau douce, où le pH varie généralement dans une plus large gamme. Ceci ne peut en revanche être mis en évidence avec les données acquises dans le cadre de cette étude.
- La turbidité et la chlorophylle *a* sont positivement corrélées ($0,324$, $p < 0,05$).
- Pour le paramètre turbidité, trois groupes de stations présentent des différences significatives : les stations situées en sortie de baie (Large Ramier, Fond Blanc Ramier et Flamands_Sud), les stations de fond de baie (Aéroport, Baie de Génipa, Pagerie, Z'abricots) et un groupe intermédiaire (Anse à l'Ane, Birot, Caye Gros Ilet, Large Aéroport).

Les observations (couples station – campagne) ont été projetées sur les axes F1 et F2 (expliquant 50,9 % de la variation des données) (Figure 24) :

- La campagne de septembre 2012 s'individualise clairement par rapport aux autres campagnes, du fait des fortes concentrations en nitrates et des températures élevées de la masse d'eau. Cette observation ne peut être corrélée à la pluviométrie.
- Au cours de cette campagne, la station Baie de Génipa (C2), située à l'embouchure de la rivière Salée, se démarque particulièrement : la température élevée est associée à un minimum de salinité, d'oxygène dissous, de pH et à un maximum de nutriments et chlorophylle *a*. Cet événement pourrait être lié à l'échantillonnage d'une lentille d'eau douce (S, pH), riche en nutriments et/ou à une forte reminéralisation de matière organique : consommation d'oxygène dissous par les microorganismes et donc production de CO_2 (diminution du pH). L'échantillonnage s'est probablement produit au démarrage ou à la fin d'un bloom phytoplanctonique. Dans une moindre mesure, cette station s'individualise également lors des campagnes de juin 2012 (C1) et décembre 2012 (C3). En juin 2012, ce sont les concentrations maximales en nitrates qui expliquent cette différenciation, alors qu'en décembre 2013, le site présente de nouveau un minimum de salinité, associé à un maximum en phosphates et turbidité.
- Au cours de la campagne de mars 2013, c'est la station Birot (D4) qui se démarque des autres stations. Ceci est dû à la valeur extrême de salinité mesurée à cette date (37,8).

Ces tests statistiques ont également été réalisés sur les données acquises dans le cadre du RNO ($n = 77$).

La station Cohé du Lamentin s'individualise par rapport aux autres stations, lors des campagnes de juin, juillet, août, septembre et octobre 2012 du fait de concentrations en nutriments généralement plus importantes.

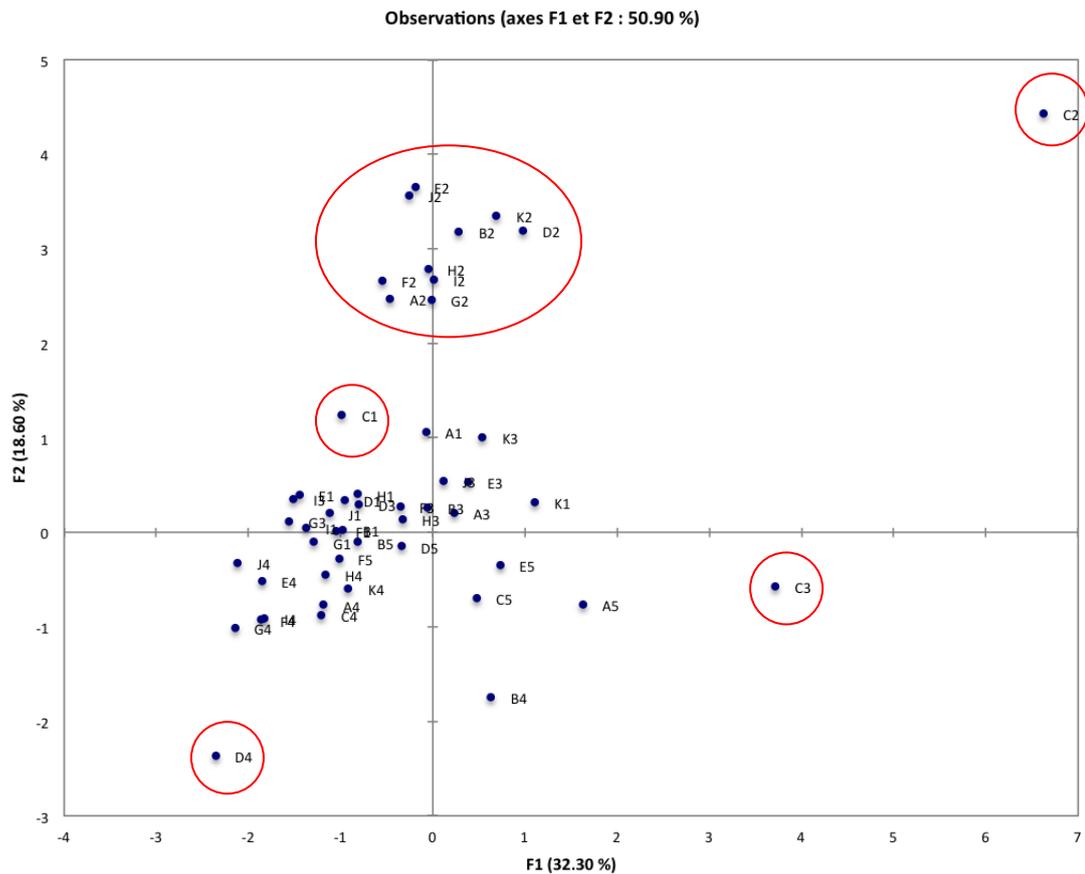


Figure 24 : Résultats de l'ACP effectuée sur l'ensemble des données hydrologiques acquises entre juin 2012 et mars 2014 aux stations Contrat de Baie

2.2 Contamination de l'eau

Taux de récupération des échantillonneurs passifs

Les DGT ont été récupérés 3 à 11 jours après leur déploiement ; les POCIS 21 à 23 jours après leur déploiement. Au total, 24 DGT ont été posés aux 6 stations Contrat de Baie, au cours de 4 campagnes. Le taux de récupération des DGT est de 91,7 % : les 2 DGT posés à l'embouchure de la rivière Madame au cours des campagnes 2 (septembre 2012) et 3 (décembre 2012) ont été perdus. Des plongées en PMT n'ont pas permis de retrouver les échantillonneurs.

Le taux de récupération est de 95,8 % pour les 24 POCIS posés au cours des 4 campagnes. Un seul POCIS a été perdu, également à l'embouchure de la rivière Madame, au cours de la campagne 2 (septembre 2012). Le mouillage a également été recherché en PMT, autour du point GPS.

Les résultats des analyses sont présentés dans un rapport annexe (Gonzalez *et al.*, 2013), comme précisé dans le Matériel et Méthodes. Leur intégration au présent rapport, pour une interprétation globale des données, n'était pas prévue dans le cadre de ce marché.

3 Suivi de la contamination des sédiments et des organismes vivants par les micropolluants (Action G2.4)

3.1 Suivi de la contamination des sédiments

Des échantillons de sédiment ont été prélevés sur 7 stations Contrat de Baie (Figure 25) au cours de 2 campagnes (31 juillet 2012 et 5 septembre 2013).

En 2012, 84 paramètres ont été analysés (Annexe 2). Sur l'ensemble des échantillons, trois familles principales de composés ont été systématiquement détectées : les métaux, les hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP) et les phtalates. En 2013, une partie des composés non détectés en 2012 n'a pas été recherchée mais des substances supplémentaires ont été analysées (Annexe 3). Les contaminants mesurés appartenaient aux mêmes familles de contaminants.

Enfin, les données acquises dans le cadre du REPOM ont été recueillies et intégrées aux résultats présentés ci-après. La liste des composés analysés dans le cadre du REPOM diffère de celle des stations Contrat de Baie (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Toutefois, les composés détectés sont également principalement des métaux et HAP, ainsi que des organoétains en 2013).

Des normes de qualité environnementale (NQE) existent pour un certain nombre de polluants mais ne sont pas encore arrêtées pour la matrice sédiment. Les concentrations mesurées dans cette matrice peuvent toutefois être comparées à d'autres seuils de qualité, tels que ceux proposés par le Groupe d'Etude et d'Observation sur le Dragage et l'Environnement (GEODE) pour certains métaux lourds, polychlorobiphényles (PCB) et le tributylétain (TBT) (Tableau 12). Ces niveaux ou seuils ont une valeur réglementaire pour les sédiments dragués dans les ports français, destinés à être immergés en mer (excepté pour les HAP, seuils encore en cours de définition). Ces seuils sont donnés ici à titre indicatif, pour comparaison avec les valeurs mesurées dans les sédiments de la baie de Fort-de-France.

Tableau 12 : Niveaux de référence réglementaires ou en cours de validation par le groupe GEODE pour les sédiments dragués dans les ports français, destinés à être immergés

| | | N1 | N2 | |
|---------------------------------------|--------------------------|-----|-----|--------------------------------|
| Métaux (mg kg⁻¹) | Arsenic | 25 | 50 | |
| | Cadmium | 1,2 | 2,4 | |
| | Chrome | 90 | 180 | |
| | Cuivre | 45 | 90 | |
| | Mercure | 0,4 | 0,8 | |
| | Nickel | 37 | 74 | |
| | Plomb | 100 | 200 | |
| | Zinc | 276 | 552 | Arrêté du 9 août 2006 |
| PCB (µg kg⁻¹) | PCB 28 | 25 | 50 | |
| | PCB 52 | 25 | 50 | |
| | PCB 101 | 50 | 100 | |
| | PCB 118 | 25 | 50 | |
| | PCB 153 | 50 | 100 | |
| | PCB 138 | 50 | 100 | |
| | PCB 180 | 25 | 50 | |
| Organo-Sn (µg kg⁻¹) | TBT | 100 | 400 | Arrêté du 23 décembre 2009 |
| HAP (µg kg⁻¹) | Fluoranthène | 400 | | Valeurs en cours de validation |
| | Benzo(b) fluoranthène | 300 | | |
| | Benzo (k) fluoranthène | 150 | | |
| | Benzo (a) pyrène | 200 | | |
| | Benzo (g,h,i) péricène | 150 | | |
| | Indéno (1,2,3-cd) pyrène | 200 | | |

Contrat de la Baie de Fort-de-France : réseau de suivis en milieu marin

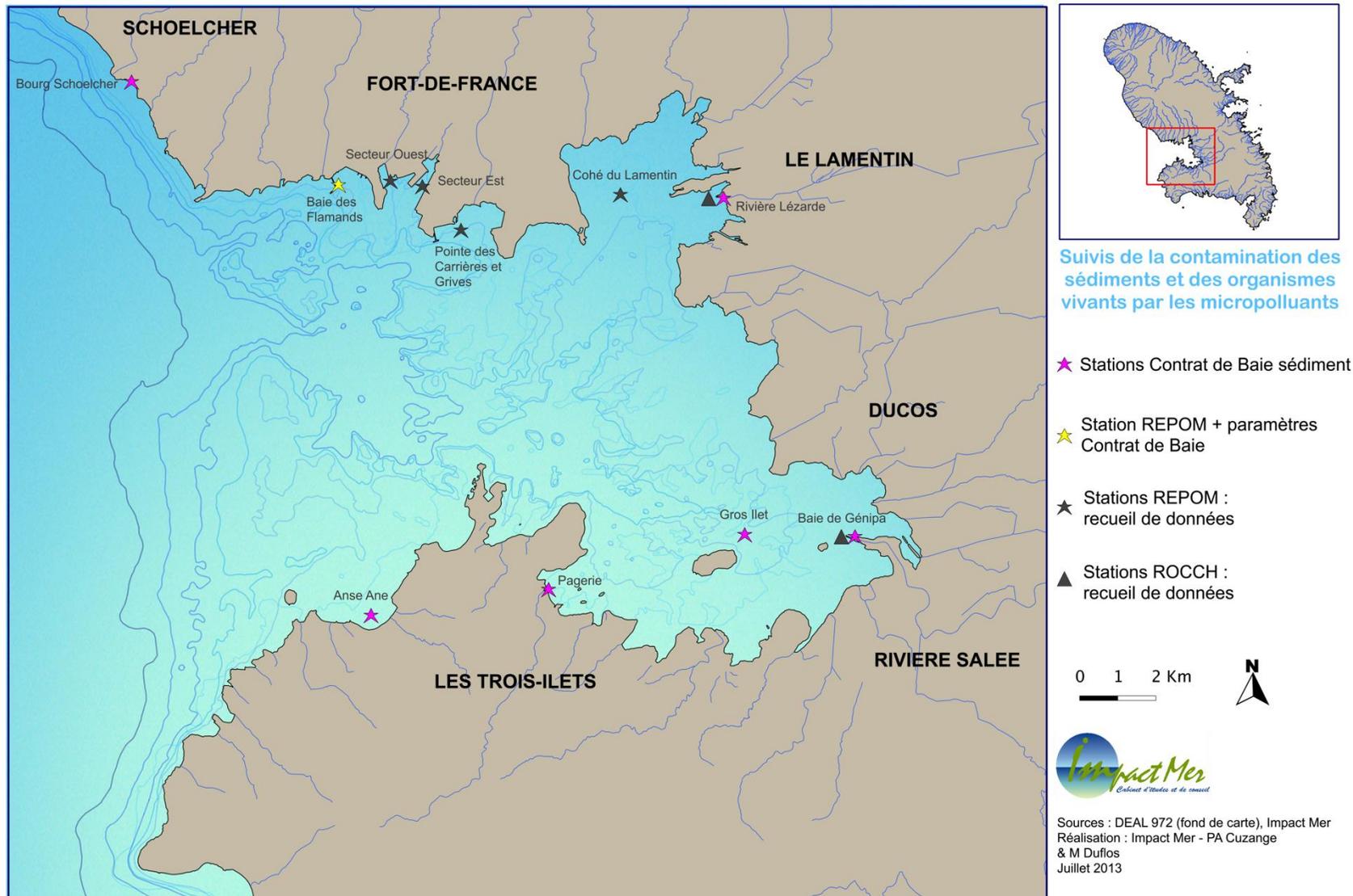


Figure 25 : carte des sites de suivi des contaminants chimiques dans les sédiments et le biote.

3.1.1 Métaux

Les concentrations sont données en mg kg^{-1} de sédiment sec. Les graphiques suivants illustrent la distribution des concentrations dans la baie (Figure 26 à Figure 29).

2012

Les métaux analysés en 2012 sont le Cadmium (Cd), le Mercure (Hg) et le Plomb (Pb).

Le **Cd** n'est détecté qu'à la station Baie des Flamands ($0,2 \text{ mg kg}^{-1}$) (Figure 26). Le **Hg** est détecté à toutes les stations, excepté à la station Anse Ane. Les **concentrations minimales** sont mesurées à **Bourg de Schoelcher** ($0,02 \text{ mg kg}^{-1}$) et les concentrations **maximales** à la station **Baie des Flamands** ($0,09 \text{ mg kg}^{-1}$). Enfin, des concentrations en **Pb** sont mesurées à toutes les stations. Elles sont comprises entre 3 mg kg^{-1} (Anse Ane) et 33 mg kg^{-1} (Baie des Flamands).

2013

Lors de la campagne 2013, l'aluminium (Al), l'arsenic (As), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), l'étain (Sn), le lithium (Li), le nickel (Ni) et le zinc (Zn) ont été analysés en plus des métaux traces recherchés en 2012.

Pour les composés analysés en 2012 et 2013, les tendances observées sont comparables :

En 2013, le **Cd** n'est détecté à aucune station. Les concentrations en **Hg** sont inférieures à la limite de quantification à Bourg de Schoelcher, **minimales** à la station **Anse Ane** ($0,03 \text{ mg kg}^{-1}$) et **maximales** à **Baie des Flamands** ($0,45 \text{ mg kg}^{-1}$). A cette station, la concentration en Hg est donc 5 fois supérieure à celle mesurée l'année précédente au même endroit et dépasse le niveau **N1** du GEODE. Comme en 2012, le **Pb** est détecté à toutes les stations, avec des concentrations comprises entre 5 mg kg^{-1} (Anse Ane) et 62 mg kg^{-1} (Baie des Flamands). A nouveau, les concentrations mesurées à Baie des Flamands en 2013 sont beaucoup plus élevées qu'en 2012 (environ 2 fois plus). Elles restent toutefois inférieures au niveau N1 du GEODE pour ce composé.

Parmi les composés recherchés uniquement en 2013, l'As, le Cu et le Zn présentent des dépassements des niveaux N1 du GEODE à certaines stations :

Les concentrations en **As** varient de 5 à 32 mg kg^{-1} et dépassent le **N1** (25 mg kg^{-1}) à **Gros Ilet**. Les concentrations en **Cu** dépassent le **N1** (45 mg kg^{-1}) à **Baie des Flamands** (69 mg kg^{-1}), **Rivière Lézarde** (84 mg kg^{-1}) et **Pagerie** (65 mg kg^{-1}). Elles dépassent également le niveau **N2** (90 mg kg^{-1}) à la station **Baie de Génipa** (119 mg kg^{-1}). Enfin, les concentrations en **Zn** varient de 38 à 151 mg kg^{-1} , excepté à la station **Baie des Flamands** où elles dépassent le **N1** et atteignent 302 mg kg^{-1} .

REPOM

Les concentrations en métaux traces sont généralement plus élevées dans la zone du port que dans le reste de la baie mais restent du même ordre de grandeur. Les stations OUEST et EST sont celles où les plus fortes concentrations sont mesurées pour la plupart des contaminants, en 2012 et 2013. A ces stations, des dépassements des seuils du GEODE ont été mesurés :

Les concentrations en Cu dépassent le niveau N2 aux 2 stations, et lors des 2 campagnes (110 à 386 mg kg^{-1}) alors qu'elles sont comprises entre le N1 et le N2 aux autres stations (46 à 89 mg kg^{-1}). En 2012, les concentrations en Hg dépassent le N2 à la station OUEST ($1,7 \text{ mg kg}^{-1}$) et en sont proches à EST ($0,78 \text{ mg kg}^{-1}$). En 2013, les concentrations diminuent un peu mais restent comprises entre le N1 et le N2 ($0,55$ et $0,74 \text{ mg kg}^{-1}$). Les concentrations en Zn dépassent également le N1 aux 2 stations et lors des 2 campagnes (300 à 441 mg kg^{-1}).

Remarque

Lors des échantillonnages de 2013, un dragage était en cours dans la baie des Flamands, à quelques centaines de mètres à l'ouest de la station Contrat de Baie du même nom. Bien que le panache semblait s'évacuer vers l'ouest, la remise en suspension du sédiment engendrée par le dragage est très probablement à l'origine de l'augmentation importante des concentrations en mercure et plomb à cette station entre 2012 et 2013. Les pics de zinc et d'étain pourraient également avoir la même origine, mais aucune mesure n'a été réalisée en 2012 pour ces composés.

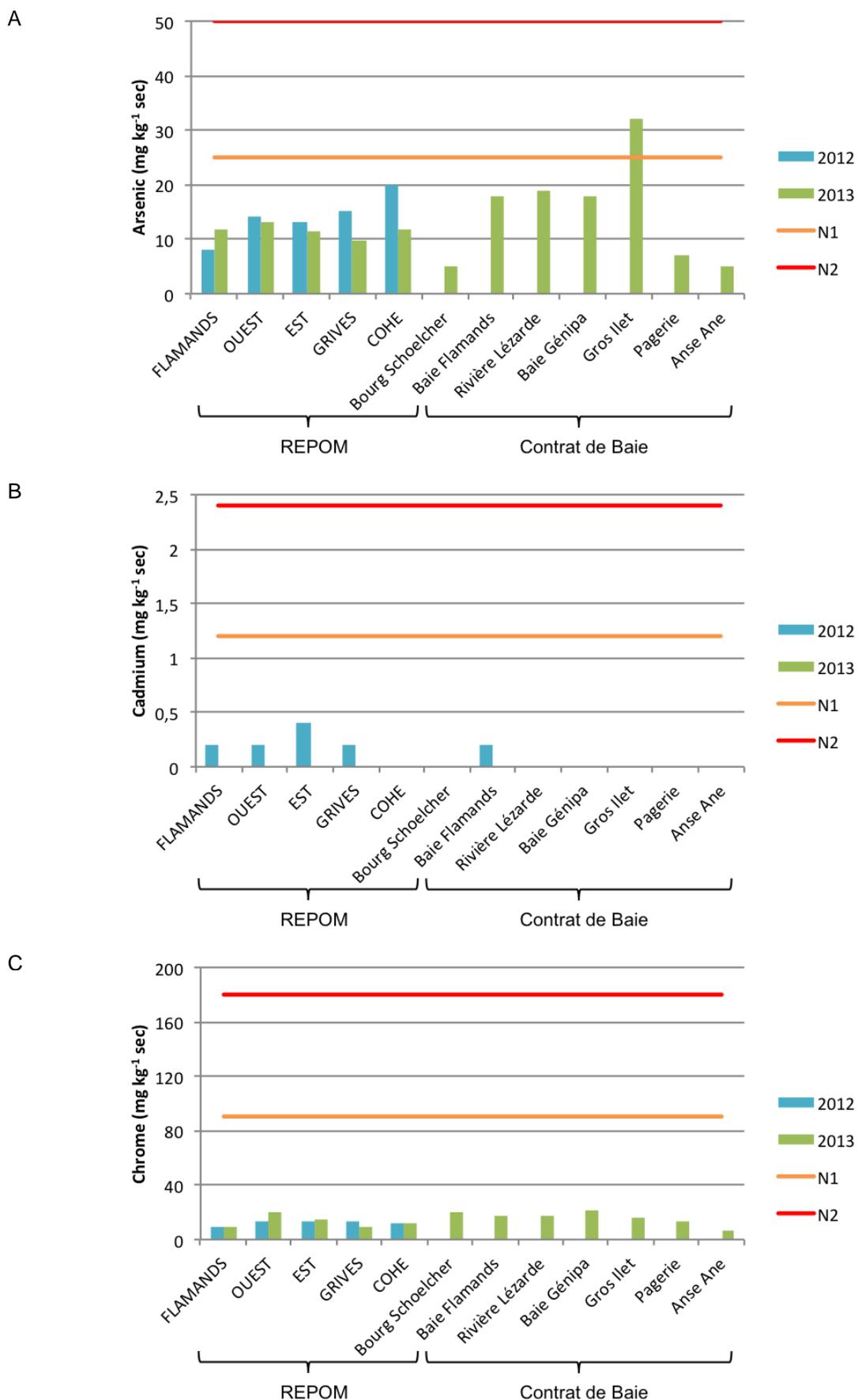


Figure 26 : Concentrations en métaux dans les sédiments (mg kg^{-1} de sédiment sec) aux stations Contrat de Baie et REPOM. (A) Arsenic, (B) Cadmium, (C) Chrome.

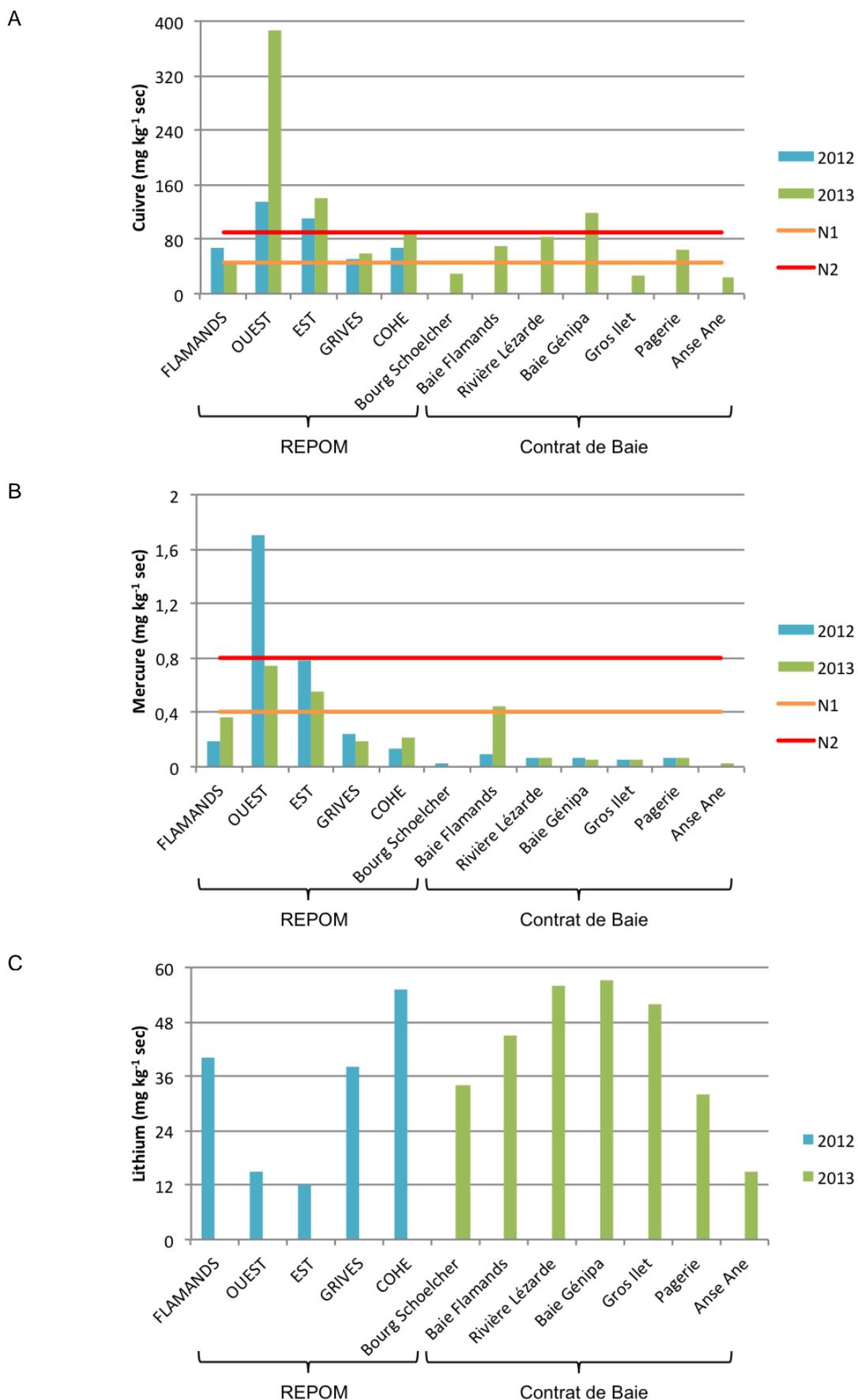


Figure 27 : Concentrations en métaux dans les sédiments (mg kg⁻¹ de sédiment sec) aux stations Contrat de Baie et REPOM. (A) Cuivre, (B) Mercure, (C) Lithium.

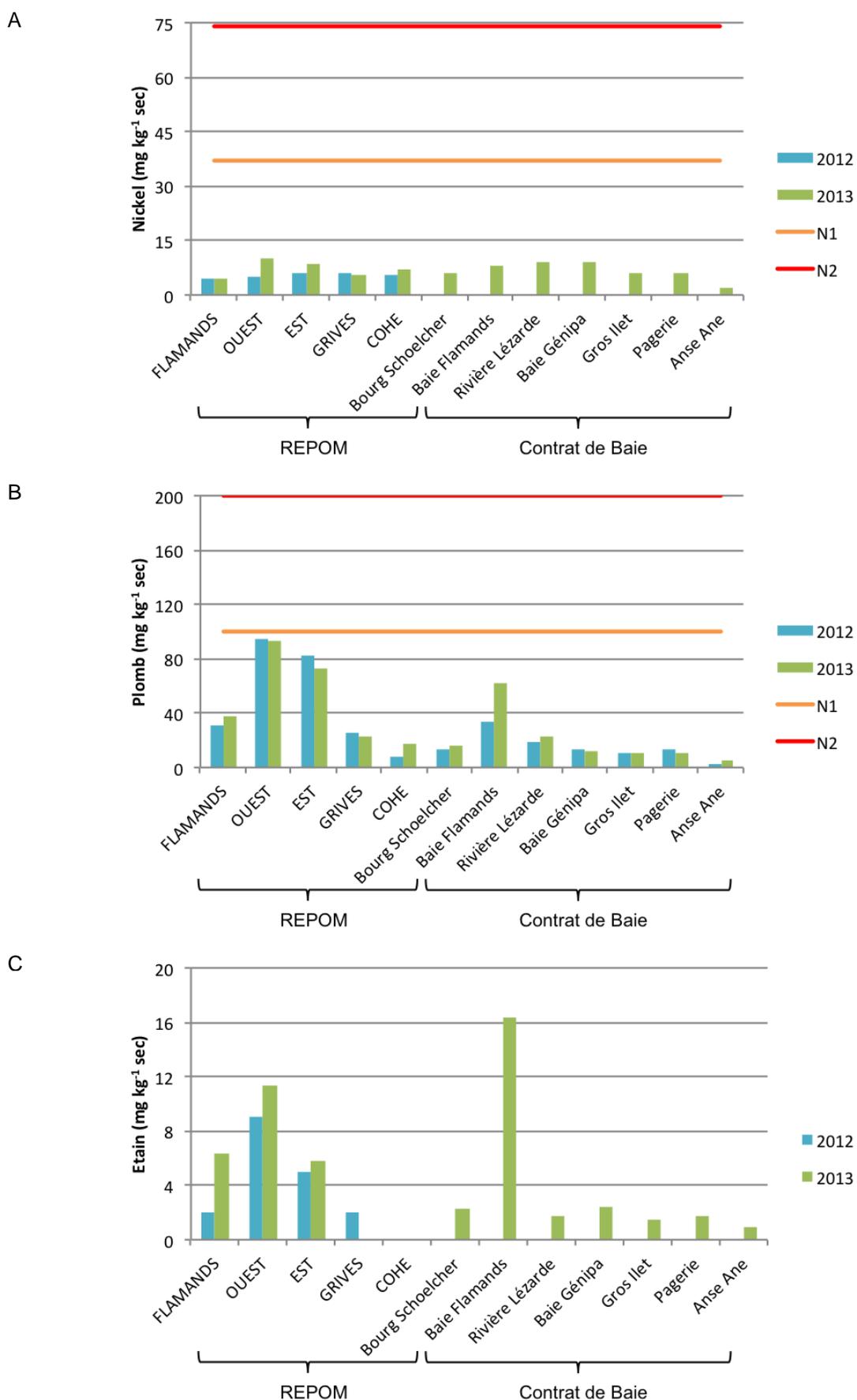


Figure 28 : Concentrations en métaux dans les sédiments (mg kg^{-1} de sédiment sec) aux stations Contrat de Baie et REPOM. (A) Nickel, (B) Plomb, (C) Etain.

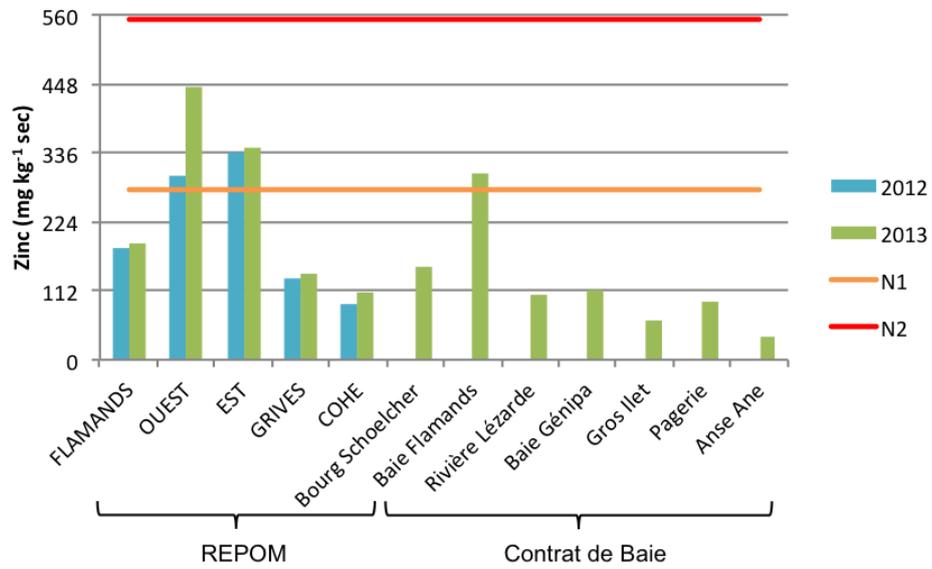


Figure 29 : Concentrations en zinc dans les sédiments (mg kg^{-1} de sédiment sec) aux stations Contrat de Baie et REPOM.

3.1.2 Hydrocarbures polyaromatiques (HAP)

La liste des HAP analysés en 2012 et 2013 dans les sédiments des stations Contrat de Baie et REPOM est présentée dans le Tableau 13.

Tableau 13 : liste des HAP analysés aux stations Contrat de Baie et REPOM au cours des campagnes de 2012 et 2013

| | CdB | | REPOM |
|---------------------------|------|------|-------------|
| | 2012 | 2013 | 2012 & 2013 |
| Anthracène | X | X | X |
| Acénaphthène | | | X |
| Acénaphthylène | | | X |
| Benzo (a) anthracène | | X | X |
| Benzo (a) pyrène | X | X | X |
| Benzo (b) fluoranthène | X | X | X |
| Benzo (ghi) pérylène | X | X | X |
| Benzo (k) fluoranthène | X | X | X |
| Biphényle | X | | |
| Chrysène | | X | X |
| Dibenz (a,h) anthracène | | | X |
| Fluoranthène | X | X | X |
| Fluorène | | | X |
| Indéno (1,2,3, cd) pyrène | X | X | X |
| Naphthalène | | X | X |
| Phénanthrène | | X | X |
| Pyrène | | X | X |

La distribution des concentrations en HAP est représentée sur les graphiques suivants (Figure 30 à Figure 33).

La plupart des HAP analysés sur les sédiments des stations Contrat de Baie et REPOM présentent la même distribution spatiale.

Les concentrations mesurées dans le port (stations REPOM) sont significativement supérieures à celles mesurées dans le reste de la baie (stations Contrat de Baie) ($p < 0,05$). C'est aux stations REPOM OUEST et EST que les concentrations maximales sont systématiquement mesurées. A la station OUEST, elles dépassent les niveaux N1 voire N2 proposés par le GEODE pour les composés suivants : benzo (a) pyrène, benzo (b) pyrène, benzo (k) fluoranthène, chrysène, fluoranthène, indéno (1,2,3-cd) pyrène, et phénanthrène. Le niveau N1 est également dépassé à la station EST en 2013 pour le benzo (b) fluoranthène et l'indéno (1,2,3-cd) pyrène.

Aux stations Contrat de Baie, seul le biphényle ne présente aucune concentration supérieure à la LQ. L'anthracène, le naphthalène et le pyrène ne sont mesurés qu'aux stations Baie des Flamands, Rivière Lézarde et Gros Ilet. Les autres composés sont présents sur l'ensemble des stations, avec des concentrations maximales à la station Baie des Flamands (10,4 à 296,0 $\mu\text{g kg}^{-1}$) et minimales à Bourg de Schoelcher ou Anse Ane (1,0 – 7,6 $\mu\text{g kg}^{-1}$).

Les concentrations sont comparables entre 2012 et 2013 pour les composés qui ont été analysés au cours des deux campagnes, excepté à la station Baie des Flamands où elles sont nettement supérieures en 2013 (x 5 à 15 environ : 10,4 à 38,9 $\mu\text{g kg}^{-1}$ en 2012 et 110 à 296 $\mu\text{g kg}^{-1}$ en 2013). Cette augmentation des concentrations en HAP en 2013 est très probablement liée au dragage en cours lors des échantillonnages, à proximité de la station (cf. Remarque, paragraphe 3.1.1 Métaux)

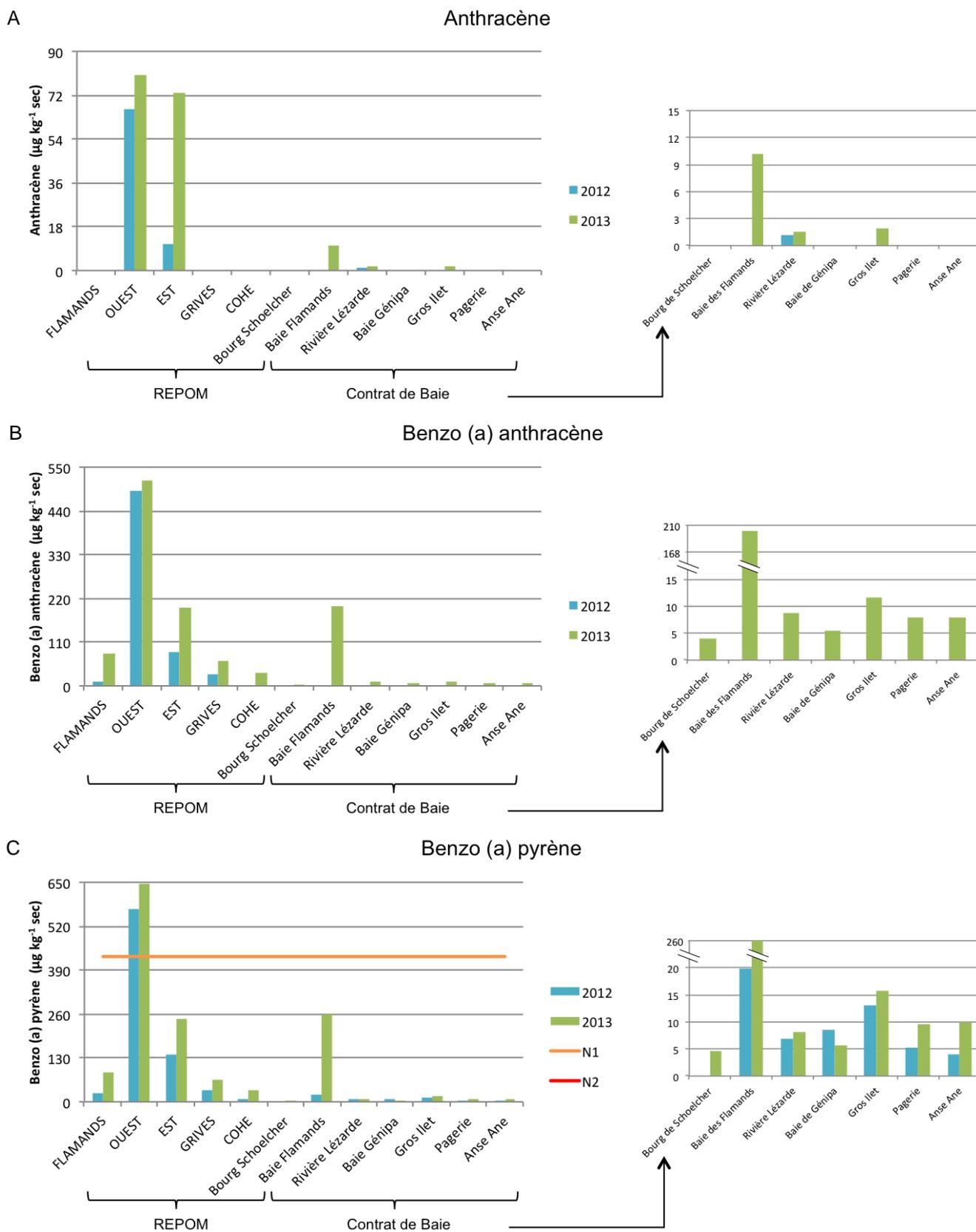


Figure 30 : Concentrations en HAP dans les sédiments ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de sédiment sec) aux stations Contrat de Baie et REPOM. (A) Anthracène, (B) Benzo (a) anthracène, (C) Benzo (a) pyrène

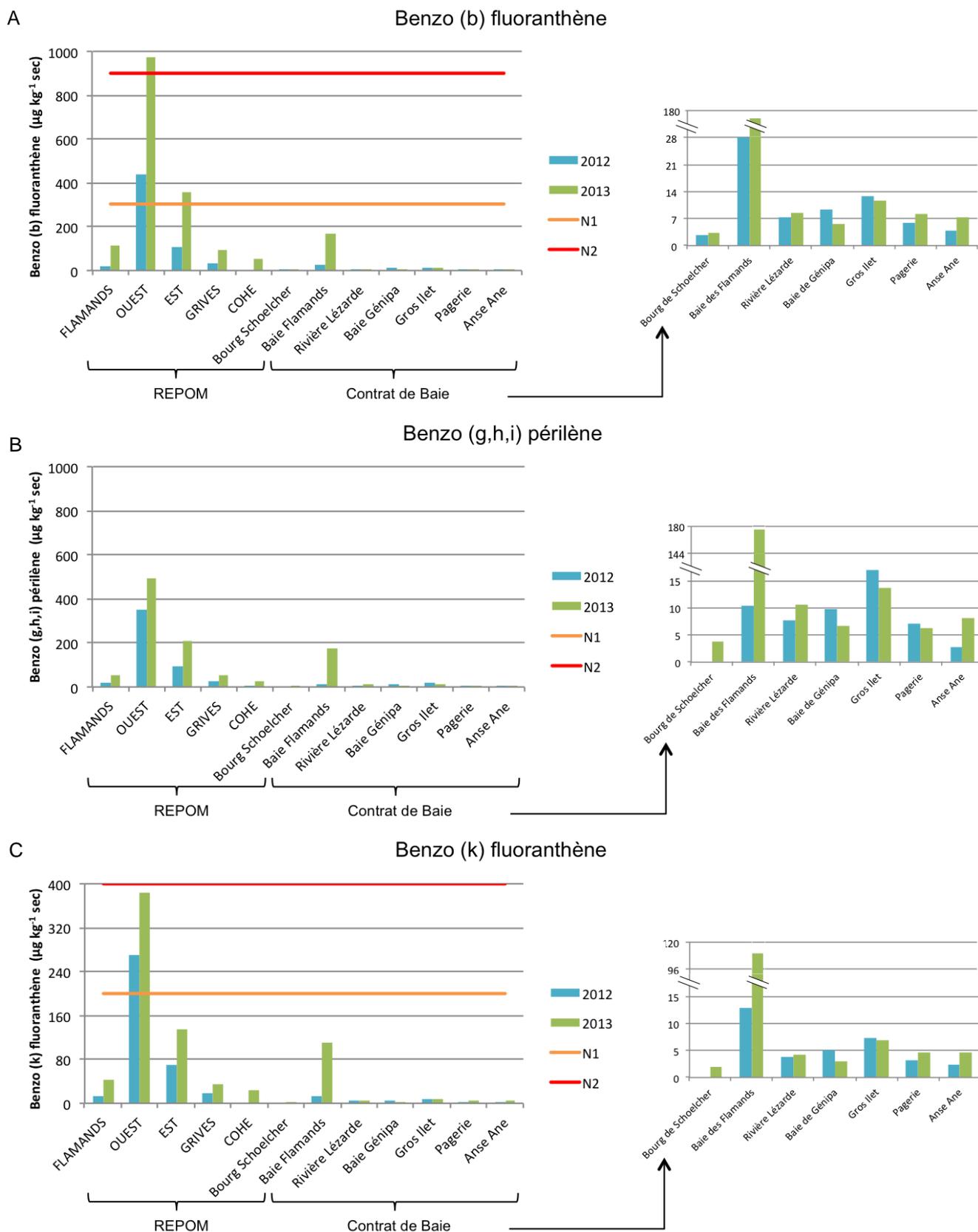


Figure 31 : Concentrations en HAP dans les sédiments ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de sédiment sec) aux stations Contrat de Baie et REPOM. (A) Benzo (b) fluoranthène, (B) Benzo (g,h,i) périlène, (C) Benzo (k) fluoranthène

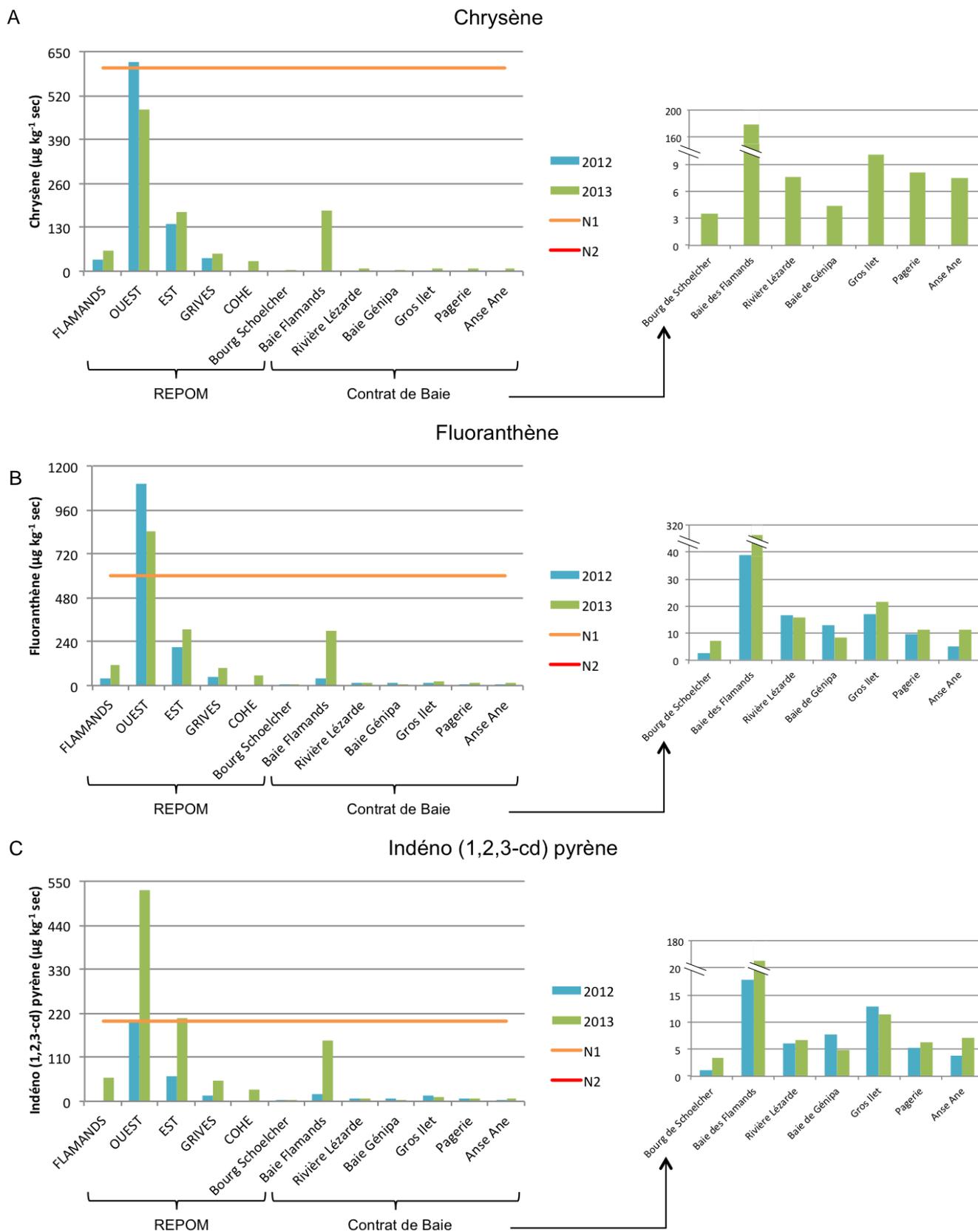
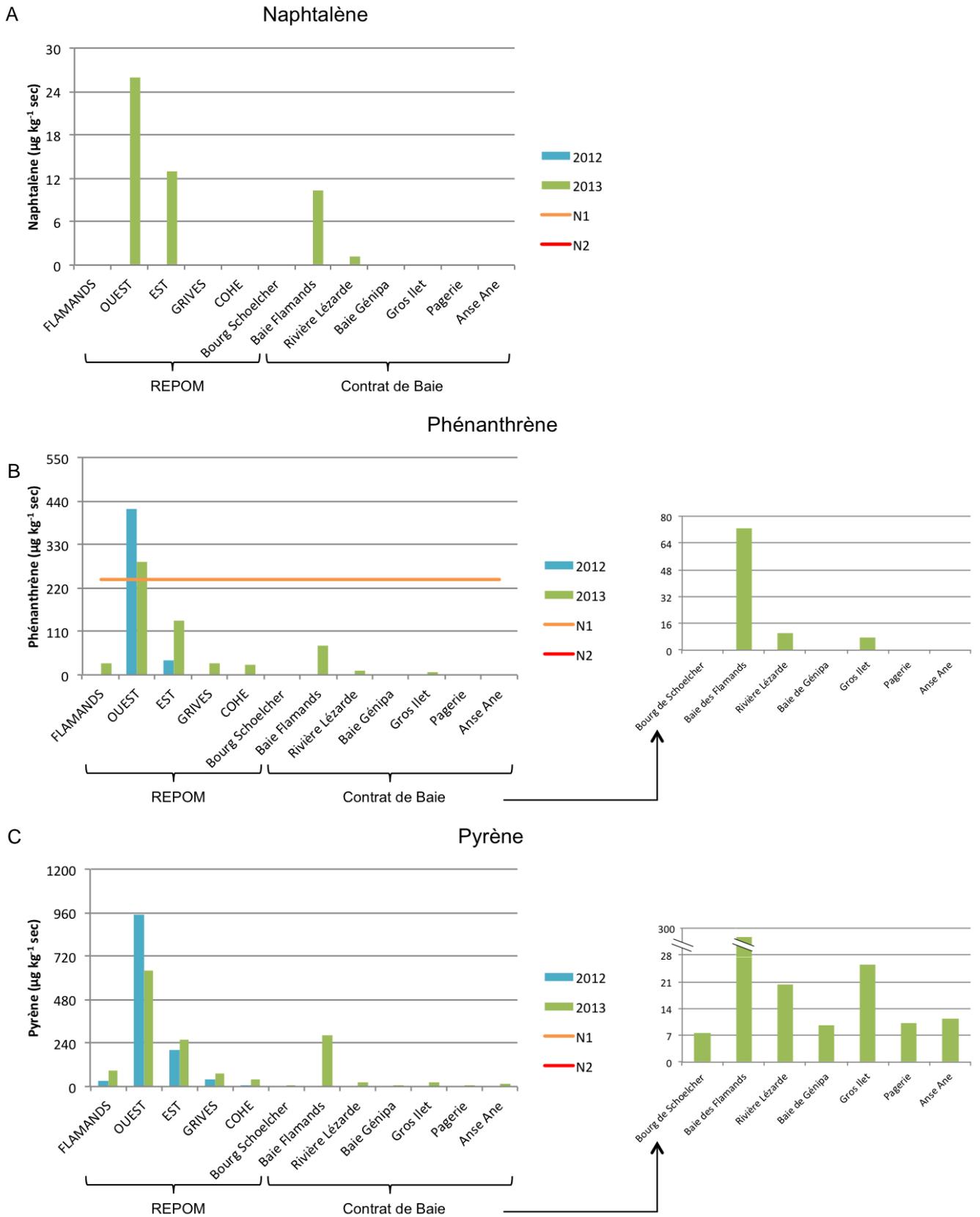


Figure 32 : Concentrations en HAP dans les sédiments ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de sédiment sec) aux stations Contrat de Baie et REPOM. (A) Chrysène, (B) Fluoranthène, (C) Indéno (1,2,3-cd) pyrène



3.1.3 Phtalates

Les phtalates sont mesurés sur l'ensemble des stations du réseau Contrat de Baie, lors des deux campagnes (Figure 34). Les concentrations sont comprises entre 95 et 1 300 $\mu\text{g kg}^{-1}$ et sont **maximales** à la station **Baie des Flamands**. Dans le port (aux stations REPOM), les phtalates sont absents, excepté à la station EST en 2013 (2 200 $\mu\text{g kg}^{-1}$).

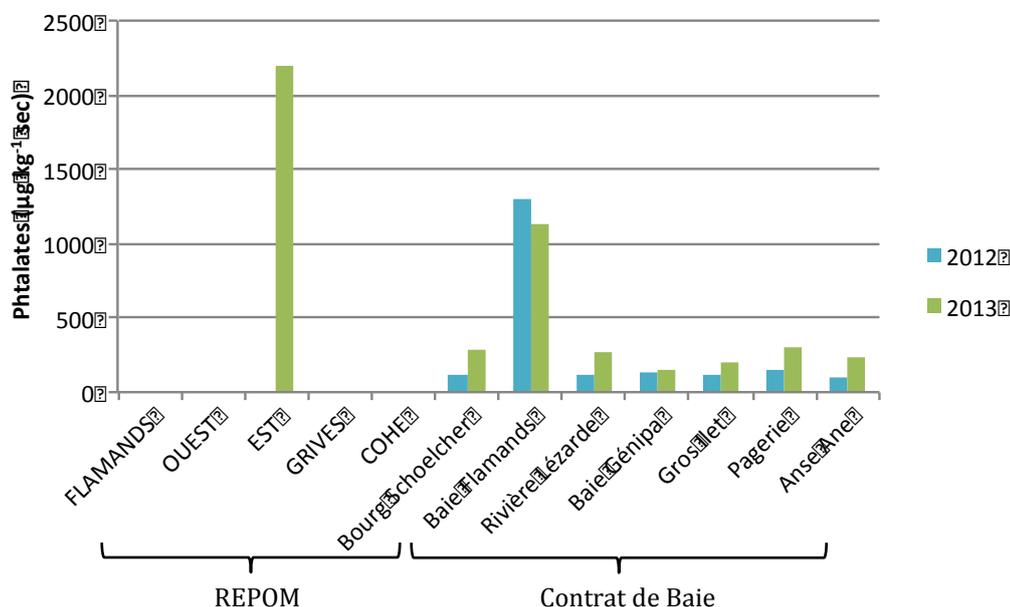


Figure 34 : Concentrations en phtalates dans les sédiments ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de sédiment sec) aux stations Contrat de Baie et REPOM.

3.1.4 Autres composés

Stations Contrat de Baie

En **2012**, en plus de composés mesurés sur l'ensemble des stations, la station **Baie des Flamands** présente des concentrations supérieures aux LQ pour 4 composés supplémentaires :

- le DDE pp' (produit de dégradation du DDT),
- le MBT et le DBT (produits de dégradation du TBT)
- et le BDE 77.

Ces composés présentent des concentrations faibles (1 à 4,1 $\mu\text{g kg}^{-1}$) et proches des LQ et ne sont détectés à aucune autre station.

En **2013**, la station **Baie des Flamands** présente également des concentrations quantifiables pour :

- le DDT et ses produits de dégradation (DDD, DDE)
- les organoétains (MBT, DBT, TBT)
- des organochlorés qui n'avaient pas été recherchés en 2012 (PCB 138, PCB 153, endrine, dicofol)

Comme lors de la première campagne, les concentrations sont faibles (1,2 à 15,8 $\mu\text{g kg}^{-1}$) et proches des LQ.

D'autre part, des organoétains sont également mesurés en concentrations faibles (2,1 – 10,7 $\mu\text{g kg}^{-1}$) aux stations Gros Ilet (TBT), Anse Ane (MBT, DBT et TBT) et Pagerie (TBT). Enfin, du nonylphénol est mesuré à la station Baie de Génipa, en concentration proche de la LQ (114 $\mu\text{g kg}^{-1}$).

Tous les autres composés présentent des concentrations inférieures aux LQ, pour l'ensemble des stations.

Stations REPOM

Dans le cadre du REPOM, en **2012**, la station **EST** présente des concentrations quantifiables en :

- PCB (congénères 118, 138, 153 et 180)
- Organoétains (MBT)
- Phénols (para-tert-octylphénol)

Les concentrations sont faibles et proches des limites de quantification (10 – 79 $\mu\text{g kg}^{-1}$).

Les stations OUEST et GRIVES présentent également des concentrations faibles en organoétains, comprises entre 9 et 81 $\mu\text{g kg}^{-1}$. Enfin, des phénols sont mesurés à COHE (para-tert-octylphénol, 20 $\mu\text{g kg}^{-1}$).

En 2013, les organoétains recherchés sont mesurés à toutes les stations, en concentrations élevées, avec des valeurs maximales à la station OUEST de l'ordre du mg kg^{-1} ou du g kg^{-1} . Ces données devraient faire l'objet d'une vérification avant d'être intégrées. Des concentrations faibles en PCB (10 à 30 $\mu\text{g kg}^{-1}$) sont également mesurées aux stations EST (congénères 101, 138, 153 et 180) et OUEST (congénère 153), ainsi qu'un isomère du lindane (alpha-HCH) à la station EST (170 $\mu\text{g kg}^{-1}$).

3.2 Suivi de la contamination des organismes vivants

En baie de Fort-de-France, la contamination chimique du biote est évaluée dans le cadre du ROCCH. Les données disponibles acquises au cours de la période juin 2012 – mars 2014 ont été recueillies et sont présentées ci-après.

3.2.1 ROCCH

Les contaminants mesurés dans les huîtres plates de palétuviers (*Isognomon alatus*) de la baie de Fort-de-France sont des métaux, des hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP) et des pesticides organochlorés.

Métaux

L'argent (Ag), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le nickel (Ni), le plomb (Pb) et le zinc (Zn) ont été recherchés dans les huîtres des stations Baie de Génipa et Rivière Lézarde (Tableau 14).

Les concentrations en Ag et Hg sont faibles et varient de 0,01 à 0,08 mg kg^{-1} . Le Pb, Cd, Ni et Cr présentent des concentrations comprises entre 0,12 et 1,26 mg kg^{-1} . Les concentrations maximales sont mesurées pour le **Cu** (7,33 à 8,44 mg kg^{-1}) et le **Zn** (3106,24 à 8594,36 mg kg^{-1}). Elles sont du même ordre de grandeur aux deux stations, excepté pour le Pb, le Cr et le Zn où elles sont maximales à la station Rivière Lézarde.

Pour les métaux, seul le mercure dispose d'une norme de qualité environnementale (NQE) applicable au biote. Cette dernière se rapporte aux poissons, elle est de 20 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de poids humide. En tenant compte du taux de matière sèche des échantillons, les concentrations en mercure restent inférieures à cette NQE (11 à 14 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de poids humide).

A titre d'information, la Commission Européenne a également fixé des teneurs maximales tolérables dans les mollusques bivalves pour certains contaminants. Ces teneurs ont été définies pour le Cd (1,0 mg kg^{-1} de poids humide), le Hg (0,5 mg kg^{-1} de poids humide) et le Pb (1,5 mg kg^{-1} de poids humide). Elles sont donc très supérieures aux concentrations mesurées dans les huîtres des stations Baie de Génipa et Rivière Lézarde.

Tableau 14 : Concentrations en éléments traces métalliques (mg kg^{-1} de poids sec) mesurées dans le cadre du ROCCH en baie de Fort-de-France. Campagnes de novembre 2012 et février 2013

| Stations | Campagnes | Ag | Hg | Pb | Cd | Ni | Cr | Cu | Zn |
|-----------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| Baie de Génipa | Novembre 2012 | 0,01 | 0,08 | 0,12 | 0,35 | 0,61 | | 8,44 | 4647,23 |
| | Février 2013 | 0,01 | 0,06 | 0,12 | 0,28 | 0,44 | 0,77 | 7,33 | 3106,24 |
| Rivière Lézarde | Novembre 2012 | 0,02 | 0,06 | 0,36 | 0,39 | 0,57 | | 8,43 | 8494,36 |
| | Février 2013 | 0,02 | 0,06 | 0,30 | 0,27 | 0,68 | 1,26 | 7,49 | 5124,98 |

Concentrations en mg kg^{-1} de poids sec

Hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP)

16 HAP ont été analysés dans les huîtres des stations Baie de Génipa et Rivière Lézarde (Tableau 15). La plupart présentent des concentrations proches des limites de quantification et ne montre aucune variation entre les stations ou les saisons d'échantillonnage.

Seules les concentrations en **fluoranthène** et **naphtalène** sont un peu plus importantes (4,1 à 9,6 $\mu\text{g kg}^{-1}$ et 8,5 à 12,4 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de poids sec, respectivement).

On considère généralement que la distribution des concentrations en fluoranthène est représentative de la contamination chronique en HAP. Ce composé est très persistant dans l'environnement. Il appartient aux HAP prédominants dans les émissions des incinérateurs d'ordures ménagères et est présent dans de très nombreux rejets industriels. Une NQE a été définie pour ce composé dans le biote (30 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de poids humide). Cette valeur est donc très supérieure aux concentrations rencontrées aux stations Baie de Génipa et Rivière Lézarde (équivalentes à 0,9 à 1,7 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de poids humide).

Tableau 15 : Concentrations en HAP ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de poids sec) mesurées dans le cadre du ROCCH en baie de Fort-de-France. Campagnes de novembre 2012 et février 2013

| | Baie de Génipa | | Rivière Lézarde | |
|-------------------------|----------------|-----------|-----------------|-----------|
| | Nov. 2012 | Fév. 2013 | Nov. 2012 | Fév. 2013 |
| Acénaphthylène | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Acénaphthène | 1 | 1 | 1 | 1,1 |
| Anthracène | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Benzo(a) anthracène | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Benzo(a) pyrène | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Benzo(b) fluoranthène | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Benzo(g,h,i)pérylène | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Benzo(k) fluoranthène | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Chrysène | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Dibenzo(a,h)anthracène | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Fluoranthène | 9,6 | 4,5 | 9,3 | 4,1 |
| Fluorène | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Indeno(1,2,3-cd) pyrène | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Naphtalène | 10,7 | 9,1 | 8,5 | 12,4 |
| Phénanthrène | 2,8 | 2,2 | 1,9 | 2,3 |
| Pyrène | 3,4 | 2 | 4,4 | 2 |

Concentrations en $\mu\text{g kg}^{-1}$ de poids sec

Contaminants organo-chlorés

- Les 7 PCB indicateurs (congénères 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180) présentent des concentrations supérieures aux limites de quantification (Tableau 16). La somme de leurs concentrations est comprise entre 2,1 et 14,1 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de poids sec, les valeurs maximales étant mesurées à la station Rivière Lézarde. Parmi les PCB analysés, le congénère CB 153 est considéré comme étant le plus résistant dans l'environnement et est majoritairement rencontré dans la matière vivante. Il représente 31,0 à 49,5 % des PCB totaux (somme des 7 congénères). Il n'existe pas de $\text{NQE}_{\text{biote}}$ pour ces composés.
- Les concentrations en lindane et alpha-HCH (deux isomères de l'hexachlorocyclohexane) sont supérieures à la limite de quantification, stables entre les stations et saisons (1 $\mu\text{g kg}^{-1}$). Il n'existe pas de $\text{NQE}_{\text{biote}}$ pour ces composés.
- Le chlordécone et ses métabolites ont été analysés. Les concentrations varient de 4 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de poids sec (pour le chlordécone 5b hydro) à 59 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de poids sec (pour le chlordécone, station Rivière Lézarde, novembre 2012). La $\text{NQE}_{\text{biote}}$ établie pour ce composé est de 20 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de poids humide. En considérant le pourcentage de matière sèche dans les échantillons (17 à 21 %), les concentrations en chlordécone varient entre 2,1 et 10,0 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de poids humide et sont toutes inférieures à la NQE.
- Le dichloro-diphényl-trichloroéthane (DDT) et ses produits de dégradation (DDD, DDE) présentent des concentrations faibles et comprises entre 0,25 et 1,6 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de poids sec. Il n'existe pas de $\text{NQE}_{\text{biote}}$ pour ces composés.

Tableau 16 : Concentrations en contaminants organo-chlorés ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de poids sec) mesurées dans le cadre du ROCCH en baie de Fort-de-France. Campagnes de novembre 2012 et février 2013

| | Baie de Génipa | | Rivière Lézarde | |
|-----------------------------|----------------|-----------|-----------------|-----------|
| | Nov. 2012 | Fév. 2013 | Nov. 2012 | Fév. 2013 |
| Σ PCB (7 congénères) | 3,23 | 2,12 | 11,09 | 14,13 |
| PCB 153 | 1 | 0,78 | 5,1 | 7 |
| Lindane (γ - HCH) | 1 | 1 | 1 | 1 |
| α - HCH | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Chlordécone | 21 | 11 | 59 | 10 |
| Chlordécol | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Chlordécone 5b hydro | 4 | 4 | 4 | 4 |
| DDD pp' | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| DDE pp' | 1,6 | 1,2 | 0,67 | 1 |
| DDT pp' | 1 | 1 | 1 | 1 |

Concentrations en $\mu\text{g kg}^{-1}$ de poids sec

3.2.2 Plan chlordécone

Dans le cadre du plan chlordécone, des analyses de chlordécone ont été réalisées sur des échantillons de crabes, langoustes et poissons. Pendant la période d'étude qui nous intéresse (juin 2012 – mars 2014), 20 échantillons ont été constitués à partir de 131 individus, prélevés en février, avril et mai 2013 (Figure 35).

Tous les échantillons présentent des concentrations en chlordécone supérieures à la limite de quantification et 60 % d'entre eux sont considérés comme contaminés (concentration supérieure à $20 \mu\text{g kg}^{-1}$). C'est à la sortie du canal de rivière Salée que les plus fortes contaminations ont été mesurées (supérieures à $100 \mu\text{g kg}^{-1}$), sur trois échantillons de crabe nageur et un échantillon de Tilapia (poisson blanc).

Produits de la mer : suivis chlordécone en baie de Fort-de-France

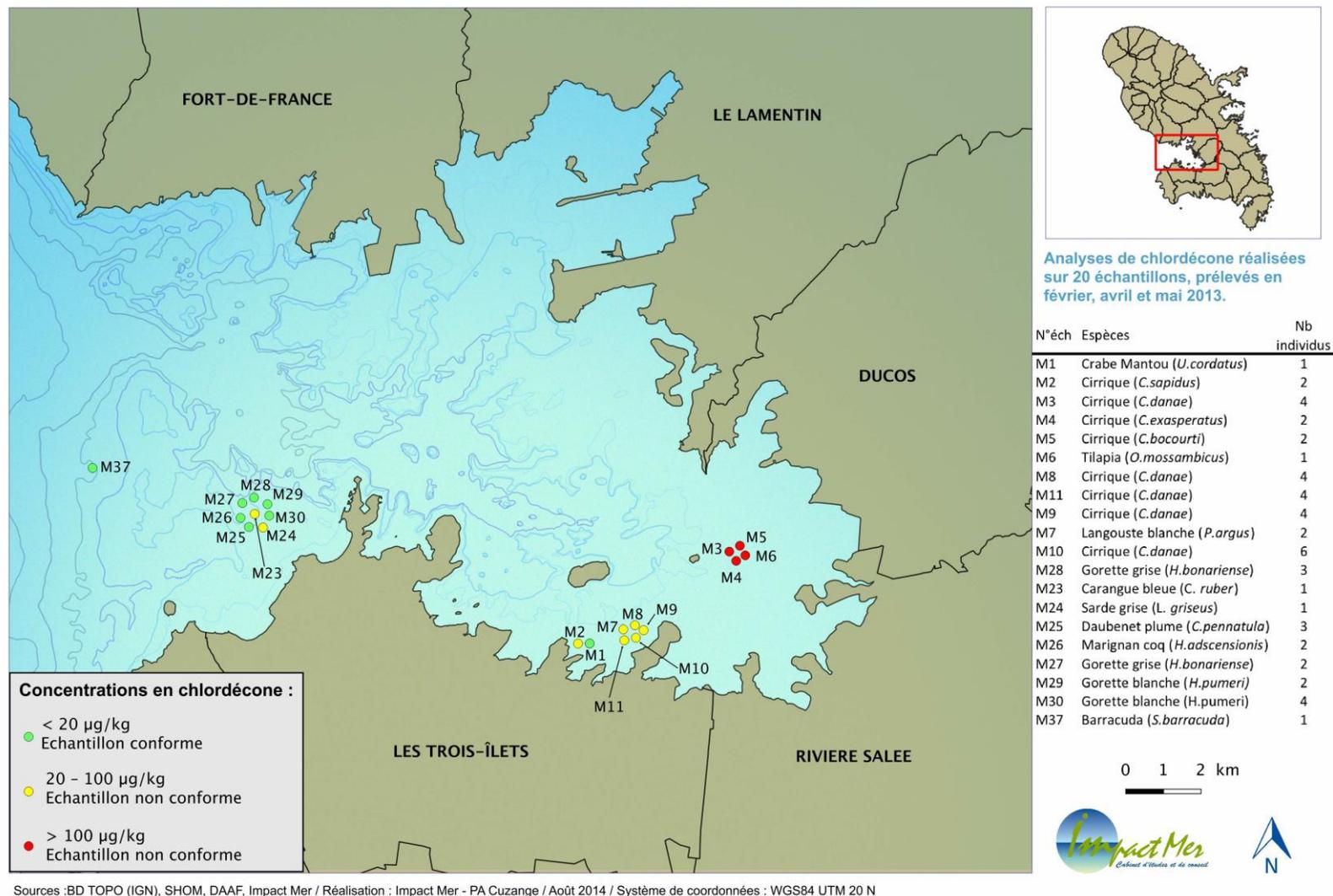


Figure 35 : Suivis chlordécone sur les produits de la mer en baie de Fort-de-France. Représentation cartographique des résultats acquis en février, avril et mai 2013.

D. Difficultés rencontrées

1 Suivis des paramètres biologiques (benthos)

La principale difficulté rencontrée lors de ces suivis concerne le positionnement des stations de suivis.

En effet, les stations initialement positionnées (point GPS) à partir :

- du travail effectué les années précédentes sur la définition du réseau de suivis (Impact Mer & Asconit, 2010))
- des recommandations des comités de pilotage (2009/2010)
- de la cartographie des biocénoses (Legrand, 2010)
- de l'analyse des cartes SHOM (bathymétrie),

ne se sont pas avérées pertinentes. Dans la plupart des cas, une station a pu être trouvée à proximité du point initial mais a nécessité une exploration approfondie du secteur.

Dans d'autres cas, une prospection a dû être menée dans d'autres secteurs.

Cette difficulté est liée à plusieurs facteurs :

- imprécisions des cartes pour un travail de terrain
- présence de substrat mixte qui ne permet pas d'avoir une station « homogène »
- mise en sécurité des plongeurs (navigation et limite bathymétrique/temps de plongée)
- visibilité réduite
- invasion des zones sableuses et mixtes (prospectées pour identifier des zones « macroalgues » et herbier à *Thalassia/Syringodium*) par l'espèce invasive *Halophila stipulacea* → protocole DCE non adapté pour l'intégration de cette espèce à l'échantillonnage

Notons, que la différence de milieu (bathymétrie, substrat, etc..) entre les stations (communautés coralliennes en particulier) ne pourra pas permettre une comparaison inter-site pertinente. En revanche, au cours de la durée du Contrat de Baie l'évolution temporelle des sites pourra être établie. C'est ce dernier point qui importe pour juger des actions du Contrat.

Remarque : Ces problèmes de comparaison inter-site sont également rencontrés pour la DCE

Enfin, le déplacement de certaines de ces stations dans d'autres secteurs (en particulier Baie des Flamands vers Pointe des Nègres) nécessitera peut-être de reconsidérer s'il est pertinent de rajouter une station hydrologique dans ce site.

2 Suivis des paramètres hydrologiques

La principale difficulté rencontrée au cours des suivis réalisés la première année concerne les analyses des paramètres physico-chimiques et de la chlorophylle a par le Laboratoire Départemental d'Analyse de la Martinique (LDA 972).

Du fait d'une panne de leur spectrophotomètre, le LDA nous a signalé en cours de suivi ne plus être en mesure de réaliser les analyses de chlorophylle a et de nutriments sur les échantillons d'eau de mer, entre avril et juillet 2013.

2.1 Echantillons concernés

Certains échantillons déposés au LDA depuis décembre 2012 n'ont toujours pas été analysés.

Le Tableau 17 récapitule les échantillons concernés par cette panne.

Tableau 17 : liste des échantillons concernés par la panne LDA (en rouge : les échantillons probablement dégradés)

| Réseaux | Paramètres concernés | Nombre d'échantillons (/ nb total) | Date d'échantillonnage | N° LDA | Conservation |
|------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------|-----------------|----------------|
| Contrat de Baie | Nitrates | 11 (/11) | Décembre 2012 | 3634, 3635 | LDA -20 |
| Contrat de Baie | Nitrates | 11 (/11) | Mars 2013 | 640, 641 | LDA -20 |
| Contrat de Baie | Phosphates | 11 (/11) | Mars 2013 | 640, 641 | LDA -20 |
| Contrat de Baie | Chlorophylle a | 4 (/11) | Mars 2013 | 640, 641 | LDA -20 |
| Contrat de Baie | Nitrates | 11 (/11) | Juin 2013 | 1543, 1544 | Impact Mer -25 |
| Contrat de Baie | Nitrites | 11 (/11) | Juin 2013 | 1543, 1544 | Impact Mer -25 |
| Contrat de Baie | Ammonium | 11 (/11) | Juin 2013 | 1543, 1544 | Impact Mer -25 |
| Contrat de Baie | Phosphates | 11 (/11) | Juin 2013 | 1543, 1544 | Impact Mer -25 |
| Contrat de Baie | Chlorophylle a | 11 (/11) | Juin 2013 | 1543, 1544 | Impact Mer -80 |

2.2 Solutions envisagées

2.2.1 Envoi des échantillons pour analyse dans un autre laboratoire (changement de prestataire)

LDA 26

Pour les paramètres analysés en milieu marin, les méthodes d'analyse et limites de quantification (LQ) du LDA 26 sont trop différentes de celles du LDA 972 (exemple pour la chlorophylle a : la LQ est de 0,1 µg/l au LDA 972 et de 1 µg/l au LDA 26. Un envoi au LDA 26 ne pouvait être envisagé.

Institut Pasteur de Guadeloupe (IPG)

L'IPG réalise les analyses DCE en Guadeloupe. Les méthodes d'analyses et les LQ sont plus proches (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les principales différences concernent les LQ des nitrites et de la chl_a.

A noter : des réserves ont été émises par l'Ifremer quant à la validité des mesures de Chl_a à l'IPG (Gailhard-Rocher *et al.*, 2012 : tableaux p 24 et 26). Les problèmes analytiques sont en cours de résolution avec l'appui de l'Ifremer. Pareto signale toujours des valeurs élevées en Chl_a au regard des valeurs attendues en milieu tropical oligotrophe.

Institut Méditerranéen d'Océanographie (MIO)

Le MIO a réalisé des analyses de Chl_a dans le cadre de l'étude DCE « phytoplancton » de 2011 (Créocéan, 2011). Cependant, l'Ifremer a signalé des différences entre les suivis réalisés à la même période par Impact Mer (analyses au LDA 972) et Créocéan (analyses au MIO), avec des valeurs en chl_a plus faibles pour l'étude de Créocéan (Gailhard-Rocher *et al.*, 2012, tableau p 25). D'autre part, il a été estimé que le risque de dégradation des échantillons durant le transport était trop important

➡ **Dans tous les cas, le transport des échantillons est peu recommandé, dans la mesure où aucun répliquat n'a été prévu.**

2.2.2 Conservation des échantillons pour analyse ultérieure au LDA 972

L'avantage de cette solution était de limiter les biais liés aux analyses en assurant la continuité des mesures (mêmes méthodologies, LQ, opérateurs) pour les suivis en cours, de réduire les risques de perte des échantillons liés au transport (aucun duplicat) ou de dégradation lors du transport.

Cependant, une trop longue conservation des échantillons peut à son tour compromettre la validité de certaines mesures et le report des analyses impliquerait inévitablement un retard pour le rendu des résultats.

Conservation des échantillons au LDA

La conservation des échantillons au LDA est la suivante :

- Nutriments : congélation des flacons à -20°C
- Chlorophylle a : filtration des échantillons dans les 6h puis congélation des filtres à -20°C pour des analyses à réaliser dans les 30 jours.

Délais et protocoles de conservation des échantillons validés par l'Ifremer

- Nutriments : congélation à -25°C, conservation plusieurs mois (jusqu'à un an)
- Chlorophylle a : filtration dans les 6h, congélation à -20°C : conservation un mois maximum
- Chlorophylle a : filtration dans les 6h, cryogénéisation des filtres dans l'azote liquide (-196°C) puis conservation à -80°C : conservation possible jusqu'à un an.

2.3 Solution proposée (validée par l'Ifremer)

A la suite du Comité de Pilotage du 24 mai 2013, il a été décidé de faire valider un nouveau protocole de conservation par l'Ifremer, pour analyse ultérieure des échantillons par le LDA.

En accord avec la CACEM, il a été convenu qu'Impact Mer assurerait la conservation des échantillons à prélever lors de la campagne du mois de juin 2013, en attendant la réparation du spectrophotomètre du LDA.

Pour les échantillons des campagnes de décembre 2012 et mars 2013, déposés au LDA :

- Ifremer a recommandé de laisser les flacons destinés aux analyses de nutriments au LDA.
- les filtres destinés aux analyses de chlorophylle a qui étaient conservés depuis plus d'un mois à -20°C étant dégradés (4 échantillons), il a été décidé de ne pas les analyser.

Pour les échantillons acquis lors de la campagne de juin 2013 :

Impact Mer a conservé les échantillons destinés aux analyses de nutriments dans un congélateur à -25°C.

Les échantillons destinés aux analyses de chla ont été filtrés comme habituellement par le LDA, dans les 6 heures suivant les échantillonnages. Immédiatement après, les filtres recueillis par Impact Mer ont été plongés dans l'azote liquide, puis transportés à l'UAG pour être conservés dans un congélateur à -80°C.

3 Retour d'expérience sur les échantillonneurs passifs

Cette technique a été testée pour la première fois en Martinique dans le cadre du suivi de la contamination chimique des eaux littorales (DEAL, ODE, CACEM) en mai-juin 2012. La première campagne a donc bénéficié de la mutualisation des moyens avec la DEAL et l'ODE. Le programme a été poursuivi sur les 6 stations Contrat de Baie au cours de trois campagnes supplémentaires. Les données ont fait l'objet d'un rapport annexe par l'Ifremer. Leur intégration aux autres suivis pour l'interprétation globale n'est pas prévue dans le cadre de ce marché.

Ce premier test confirme l'intérêt de l'utilisation des échantillonneurs passifs pour limiter les contraintes logistiques, techniques et financières liées au suivi des contaminants chimiques par des techniques classiques. L'une des principales difficultés liées à la mise en œuvre de la technique est d'assurer un taux de récupération optimal (Gonzalez et al., 2013). Dans le cas du suivi des stations Contrat de Baie, seuls 3 échantillonneurs ont été perdus à la même station.

3.1 Mouillages et récupération des échantillonneurs

Le montage des lignes de mouillage s'est révélé adéquat aux sites choisis, où l'hydrodynamisme est généralement faible.

Pendant les phases d'immersion des DGT et des POCIS, aucun phénomène météorologique majeur (pas de fort coup de vent, ni de forte houle) n'a été enregistré et la plupart des échantillonneurs ont été récupérés sans difficulté. Les 3 échantillonneurs perdus à la station Madame_EP ont probablement été relevés accidentellement ou intentionnellement. En effet, de nombreuses embarcations, entrant ou sortant du canal, ont pu être observées pendant les échantillonnages à cette station. Dans un premier temps, les mouillages ont été

décclés par rapport à la route suivie par les bateaux mais il a été décidé de les laisser visibles afin d'éviter qu'ils ne soient accidentellement coupés. A l'issue de la seconde campagne, pour laquelle aucun des 2 mouillages n'a pu être retrouvé, la station a été déplacée. Finalement, il a été choisi d'immerger les bouées de repérage lors de la quatrième campagne et de placer les mouillages sous le quai en construction afin qu'ils soient totalement inaccessibles. Cette solution a permis de retrouver les 2 mouillages.

Si un suivi régulier devait être mis en place, il serait préférable de pérenniser les sites de mouillage par des corps-morts fixes avec mise en place et relève des échantillonneurs en plongée.

3.2 Matériel nécessaire aux manipulations en laboratoire

Etant donné les difficultés pour se procurer de l'eau ultra pure, de l'eau de Vittel© a été utilisée pour les manipulations en laboratoire, sur les recommandations de l'Ifremer.

La réalisation des extractions SBSE nécessite l'utilisation de méthanol Purex (moins de 0,0005 % d'impuretés). Devant les difficultés rencontrées pour se procurer ce produit, et après consultation du Cèdre (responsable des analyses SBSE), un méthanol technique de qualité inférieur a été testé dans le cadre de la campagne prospective pour les eaux littorales. Des blancs ont été extraits et leur analyse a permis de détecter du naphthalène et du phénanthrène, mais à de faibles teneurs (inférieures à la limite de quantification). L'utilisation de ce méthanol a donc été validée par défaut par le Cèdre pour réaliser les extractions SBSE sur l'ensemble des échantillons « eaux littorales ». Il a été décidé d'appliquer cette solution également aux échantillons « Contrat de Baie ».

A noter : l'importation de produits chimiques dangereux est coûteuse et engendre des procédures administratives et douanières lourdes.

4 Réseaux existants

Pour la période qui nous intéresse (juin 2012 – mars 2013), une partie des données acquises dans le cadre des réseaux existants n'est pas encore disponible (données DCE, ROCCH, plan chlordécone) et n'a pas pu être intégrée au présent rapport.

E. Discussion et recommandations

1 Les communautés de phanérogames marines des stations Contrat de Baie

Huit herbiers de phanérogames marines ont été échantillonnés dans le cadre du Contrat de Baie.

1.1 Un phénomène d'hypersédimentation marqué

Certains herbiers de la baie sont hypersédimentés. C'est le cas notamment de :

- Z'abricot
- Aéroport
- Birot
- Baie de Génipa
- et Anse Ane
- Pagerie présente quelques traces de sédimentation, mais ce phénomène est moins marqué qu'aux autres stations.

Ces herbiers sont ceux localisés en bordure de côte ou à proximité des exutoires de rivières. Les herbiers de Large Aéroport (plus éloigné de la rivière Lézarde), et Gros îlet (plus isolé de la côte et des rivières) ne sont quant à eux pas hypersédimentés.

Tableau 18 : Note sur la sensibilité des herbiers face aux stress turbidité et hypersédimentation

| Note sur la sensibilité des herbiers face aux stress turbidité et hypersédimentation |
|--|
| <p>Le risque et la sévérité des impacts sont directement liés à l'intensité, la durée et la fréquence des expositions à la turbidité et à la sédimentation. Les réponses des herbiers face à ces facteurs de stress sont multiples et peuvent être létales ou sublétales (Erftemeijer, 2006):</p> <ul style="list-style-type: none"> • diminution de la biomasse • diminution des contenus des rhizomes en carbohydate • diminution des contenus tissulaires en nutriments, • diminution des contenus des feuilles en chlorophylle a • diminution de plusieurs paramètres photosynthétiques • etc. <p>Certaines espèces de phanérogames marines peuvent survivre dans des conditions où la lumière est sous leur seuil de tolérance pendant des semaines, voire des mois (Erftemeijer et Robins, 2006). D'une manière générale, il semble que les espèces les plus petites avec des contenus en carbohydrates faibles survivent moins longtemps. Ainsi, <i>Halophila stipulacea</i>, semble être plus sensible à l'irradiance que <i>Syringodium filiforme</i> et <i>Thalassia testudinum</i> dont les plants sont plus hauts (Erftemeijer et Robins, 2006).</p> <p>En ce qui concerne la sédimentation, les plantes réagissent différemment en fonction de la profondeur d'ensevelissement et de leur cycle de vie. Certaines espèces peuvent adapter leur physiologie pour survivre à des épisodes d'hypersédimentation. Aussi les herbiers peuvent tolérer un certain niveau/seuil de sédimentation. Les taux de sédimentation limite sont compris entre 1,5 et 13 cm.ans⁻¹ selon les espèces et les localisations.</p> <p>D'autres paramètres conditionnent la survie des herbiers en cas de recouvrement. Parmi ceux-ci la durée d'ensevelissement et la qualité du sédiment (granulométrie, pollution...) sont des facteurs importants.</p> |

1.2 Une présence de macroalgues sur 3 stations

Certaines espèces de macroalgues peuvent être un signe de dégradation du milieu. Aussi les algues vertes filamenteuses sont connues pour être indicatrices d'eutrophisation. Dans le cas du suivi des herbiers, plusieurs types de macroalgues ont été relevés en fonction des stations échantillonnées :

- Les stations Z'abricot, Aéroport, Large Aéroport, Gros îlet, Pagerie ne présentent que très peu ou pas de macroalgues et ces dernières sont caractéristiques des herbiers (*Avrainvillea*, *Halimeda*)
- Les stations de Birot, Baie de Génipa et Anse Ane présentent quant à elles de nombreuses macroalgues, dont des Caulerpes, des Dictyota, dont la présence peut parfois être indicatrice de dégradation.

1.3 Des densité et hauteurs de plants variables en fonction des pressions ?

Seul l'herbier de l'Anse à l'Ane présentait des *Syringodium filiforme*. Tous les autres étaient purs à *T. testudinum*.

La hauteur des canopées ainsi que la densité des plants étaient très variables d'une station à l'autre.

Ainsi, les hauteurs de plants les plus faibles sont observées aux stations de Gros îlet, Pagerie, Aéroport et Large aéroport. Ceci pourrait en partie être dû à la qualité des eaux. En effet, les herbiers ont besoin de lumière pour réaliser la photosynthèse. Aussi, les herbiers les plus soumis à la sédimentation et/ou se développant dans des eaux turbides pourraient être plus long afin de capter au maximum la lumière du soleil. Cette hypothèse est soutenue par le fait que ces stations (sauf aéroport) correspondent aux stations les moins soumises au stress sédimentation.

Les densités de plants les plus importantes sont également pour les trois sites les moins perturbés visuellement, c'est à dire Gros îlet, Pagerie et Large aéroport.

| Station | Hauteur des plants de <i>Thalassia</i> moyenne en cm | Densité moyenne en plants.m ⁻² |
|----------------|--|--|
| Z'abricot | 14,5 | 226,7 |
| Biot | 15,6 | 391,7 |
| Aéroport | 13 | 288,3 |
| Large aéroport | 13,4 | 656,7 |
| Baie de Génipa | 17 | 275 |
| Gros îlet | 11,7 | 498,3 |
| Pagerie | 12,2 | 651,7 |
| Anse à l'Ane | 16,9 | 295 (472,7 pour <i>Syringodium filiforme</i>) |

1.4 Une absence d'*Halophila stipulacea* sur les stations herbier

Pour les herbiers, l'apparition en Martinique de la nouvelle espèce de phanérogame marine envahissante *Halophila stipulacea* a changé le paysage sous-marin, notamment dans la baie de Fort de France (cf Figure 7). Cependant, aucune zone d'échantillonnage présélectionnée ne présentait d'*Halophila stipulacea*. Seul l'herbier « Baie de Génipa » présentait cette espèce en marge de la zone échantillonnée. Ce premier suivi pourrait servir d'état 0 afin d'étudier la potentielle colonisation des herbiers à *Thalassia* et *Syringodium* par l'espèce envahissante.

1.5 Très peu d'espèces associées

Seuls les herbiers de Pagerie et Gros îlet présentaient un nombre important de colonies coralliennes associées. Ces deux herbiers sont moins sédimentés que les autres. Les apports des BV pourraient être moins importants et les conditions plus favorables au développement des coraux (faible turbidité et sédimentation).

Les sites de Z'abricot, Aéroport, Large aéroport présentent quant à eux quelques colonies coralliennes éparées.

Concernant la faune benthique mobile (oursins, holoturies, étoiles de mer), quelques espèces ont été observées sur les diverses stations. Le site de Gros îlet présente le plus d'espèces associées.

Il est à noter que dans le cadre de nos expertises dans la Baie pour d'autres thématiques, nous avons noté la présence de l'espèce de méduse Cassiopée à de nombreuses reprises, formant parfois des « tapis » de méduse. Ce phénomène nous a également été rapporté dans la Baie des Anglais en 2013. Aucune explication n'est aujourd'hui connue pour expliquer ce phénomène.

2 Communautés coralliennes des stations du Contrat de Baie

2.1 Des pourcentages en recouvrement corallien variables

Les communautés coralliennes échantillonnées dans la baie de Fort-de-France présentent des pourcentages de recouvrement corallien très variables en fonction des stations échantillonnées (tableau ci-dessous).

Tableau 19 : pourcentage de recouvrement et indice coralliens aux stations étudiées

| Station échantillonnée | Pourcentage de corail | Indicateur corallien (d'après le Tableau 20) |
|------------------------|-----------------------|--|
| Banc Gamelle | 14 | Moyen |
| Caye Pointe du Bout | 11 | Moyen |
| Pointe des Nègres | 7 | Médiocre |
| Large Ramier | 2 | Mauvais |
| Pointe La Rose | 5 | Mauvais |
| Atterrissage Rouge | 29 | bon |

- La station présentant le pourcentage corallien le plus élevé (29%) se situe en sortie de baie (Atterrissage Rouge). Cependant, les coraux présents à la station étaient majoritairement des coraux digités de type *Madracis* qui sont très sensibles aux phénomènes cycloniques. Aussi, en cas de cyclone ou de forte houle cyclonique, il est recommandé de prévoir un suivi sur ce site afin d'évaluer les dégâts causés par ce phénomène naturel (qui devront être différenciés des dégâts causés par les activités humaines).
- Le pourcentage relevé à Atterrissage Rouge est élevé même à l'échelle de la Caraïbe. A titre d'exemple, les suivis menés dans les Caraïbes ont montré une diminution des pourcentages de recouvrement corallien avec des taux maximums inférieurs à 30 % dans de nombreux pays : 29 % au Panama, 28 % au Mexique, 26.1 % dans les îles Vierges, 26 % au Costa Rica, 24.5 % à Anguilla, 24 % au Honduras, moins de 20% au Guatemala, à Antigua, à St Eustache et à Trinidad and Tobago (Wilkinson 2008). Dans le cadre de la DCE Martinique, sur l'ensemble des stations échantillonnées 4 présentent des pourcentages de couvertures coralliennes > à 30% (Baie du Trésor : 42%, Loup Caravelle : 34%, Loup garou :33% et Corps de Garde 32%).
- Des indices de la qualité des milieux ont été développés dans la caraïbe. En Martinique, Impact Mer travaille actuellement avec l'ODE, la DEAL, l'ONEMA, le MNHN et des partenaires scientifiques pour le développement d'indices de qualité des milieux adaptés au contexte local. Si l'on se réfère à la publication de McField et Kramer en 2007, il apparaît que les **indicateurs coralliens** sont variables en fonction des stations : ils sont bon à Atterrissage Rouge, moyen à Caye Pointe du Bout et Banc Gamelle, médiocre à Pointe des Nègres et mauvais à Large Ramier et Pointe de la Rose.

→ Pour l'indicateur corallien, ces résultats ne permettent pas de mettre en évidence de gradient de la qualité du milieu. Pour exemple, les stations Large Ramier et Atterrissage Rouge, situées en sortie de baie, présentent respectivement des états coralliens mauvais et bon.

Tableau 20 : Indice de qualité des milieux en fonction des pourcentages de recouvrement coralliens et autres paramètres (McField and Kramer 2007)

| INDEX/ INDICATOR | VERY GOOD (5) | GOOD (4) | FAIR(3) | POOR (2) | CRITICAL (1) |
|--|----------------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| Coral Index | | | | | |
| Coral cover (%) | ≥40 | 20.0–39.9 | 10.0–19.9 | 5.0–9.9 | <5 |
| Coral disease prevalence(%) | <1 | 1.1–1.9 | 2.0–3.9 | 4.0–6.0 | >6 |
| Coral recruitment (m ⁻²) | ≥10 | 5.0–9.9 | 3.0–4.9 | 2–2.9 | <2 |
| Reef Biota Index | | | | | |
| Fleshy Macroalgal Index | <10 | 10–19 | 20–39 | 40–59 | ≥60 |
| Herbivorous fish abundance (g·100m ⁻²) | ≥4800 | 3600–4799 | 2400–3599 | 1200–2399 | <1200 |
| Commercial fish abundance (g·100m ⁻²) | ≥2800 | 2100–2799 | 1400–2099 | 700–1399 | <700 |
| <i>Diadema</i> abundance (m ⁻²) | >2.5 (and <~7) | 1.1–2.5 | 0.5–1.0 | 0.25–0.49 | <0.25 |

Healthy Reefs for Healthy People

2.2 Un phénomène d'hypersédimentation marqué

La plupart des stations échantillonnées présentaient une sédimentation très importante. C'est le cas notamment de :

- Pointe La Rose
- Pointe des Nègres
- Banc Gamelle

Les stations plus au large ou au centre de la baie semblent moins touchées par ce phénomène. Cet enjeu « hypersédimentation et envasement de la baie » est d'ailleurs un de 5 enjeux du Contrat de Baie (**Enjeu A**).

Tableau 21 : Note sur la sensibilité des coraux face aux stress turbidité et hypersédimentation

| <i>Note sur la sensibilité des coraux aux stress turbidité et hypersédimentation</i> |
|--|
| <p>Le risque et la sévérité des impacts sont directement liés à l'intensité, la durée et la fréquence des expositions à la turbidité et à la sédimentation (McArthur <i>et al.</i>, 2002). Les réponses des coraux face à ces facteurs de stress sont multiples et peuvent être létales ou sublétales (Erftemeijer <i>et al.</i>, 2012):</p> <ul style="list-style-type: none"> • diminution de la croissance • taux de calcification plus faibles • productivité réduite • blanchissement • altération de la nutrition • production accrue de mucus (dépense énergétique) • augmentation de la susceptibilité aux maladies • dommages physiques aux tissus coralliens ainsi qu'à la structure récifale (casse, abrasion) • diminution de la régénération des tissus endommagés • affectation du recrutement. <p>La tolérance des coraux face à la sédimentation et à la turbidité dépend de multiples facteurs environnementaux (houle, marée...) et biologiques. En effet, chaque espèce corallienne a sa propre tolérance au stress. Les concentrations de MES critiques pour les coraux déterminées dans la Caraïbe sont parmi les plus faibles au monde : 10 mg.L⁻¹ (Erftemeijer <i>et al.</i>, 2012). Ces écarts importants de tolérance à la turbidité et aux taux de sédimentation ont été mis en relation avec un indice de sensibilité relatif (Erftemeijer <i>et al.</i>, 2012 :Tableau 22). Il en résulte que d'une manière générale, des concentrations en particules (mg.L⁻¹) ou de sédimentation (mg.cm⁻².j⁻¹) <10 n'ont pas d'effet sur la plupart des espèces coralliennes.</p> |

Tableau 22 : Sensibilité relative des coraux suivant leur type de réponse aux stress sédimentation et turbidité (d'après Erftemeijer *et al.*, 2012).

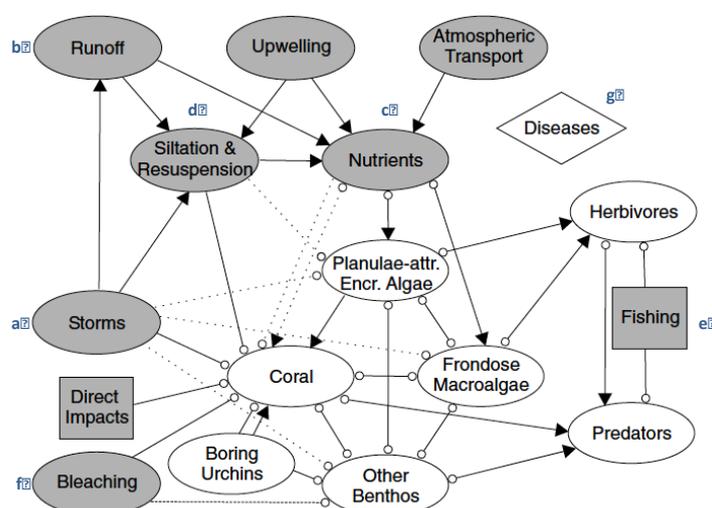
| Réponse | Taux de turbidité (mg.L ⁻¹) | | | | | Taux de sédimentation (mg cm ⁻² j ⁻¹) | | | | |
|--------------------------|---|----------------|---------------|-----------------|---------------------|--|----------------|---------------|---------------------|--|
| | <10 | 10-20 | 20-40 | 40-100 | >100 | <10 | 10-50 | 50-200 | >200 | |
| Pas d'effet | Plupart des espèces | Intermédiaire | Tolérantes | Très tolérantes | Très tolérantes | Plupart des espèces | intermédiaire | Tolérantes | Très tolérantes | |
| Effets sublétaux mineurs | sensibles | Sensibles | Intermédiaire | Tolérantes | Très tolérantes | Sensibles | intermédiaire | Tolérantes | Très tolérantes | |
| Effets sublétaux majeurs | Très sensibles | Sensibles | Intermédiaire | Tolérantes | Tolérantes | Sensibles | sensibles | Intermédiaire | Tolérantes | |
| Effets partiels | Très sensibles | Très sensibles | Sensibles | Intermédiaire | Tolérantes | Très sensibles | sensibles | Intermédiaire | Tolérantes | |
| Effet majeurs | Très sensibles | Très sensibles | Sensibles | Intermédiaire | Plupart des espèces | Très sensibles | Très sensibles | sensibles | Plupart des espèces | |

2.3 Des communautés algales développées à certaines stations

Le développement des macroalgues, au même titre que leur prolifération, est souvent limité sur les récifs coralliens où les pressions des herbivores sont fortes et les concentrations en nutriments faibles (Lapointe, 1997).

Cependant, les récifs coralliens ont subi de sévères changements ces 30 dernières années, entraînant quelques fois un phénomène de phase shift (McClanahan *et al.*, 1999 ; Knowlton, 2001). Ce phénomène correspond à un passage d'un état dominé par les coraux à un état dominé par les macroalgues. Wilkinson, (2008) estime que 35% des récifs pourraient être perdus dans les 40 prochaines années. Les récifs caribéens sont parmi les plus dégradés (McManus *et* Polsenberg, 2004).

Les facteurs explicatifs de la dégradation sont multiples et peuvent être d'origine naturelle ou anthropique (Aronson *et al.*, 2003 ; Hughes *et al.*, 2003 ; McManus *et* Polsenberg, 2004). L'importance relative de ces facteurs sur la dégradation des récifs coralliens reste cependant débattue (Lapointe, 1997 ; Hughes *et al.*, 1999). Les avis divergent selon les auteurs et les études et les conclusions sont que la pollution venue des bassins versants, la perte des herbivores et/ou le réchauffement climatique, sont les principaux responsables de la dégradation observée.

Figure 36 : Facteurs impliqués dans la dégradation récifale d'après McManus *et* Polsenberg, (2004).

Aussi, la présence de communautés algales peut être révélatrice d'une dégradation des stations coralliennes. Dans le cadre du Contrat de Baie, les communautés algales varient en fonction des stations échantillonnées.

Les pourcentages d'algues (toutes catégories confondues ie : turf, macroalgues calcaires, macroalgues non calcaires) varient entre **51 % à Banc Gamelle** et **17 % à Pointe La Rose**. Il est cependant, important de distinguer les communautés macroalgales dominantes, car elles peuvent être plus ou moins indicatrices de perturbations du milieu.

Ainsi, les communautés algales de stations situées en sortie de baie (Atterrissage Rouge et Large Ramier) sont dominées par les NIA (Nutrient Indicating Algae) alors que toutes les autres stations sont dominées par le turf algal (gazon algal composé de diverses espèces inférieures à 2 cm).

De nombreuses publications ont documenté l'effet des macroalgues sur le corail et leur relation avec la dégradation des habitats marins tropicaux, mais la bibliographie sur le turf est très limitée. Cependant, le turf est devenu ces dernières années un des groupe fonctionnel les plus importants sur les communautés récifales mondiales (Vermeij et al., 2010). Par rapport aux macroalgues, le turf pousse plus vite (littler et littler 2006), occupe de nouveaux espaces plus vite (Airoldi, 1998; Diaz-Pulido et McCook, 2002) et est moins sensible aux stress physiques dus à l'agitation de l'eau (Airoldi, 1998; Cheroske et al., 2000) et à la pression des herbivores (Steneck et Dethier, 1988; Hay, 1981).

Des études ont montré que le turf était capable de recouvrir les coraux du genre *Montastrea annularis* (Vermeij et al., 2010). Vermeij et al, (2010) ont en outre montré que, quand bien même le turf ne recouvrait pas toujours les colonies coralliennes, un contact proche (< 1 cm) entre les deux résultait dans une diminution des efficacités photochimiques des coraux. Une autre étude a mis en évidence des effets négatifs du turf sur l'espèce *Montastrea faveolata* (Quan-Young et Espinoza-Avalos , 2006).

Il est important de prendre ces conclusions en considération dans le cadre du Contrat de Baie dans la mesure où la station de Banc Gamelle (présentant environ 45% de turf) est constituée majoritairement de fonds vaseux sur lesquels se développent des colonies imposantes de *M. annularis* (aujourd'hui renommé *Orbicella annularis*). Ces colonies sont aujourd'hui très dégradées pour certaines d'entre elles, et présentent effectivement des proportions de turf très importantes à leur surface (les polypes coralliens autrefois présent étant morts).

La progression du turf est assez lente et il faut en général de longues séries temporelles de résultats pour dessiner des tendances (Vermeij et al., 2010).

De plus, il est à noter que les avantages compétitifs de ce groupe sur les coraux constructeurs sont accrus en cas de phénomènes d'eutrophisation (Vermeij et al., 2010). Aussi, il sera nécessaire dans le futur de caractériser les évolutions de ce groupe sur les stations concernées (notamment Banc Gamelle) afin d'entrevoir les risques encourus par les coraux encore vivants.

Les stations Contrat de Baie ne présentent pas, comme certaines stations DCE de la côte atlantique de peuplements uniquement macroalgaux. Cependant, certaines d'entre elles, notamment la station Large Ramier, semblent subir un phénomène de phase shift. Il paraît nécessaire de la suivre dans le futur afin d'observer l'évolution de cette tendance.

3 Hydrologie de la baie de Fort-de-France

Les paramètres hydrologiques suivis dans la baie de Fort-de-France sont des paramètres :

- descripteurs de la masse d'eau (température, salinité, pH),
- indicateurs du degré d'eutrophisation (nutriments, oxygène dissous, chlorophylle a),
- ou indicateurs des apports particuliers (turbidité).

Ensemble, ils permettent de décrire l'état général du milieu. Dans le cadre de la DCE, les paramètres physico-chimiques sont considérés comme des paramètres de soutien et d'interprétation des paramètres biologiques. Ils sont également indispensables pour l'interprétation des résultats de mesures de contaminants chimiques, comme traceurs des masses d'eau par exemple (Pellouin-Grouhel et al., 2006).

Les nutriments sont naturellement présents dans le milieu marin, et indispensables au développement des communautés algales. Ils peuvent provenir du lessivage des sols, de la dégradation de la matière organique mais également d'apports anthropiques : rejets urbains, industriels, domestiques, agricoles. Bien qu'ils ne soient pas directement toxiques pour le milieu marin, l'apport de nutriments en excès peut induire des nuisances indirectes et conduire à des phénomènes d'eutrophisation, voire d'anoxie (Daniel & Soudant, 2010). Afin d'évaluer le niveau d'eutrophisation d'un milieu à un temps donné, ces paramètres doivent être accompagnés d'autres indicateurs, témoins de ces perturbations :

- la chlorophylle *a*, indicatrice de la biomasse phytoplanctonique. Les organismes autotrophes utilisent les nutriments présents dans le milieu afin de produire de la biomasse. En cas d'apports en excès dans le milieu, des blooms phytoplanctoniques massifs peuvent se développer.
- l'oxygène dissous, paramètre vital pour les organismes vivants marins. Après un bloom phytoplanctonique ou macroalgal, la décomposition de la matière organique produite entraîne une consommation de l'oxygène disponible dans le milieu. Des épisodes d'eutrophisation sévères peuvent conduire à des situations d'anoxie entraînant la mortalité des organismes. Les zones à faible renouvellement des masses d'eau sont particulièrement sensibles à ces phénomènes.

Les apports particuliers (turbidité, MES) quant à eux peuvent limiter la pénétration de la lumière dans l'eau et nuire au développement des organismes benthiques et pélagiques (réduction de la photosynthèse, colmatage). Les particules sont généralement associées à des micro-organismes qui constituent une source de nourriture pour de nombreux autres organismes (filtreurs par exemple). Des apports particuliers importants peuvent donc contribuer indirectement à la consommation de l'oxygène du milieu. Enfin et surtout, de nombreux contaminants chimiques tendent à s'adsorber sur les particules. Les MES constituent donc un vecteur majeur dans le transport des polluants chimiques vers les milieux côtiers et estuariens, où les plus fortes valeurs sont mesurées.

Au cours de ces deux années de suivis, les résultats n'ont mis en évidence aucun phénomène d'eutrophisation dans la baie de Fort-de-France. Les variations observées peuvent être importantes selon les sites ou les périodes mais ne concernent généralement qu'un paramètre ou deux à la fois. Cependant, les stations du fond de la baie, en général peu profondes, semblent plus soumises aux apports particuliers et présentent des concentrations plus importantes en nutriments et en chlorophylle *a* que les stations situées en sortie de baie.

Ainsi, le fond de la baie présenterait une sensibilité plus importante aux phénomènes d'eutrophisation et de sédimentation que l'extérieur de la baie. Ceci s'explique par le plus faible renouvellement des eaux, et la faible profondeur des sites.

4 Contamination sédimentaire en baie de Fort-de-France

La contamination sédimentaire offre en général une bonne image de la qualité d'une masse d'eau (Pellouin & Romana, 2006), les premiers centimètres intégrant les apports récents. De nombreux contaminants ont été recherchés dans les échantillons de sédiment prélevés dans la baie de Fort-de-France. La majorité est absente ou présente à des concentrations inférieures aux limites de quantifications appliquées par le laboratoire d'analyses. Seuls les éléments traces métalliques (ETM), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les phtalates ont présentés des concentrations quantifiables sur l'ensemble des stations du réseau Contrat de Baie. Sur les stations du port (réseau REPOM), les métaux, HAP et organoétains dominent.

D'une manière générale, le niveau de contamination chimique des sédiments est plus important dans la zone du port (stations REPOM), puis à la station Baie des Flamands, tandis que les sédiments des stations Anse Ane et Bourg de Schoelcher sont les moins contaminés.

Toutefois, il est important de rappeler que la plupart des contaminants organiques et métalliques présentent une forte affinité pour les particules les plus fines et/ou la matière organique. Aussi, les résultats bruts relatifs à la contamination des sédiments ne sont pas directement interprétables lorsque des différences granulométriques ou de composition organique peuvent être mises en évidence entre les sites prospectés. Des techniques de normalisation sont alors utilisées pour comparer les données. Au cours de cette étude, la composition granulométrique des sédiments ou leur teneur en matière organique n'ont pas été recherchées. Cependant, les observations réalisées lors des échantillonnages indiquent que les sédiments des stations Anse Ane et Bourg de Schoelcher sont composés de sables plus grossiers que ceux des autres stations de la baie.

Des études antérieures ont mis en évidence des différences granulométriques dans la baie de Fort-de-France. Les analyses réalisées par Pons *et al.* (1991) sur une quinzaine de prélèvements ont montré :

- trois zones de sédiments très argileux au débouché des principaux cours d'eau :
 - ⇒ la Cohé du Lamentin qui reçoit les seaux chargées de La Lézarde
 - ⇒ la fosse de Dillon proche de la Rivière Monsieur
 - ⇒ la Baie de Genipa recevant les apports de la Rivière Salée.
- les vases sableuses du fond de la baie, qui sont des dépôts qui résultent d'une sédimentation par excès de charge après une plus longue évolution due au transport.
- des sédiments montrant une plus faible proportion de particules fines autour des zones coralliennes subissant une érosion.

D'autres auteurs ont montré que l'ensemble des sédiments de la baie se répartissent en quatre faciès principaux (Castaing *et al.* 1986, Durand 1996 ; Guennoc & Duclos 2008) :

- les sables organogènes des bancs Mitan et Gros Ilet, de la Grande Sèche, des fonds blancs de l'Ilet à Ramiers et de l'Anse Mitan, occupés par des édifices récifaux et des prairies sous-marines ;
- les sables moyens à fins organogènes localisés autour de l'Anse à l'Ane, dans l'Anse Mitan, la baie des Flamands et la Pointe des Nègres ;
- les sables vaseux et vases sableuses couvrant la passe du Carénage, la Passe de Trois-Ilets et sa région méridionale située entre la Pointe du Bout et la Pointe de la Rose, ainsi qu'au débouché des rivières Monsieur et Madame ;
- les vases occupant le fond de la baie, de la Cohé du Lamentin à la Baie de Genipa et dans la partie occidentale de la Passe de Trois-Ilets.

La distribution observée des contaminations aux stations Contrat de Baie et REPOM est donc à considérer avec précaution en l'absence de données granulométriques.

D'autre part, certains des contaminants chimiques suivis peuvent avoir une origine naturelle. C'est le cas des éléments traces métalliques, constituants naturels de l'écorce terrestre. On parle de valeur de fond géochimique (ou concentration de référence actuelle) en référence à leurs concentrations naturelles dans le milieu. Ces valeurs sont importantes à connaître afin de mettre en évidence d'éventuels enrichissements résultant des activités humaines. Dans les sédiments, ces concentrations de références n'ont pas été déterminées en Martinique. Celles de la métropole ne peuvent cependant pas être appliquées à notre île, dont les sols volcaniques sont susceptibles d'être enrichis en ETM. Dans ce contexte, les valeurs brutes restent délicates à interpréter. Toutefois, les plus fortes concentrations en métaux mesurées dans la zone du port et à Baie des Flamands sont associées à de fortes concentrations en HAP, dont l'origine est principalement anthropique. Les enrichissements importants en métaux mesurés à certaines stations sont donc très probablement liés aux activités humaines.

5 Recommandations pour les suivis ultérieurs

5.1 Stations d'échantillonnage et répliqués

Stations benthos

Si les suivis sont à pérenniser dans le temps, il serait peut être opportun d'installer lors des prochaines campagnes de mesures des transects pérennes.

Ceux-ci permettent de faire des comparaisons temporelles plus précises et constituent ainsi de bons outils pour les décideurs.

A titre d'exemple, dans le cadre de la DCE, la mise en place de tels transects s'est révélée nécessaire après l'analyse des résultats 2007-2010 car les variations observées d'une année sur l'autre étaient en partie dues à l'installation du transect et non pas à l'évolution intrinsèque du site. Aussi, des transects pérennes ont été installés selon le protocole proposé par Impact-Mer en 2011. Ce dernier a permis de réduire les écarts dus aux variations intrinsèques des stations.

Les transects retenus par Impact Mer sont peu coûteux et peu impactants pour le paysage sous-marin. Ce procédé vise non seulement à réduire les coûts d'installation mais aussi à préserver le paysage sous-marin présentant une grande valeur économique en Martinique (apnée, plongée sous-marin etc.).

Il pourrait être pertinent d'installer de tels transects dans le cadre du contrat de Baie afin d'avoir des suivis rigoureusement comparables et ainsi observer l'évolution temporelle et non pas les variations intrinsèques des stations.

Stations hydrologie

En raison de la forte variabilité susceptible d'exister à une échelle de temps très courte dans le milieu naturel, et des biais pouvant survenir durant l'échantillonnage et le transport d'échantillons, il est recommandé de réaliser l'analyse des paramètres hydrologiques (nutriments, chlorophylle a, turbidité) en triplicats. Ceci permettrait de s'affranchir du biais de l'analyse et de s'assurer que certaines valeurs extrêmes ont bien une origine naturelle.

Stations Contrat de Baie

A ce stade, il paraît opportun de conserver l'ensemble des stations Contrat de Baie afin d'avoir un suivi temporel et spatial le plus fin possible et de dégager des tendances de contamination ou d'état de santé, pour répondre aux enjeux du Contrat de Baie. En effet, les premiers résultats acquis au cours de ces deux années de suivi n'ont pas permis de mettre en évidence de gradient particulier dans la baie, mais montrent des contrastes importants pour des stations pourtant proches et *a priori* soumises à des pressions de même intensité.

5.2 Échelle temporelle

Fréquence et période d'échantillonnage du benthos (communautés coralliennes et herbiers)

En milieu corallien, la fréquence d'échantillonnage nécessaire à la détection de changement dans la couverture du substrat et la composition spécifique est de 6 mois. Cependant en cas d'événement exceptionnel (blanchissement, cyclone...), l'échantillonnage doit être réalisé le plus rapidement possible (Coyer *et al.* 2003).

Pour ces raisons :

- des variations saisonnières des éléments benthiques (macroalgues surtout) sont connues dans les environnements récifaux. En particulier pour les sites exposés à de fortes pressions (bassin versant très arrosé et/ou sources de pollution plus ou moins saisonnières). Aussi, pour limiter le biais de saisonnalité, il est recommandé de réaliser le prochain suivi à la même période.
- en cas de blanchissement corallien important (dû à l'augmentation de température de l'eau), ou de houle cyclonique forte, il serait nécessaire de réaliser un nouveau suivi juste après. En effet, les communautés benthiques sont très sensibles aux variations de température et à la houle. Aussi, afin de discriminer la source de dégradation (événement naturel majeur ou pression anthropique liée aux bassins versants), un nouveau suivi doit être réalisé 6 mois après pour permettre d'évaluer la capacité de résilience de l'écosystème à court terme (en lien avec son état de santé initial).

Fréquence d'échantillonnage des paramètres hydrologiques et du phytoplancton

Le milieu marin tropical insulaire est un système soumis à des apports de nutriments sous forme de pulses, liés notamment aux épisodes pluvieux, parfois intenses. Aussi, la stratégie d'échantillonnage des paramètres hydrologiques doit pouvoir refléter ces variations soudaines. Par exemple dans Cho & Woodley (2003, étude 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. Dans le cadre de la DCE en Martinique, une fréquence trimestrielle a été retenue, tout comme pour les suivis du Contrat de Baie. Cette fréquence représente un

compromis entre la faisabilité (coût) et la représentativité des suivis. Elle permet d'observer des tendances saisonnières mais est loin de refléter les nombreux processus qui se déroulent sur de très courtes échelles de temps. Elle doit donc être, au minimum, maintenue.

- Il pourrait être envisagé d'**équiper une** (ou plusieurs) **station(s) fixe(s)** dans la baie de Fort-de-France, afin de **suivre en continu les principaux paramètres descripteurs de la masse d'eau** (température, salinité, pH), ainsi que des paramètres indicateurs du niveau d'eutrophisation (oxygène dissous, chlorophylle *a*) ou des apports particuliers (turbidité).
- Une autre proposition pourrait être de réaliser des **échantillonnages à plus haute fréquence** (mensuels ou bi-mensuels) sur une ou deux stations considérées comme représentatives de la baie (sur le modèle du réseau SOMLIT en métropole par exemple).

De tels suivis en continu (ou à haute fréquence) permettraient de mieux préciser le contexte dans lequel les échantillonnages trimestriels sont réalisés et d'affiner l'interprétation des données. D'autre part, des séries temporelles suffisamment longues et continues sont nécessaires, afin de discriminer les influences anthropiques des variations naturelles de certains paramètres.

5.3 Protocole d'échantillonnage

Herbiers

Les protocoles d'échantillonnages sont ceux couramment utilisés dans le cadre de la DCE. Ils permettent donc de réaliser des comparaisons avec les autres données acquises autour de la Martinique. Il est à noter que le protocole DCE a évolué en 2014. En effet, des études sont actuellement en cours (MNHN, DEAL, ODE) afin de définir une typologie des herbiers en Martinique et proposer des protocoles adaptés pour refléter l'état de santé de ces derniers. Les données ne sont pas encore disponibles, mais le protocole de la DCE herbier a été adapté en 2014 afin de relever les paramètres qui semblent les plus pertinents (demande de l'ODE). Ce nouveau protocole reste cependant fidèle au précédent avec des mesures de densités, de longueurs de feuilles et de pourcentages de colonisations en macroalgues.

Il serait pertinent dans le cadre d'un nouveau suivi de réaliser des suivis selon les protocoles proposés par le MNHN afin de permettre des comparaisons à l'échelle de la Martinique.

Hydrologie

Dans le cadre de la DCE en Martinique, en plus de la biomasse (chlorophylle *a*), l'abondance et la diversité du phytoplancton sont suivies depuis 2011. Pour ces deux derniers indicateurs, on s'intéresse au pico-, nano- et micro-phytoplancton. En effet, le paramètre 'taille' peut être important au sein d'un groupe planctonique car il est sensible aux stress environnementaux et peut être mesuré facilement (filtration, tamisage, méthode d'imagerie).

Ces paramètres (abondance et diversité) pourraient également être ajoutés à ceux suivis aux stations Contrat de Baie, afin d'acquérir plus de connaissance sur ce compartiment biologique (encore très mal connu en Martinique) et de mieux en comprendre les variations.

Sédiment

Comme évoqué précédemment (paragraphe E. 4 : Contamination sédimentaire en baie de Fort-de-France), la composition granulométrique et la teneur en matière organique sont des paramètres nécessaires à connaître pour l'interprétation des données de contamination sédimentaire.

Lorsque des différences granulométriques ou de composition organique sont mises en évidence, les concentrations doivent être normalisées pour être comparées. Pour les métaux, l'élément normalisateur le plus utilisé est l'aluminium car il est présent en fortes proportions dans les argiles. Il est supposé dériver de minéraux détritiques, avoir un apport anthropique négligeable et un comportement conservatif en milieu marin (Heirut et Sandler, 2006). Le lithium peut être un meilleur élément normalisateur dans certains sédiments marins. Il est également conservatif et n'est généralement pas dû à l'activité humaine (Aloupi et Angelidis, 2001). Pour les contaminants organiques, la teneur en carbone organique (CO) est couramment utilisée pour normaliser les concentrations en HAP. Pour les suivis à venir, il serait donc pertinent d'ajouter les paramètres granulométrie, concentrations en aluminium, lithium et carbone organique aux paramètres déjà suivis.

D'autre part, de nombreux contaminants sont régulièrement recherchés dans le sédiment (dans le cadre du Contrat de Baie mais aussi d'autres suivis autour de la Martinique) sans jamais présenter de concentrations quantifiables. Ceci peut être dû à l'absence de ces composés dans le milieu ou à des limites de quantification trop élevées. En attendant que des développements méthodologiques permettent d'abaisser ces limites de quantification de façon significative, et afin de réduire les coûts d'analyses, la liste des composés recherchés pourrait être réduite aux composés systématiquement retrouvés.

Conclusion et perspectives

- Parmi les stations « communautés coralliennes » suivies, seule une station (Atterrissage Rouge) est en bon état. Toutefois, elle est dominée par une espèce de corail sensible aux phénomènes naturels. Les autres stations sont en état médiocre ou moyen. Il est important de souligner qu'aucun gradient n'a pu être mis en évidence concernant les états de santé des communautés coralliennes dans la baie. Même en sortie de baie, les communautés coralliennes peuvent subir des pressions importantes (station Large Ramier en état médiocre). L'état des communautés coralliennes peut donc être contrasté pour des sites proches et a priori soumis à des pressions de même intensité.
- Concernant les algues, les suivis ont montré une dominance des macroalgues en sortie de baie (Atterrissage Rouge et Large Ramier) et une dominance du turf sur les autres stations.
- Les 8 stations herbiers suivies se trouvent plus à l'intérieur de la baie et leurs états de santé varient de mauvais à très bon. Les stations les plus proches de la côte tendent à être en plus mauvais état de santé que les autres. Ceci pourrait être principalement lié à l'hypersédimentation issue des bassins versants, que subit le proche côtier.
- Le suivi réalisé trimestriellement sur les eaux marines met en évidence l'évolution saisonnière attendue des paramètres hydrologiques dans un contexte tropical et insulaire. D'une manière générale, les stations de fond de baie sont plus turbides et soumises à des apports en nutriments plus importants qu'en sortie de baie.
- Enfin les sédiments présentent un niveau de contamination plus important dans le nord et le fond de la baie (stations Baie des Flamands, Rivière Lézarde, Gros Ilet) que dans le sud ou à l'extérieur de la Baie (Anse Ane, Bourg de Schoelcher, Pagerie). Le niveau de contamination de la station Baie des Flamands se dégage particulièrement par rapport aux autres stations. Toutefois, des données complémentaires (granulométrie) devraient être acquises afin de confirmer ces différences spatiales.

D'une manière générale, pour certaines stations, l'état des communautés benthiques est en accord avec les caractéristiques hydrologiques du site. Par exemple, les herbiers des stations Z'abricots et Baie de Génipa sont hypersédimentés et en mauvais état. Les turbidités enregistrées à ces stations sont en effet généralement parmi les plus élevées, de même que les concentrations en nutriments ou en chlorophylle *a*. Les concentrations en métaux ou la contamination du biote sont également élevées à Baie de Génipa. A l'inverse, en sortie de baie (Atterrissage Rouge), les communautés coralliennes sont en bon état, avec une forte couverture corallienne. C'est aussi en sortie de baie que les plus faibles valeurs de turbidité, nutriments et chlorophylle *a* sont enregistrées.

| Stations Contrat de Baie | Communautés benthiques | Qualité de l'eau (eutrophisation, turbidité) | Contaminations chimiques (sédiment, biote) |
|--------------------------|------------------------|--|--|
| Bourg de Schoelcher | | | Bon |
| Pointe des Nègres | Médiocre | | |
| Flamands_Sud | | Bon | |
| Baie des Flamands | | | Mauvais |
| Z'abricots | Mauvais | Mauvais | |
| Rivière Lézarde | | | Médiocre |
| Aéroport | Médiocre | Médiocre | |
| Large Aéroport | Bon | Médiocre | |
| Biroton | Médiocre | Médiocre | |
| Baie de Génipa | Mauvais | Mauvais | Médiocre |
| Gros Ilet | | | Médiocre |
| Caye Gros Ilet | Très Bon | Médiocre | |
| Pagerie | Bon | Mauvais | Moyen |
| Pointe de la Rose | Médiocre | | |
| Caye Pointe du Bout | Moyen | | |
| Anse Ane | Médiocre | Médiocre | Bon |
| Fond Blanc Ramier | | Bon | |
| Large Ramier | Médiocre | Bon | |
| Atterrissage Rouge | Bon | | |

Toutefois, pour plusieurs stations intermédiaires, les résultats sont plus nuancés et nécessitent des investigations complémentaires (plus de données, séries temporelles plus longues). On peut citer par exemple la station Pagerie qui présente un herbier en bon état, peu sédimenté alors que cette station appartient au groupe le plus turbide. De même, la station Caye Gros Ilet présente un herbier en très bon état alors que la station Gros Ilet (située à proximité) est intermédiaire du point de vue de la turbidité.

Ces résultats mettent en lumière la nécessité d'acquérir des séries temporelles de données plus longues, peut-être à une fréquence plus élevée, afin de mieux évaluer l'état de la baie et de prendre les mesures adéquates pour le maintenir ou l'améliorer. Le facteur sédimentation semble d'ores et déjà avoir une influence importante sur l'état des communautés de certaines stations, en particulier en fond de baie. Des efforts particuliers devront notamment porter sur la réduction des apports particuliers.

Afin d'évaluer les effets des actions engagées sur cet enjeu, et éventuellement d'expliquer les contrastes observés dans la baie (hypersédimentation des communautés benthiques vs turbidité), un suivi du taux de sédimentation pourrait être envisagé. Par exemple, des pièges à sédiment pourraient être mis en place sur certaines stations afin d'évaluer les taux de sédimentation. Un modèle pourrait également être construit à l'échelle de la baie.

Concernant les indicateurs de communautés coralliennes, la méthodologie développée en Martinique pour la DCE repose principalement sur les NIA et les coraux. Cependant, les résultats du suivi Contrat de Baie ont montré une dominance du turf sur la plupart des stations. Selon la littérature, ce groupe fonctionnel occupe de plus en plus d'espace sur les récifs à l'échelle mondiale. Il semble en outre être responsable de dégradation récifale bien que ce sujet reste peu documenté. Aussi ce groupe fonctionnel devra peut-être être intégré aux futurs indicateurs de communautés coralliennes.

Une mission d'expertise MNHN/ONEMA est prévue sur les macroalgues en Guadeloupe en octobre prochain. Elle a pour objectif de préciser les algues indicatrices de milieux perturbés (nitrates, phosphates, etc.). Un groupe de travail d'experts nationaux (dont Impact Mer) se réunira à cette occasion pour discuter des méthodologies et de la bioindication en milieu marin tropical. Les conclusions de cette mission pourront être prises en compte pour l'adaptation du réseau Contrat de Baie.

Pour les suivis à venir, il sera primordial d'intégrer dans l'interprétation globale des résultats :

- la courantologie de la baie ;
- la sédimentation dans la baie ;
- les données issues des campagnes d'échantillonnage passif ;
- les résultats issus des suivis en milieu terrestre, afin de tenir compte du continuum terre-mer.

Bibliographie

- Airoldi L (1998) Roles of disturbance, sediment stress, and substratum retention on spatial dominance in algal turf. *Ecology* 79: 2759–2770.
- Aloupi M. and Angelidis M.O., 2001, Normalization to lithium for the assessment of metal contamination on coastal sediment cores from the Aegean Sea, Greece. *Marine Environmental Research*, 52: 1-12.
- Aminot, A., Kérouel, R., 2004. Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Editions IFREMER, Plouzané (France), 336 p.
- Bouchon, C., Bouchon-Navarro, Y., Louis, M., 2004. Critères d'évaluation de la dégradation des communautés coralliennes dans la région Caraïbe. *Revue d'Ecologie (la Terre et la Vie)*, 59 (1-2): 113-121.
- Bouchon, C., Bouchon-Navarro, Y., Louis, M., Portillo, P., 2003. Manuel technique d'étude des récifs coralliens de la région Caraïbe. Université des Antilles et de la Guyane, 56 pp.
- Bouchon, C., Bouchon-Navarro, Y., Louis, M., 2001. Manuel technique d'étude des récifs coralliens de la région Caraïbe. Version provisoire, . Université des Antilles et de la Guyane. Rapport pour: DIREN Guadeloupe, 23 pp.
- Castaing, P., De Resseguier, A., Julius, C., Parra, M., Pons, J.C., Pujos, M., Weber, O., 1986. Qualité des eaux et des sédiments dans la baie de Fort de France (Martinique). Rapport de contrat, 84.L.0896. Institut Géologique du Bassin d'Aquitaine. Rapport pour: Ministère de la Recherche et de la Technologie. Action Concertée CORDET, Bordeaux, 93 pp.
- Cheroske AG, Williams SL, Carpenter RC (2000) Effects of physical and biological disturbances on algal turfs in Kaneohe Bay, Hawaii. *J Exp Mar Biol Ecol* 248: 1–34.
- Contrat de la Baie de Fort de France, 2006. Contrat de la Baie de Fort de France : La démarche, [En ligne]. <http://www.baiedefortdefrance.org>. Consulté le: 9 décembre 2009.
- Daniel, A., and Soudant, D. 2010. Evaluation DCE mai 2010. Elément de qualité : nutriments. Ifremer. 99 pp.
- Diaz-Pulido G, McCook JL (2002) The fate of bleached corals: patterns and dynamics of algal recruitment. *Mar Ecol Prog Ser* 232: 115–128.
- Durand, F., 1996. Sédimentologie, morphologie et dynamique sur le plateau insulaire de la Martinique. Thèse de Doctorat, Université Bordeaux 1, 213 (+ Annexes) pp.
- Gonzalez, J-L., Tapie, N., Budzinski, H., Guyomarch, J., 2013. Projet PEPS Martinique. Evaluation de la contamination chimique des eaux martiniquaises par les techniques d'échantillonnage passif – Application et soutien à la mise en place de la Directive européenne Cadre sur l'Eau. Campagne mai-juillet 2012. Ifremer. Rapport intermédiaire. 52 p.
- Gonzalez, J-L., 2012. Guide d'utilisation des techniques d'échantillonnage passif (DGT, POCIS et SBSE) : mise en place, récupération et conditionnement. Ifremer. Version provisoire. 26 p. (Annexes incluses).
- Guennoc, P., Duclos, P., 2008. Cartographie morpho-sédimentologique du domaine côtier de la Martinique. Rapport Final. BRGM. Rapport pour: Martinique, D.
- Hay ME (1981) The functional morphology of turf- forming seaweeds: persistence in stressful marine habitats. *Ecology* 62: 739–750.
- Heirut, B., and Sandler, A. 2006. Normalization methods for pollutants in marine sediments : review and recommendations for the Mediterranean. IORL Report. UNEP/MAP. 23pp

- Ifremer. 2007. Guide de prélèvement d'échantillons marins pour l'analyse des contaminants chimiques. 23 pp.
- Impact-Mer, Asconit-Consultant, 2010. Assistance à la définition et à la mise en place du réseau de suivi du contrat de la Baie de Fort-de-France : Phase 1 & Phase 2. Rapport final. Rapport pour : CACEM, 144 p. (Annexes incluses).
- 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. Thèse, Ecole Pratique des Hautes Etudes, 256 p.
- Little MM, Littler DS, Brooks BL (2006) Harmful algae on tropical coral reefs: Bottom-up eutrophication and top-down herbivory. *Harmful Algae* 5: 565–585.
- McField, M., Kramer, P.R., 2007. Healthy Reefs for Healthy People: A Guide to Indicators of Reef Health and Social Well-being in the Mesoamerican Reef Region. With contributions by M. Gorrez and M. McPherson. The Smithsonian Institution, 207 p.
- Pellouin-Grouhel, A. and Romana, A., 2006. Mise en œuvre de la DCE dans les zones littorales : préconisations pour le contrôle de surveillance et éléments pour le contrôle opérationnel. Colloque DCE - Paris, 19 janvier 2006.
- Pons, J.C., Parra, M., Maillet, N., Pujos, M., Van Impe, A., 1991. Protection et valorisation du milieu naturel dans la baie de Fort-de-France. La sédimentation fine dans la baie de Fort-de-France : Influence de la minéralogie et de la géochimie des vases actuelles et sub-actuelles sur la qualité du milieu. Université Antilles-Guyanes. Plan d'Action pour l'Environnement de la Caraïbe (Programme des Nations Unies pour l'Environnement). Rapport pour: Conseil Régional de la Martinique, 109 pp.
- Steneck RS, Dethier MN (1988) A functional group approach to the structure of algal-dominated communities. *Oikos* 69: 476–498.
- Vermeij MJA, van Moorselaar I, Engelhard S, Hořnlein C, Vonk SM, et al. (2010) The Effects of Nutrient Enrichment and Herbivore Abundance on the Ability of Turf Algae to Overgrow Coral in the Caribbean. *PLoS ONE* 5(12): e14312. doi:10.1371/journal.pone.0014312
- Wilkinson, C., 2008. Status of coral reefs of the world : 2008. Global coral Reef Monitoring Network, Reef Rainforest Research Center, Townsville, Australia. 296.

Annexes

Annexe 1 : Liste des composés analysés par les techniques d'échantillonnage passif (DGT, SBSE et POCIS) sur les eaux marines

Par DGT

Cd, Cu, Co, Cr, Pb, Mn, Ni, Zn
Ag, (en test)

Par SBSE

| N° d'ordre | N° UE directive 76/464/CE | N° UE directive 2000/60/CE annexe X | Substance | Famille | N° CAS | Code SANDRE |
|------------|---------------------------|-------------------------------------|---|--------------------------|--|---------------------------------------|
| 1 | | 1 | Alachlore | Pesticides | 15972-60-8 | 1101 |
| 3 | II-131 | 3 | Atrazine | Pesticides | 1912-24-9 | 1107 |
| 10 | | 8 | Chlorfenvinphos | Pesticides | 470-90-6 | 1464 |
| 11 | | 9 | Chlorpyrifos | Pesticides | 2921-88-2 | 1083 |
| 16 | II-76 | 14 | Endosulfan (famille) | Pesticides | 115-29-7 | 1743 |
| 18 | I-83 | 16 | Hexachlorobenzène | | 118-74-1 | 1199 |
| 20 | | 18 | Hexachlorocyclohexane alpha, beta, delta (chaque isomère) | | 608-73-1 | 1200/1201/ 1202 |
| 21 | I-85 | 18 | Lindane | Pesticides | 58-89-9 | 1203 |
| 49 | | | Para-para DDT | | 50-29-3 | 1144 |
| 50 | I-71 | | Dieldrine | Pesticides | 60-57-1 | 1173 |
| 51 | I-77 | | Endrine | Pesticides | 72-20-8 | 1181 |
| 54 | I-130 | | Isodrine | Pesticides | 465-73-6 | 1207 |
| 55 | 70 | | Dichlorvos | Pesticides | 62-73-7 | 1170 |
| 56 | 76 | | Endosulfan alpha · | Endosulfan Pesticides | 959-98-8 | 1178 |
| 57 | 76 | | Endosulfan beta · | Endosulfan Pesticides | 33213-65-9 | 1179 |
| 181 | | I-46 | DDT,DDD,DDE | Pesticides | 50-29-3, 789-02-6, 53-19-0, 72-54-8, 3424-82-6, 72-55-9 | 1143/1144/ 1145/1146/ 1147/1148 |
| 2 | I-3 | 2 | Anthracène | HAP | 120-12-7 | 1458 |
| 17 | II-99 | 15 | Fluoranthène | HAP | 206-44-0 | 1191 |
| 25 | I-96 | 22 | Naphtalène | HAP | 91-20-3 | 1517 |
| 34 | I-99 | 28 | Benzo(a)pyrène (Benzo-3,4pyrène) | HAP | 50-32-8 | 1115 |
| 35 | | 28 | Benzo(b)fluoranthène (Benzo-3,4fluoranthène) | HAP | 205-99-2- | 1116 |
| 36 | | 28 | Benzo(g,h,i)pérylène | HAP | 191-24-2 | 1118 |
| 37 | | 28 | Benzo(k)fluoranthène | HAP | 207-08-9 | 1117 |

| | | | | | | |
|-----|------|----|-------------------------|------------|------------|------|
| 38 | I-99 | 28 | Indéno(1,2,3-cd)pyrène | HAP | 193-39-5 | 1204 |
| 64 | 11 | | Biphényle | Pesticides | 92-52-4 | 1584 |
| 110 | 99 | | Acenaphtene | HAP | 83-32-9 | 1453 |
| 111 | 99 | | Acénaphtylène | HAP | 208-96-8 | 1622 |
| 112 | 99 | | Benzo(a)anthracène | HAP | 56-55-3 | 1082 |
| 113 | 99 | | Chrysène | HAP | 218-01-9 | 1476 |
| 114 | 99 | | Dibenzo(ah)anthracène | HAP | 53-70-3 | 1621 |
| 115 | 99 | | Fluorène | HAP | 86-73-7 | 1623 |
| 116 | 99 | | Methyl-2naphtalène | HAP | 91-57-6 | 1618 |
| 117 | 99 | | Methyl-2fluoranthène | HAP | 33543-31-6 | 1619 |
| 118 | 99 | | Phénanthrène | HAP | 85-01-8 | 1524 |
| 119 | 99 | | Pyrène | HAP | 129-00-0 | 1537 |
| 121 | 101 | | Polychlorobiphényle 101 | PCB | 37680-73-2 | 1242 |
| 122 | 101 | | Polychlorobiphényle 118 | PCB | 31508-00-6 | 1243 |
| 123 | 101 | | Polychlorobiphényle 138 | PCB | 35065-28-2 | 1244 |
| 124 | 101 | | Polychlorobiphényle 153 | PCB | 35065-27-1 | 1245 |
| 125 | 101 | | Polychlorobiphényle 180 | PCB | 35065-29-3 | 1246 |
| 126 | 101 | | Polychlorobiphényle 28 | PCB | 7012-37-5 | 1239 |
| 127 | 101 | | Polychlorobiphényle 52 | PCB | 35693-99-3 | 1241 |
| 128 | 101 | | Polychlorobiphényle 77 | PCB | 32598-13-3 | 1091 |
| 129 | 101 | | Polychlorobiphényle 169 | PCB | 37774-16-6 | 1090 |
| 130 | 101 | | Polychlorobiphényle 35 | PCB | 37680-69-6 | 1240 |

Par POCIS

(1) Alkylphénols : 4-Nonylphénol, 4-ter-Octylphénol, Acide Nonylphénoxy acétique, Bisphénol A , 4-Nonylphénol monoéthoxylé, 4-Nonylphénol diéthoxylé

(2) Pesticides:

- o Triazines : Atrazine desisopropyl, Atrazine déséthyl, Simazine, Atrazine, Propazine, Terbutylazine , Promethryn, Terbuthryn, Cyanazine Irgarol
- o Chloroacétanilides : Propachlor, Dimethachlor, Acetochlor, Alachlore, S-Metolachlor, Metazachlor
- o Phénylurée : Nicosulfuron, 124 dichlorodiphenylurée, 134 dichlorodiphenylurée, Chlorsulfuron, Linuron, Diuron, Metoxuron, 1343 chlorophénylurée, Chlorotoluron, isoproturon
- o Pyrethrinoides : Bifenthrine, cyhalothrine, Acrinathrine, Permethrine, Cyfluthrine, Cypermethrine, Fenvalerate, Esfenvalerate, Tau fluvalinate , Deltamethrine
- o Organophosphorés : Dichlorvos, Trichlorfon, Chlormephos, Ethropophos, Dimethoate, Fenitrothion, Malathion, Diazinon, Chlorpirifos methyl, Tolclophos methyl,, Chlorpyrifos, Chlorfenvinphos, Phosmet, Phosalone, Temephos.

(3) + Autres de la liste DCE:

Endosulfan, Endosulfan alpha, Endosulfan beta, Monolinuron, Trifluraline, Chlorpyriphos-éthyl, Chlortoluron, Clomazone, Cyproconazole, Hexaconazole, Lambda cyhalothrine, Tébucconazole, Terbutylazine déséthyl, Terbutylazine hydroxy, Tétraconazole

(4) Produits pharmaceutiques: caféine, carbamazépine, diazépam, nordiazépam, amitriptyne, doxépine, imipramine, ibuprofène, paracétamol, kétoprofène, naproxène, aspirine, diclofénac, gemfibrozil, clenbutarol, salbutamol, terbutaline, théophylline, alprazolam, bromazépam, fluoxétine

Annexe 2 : Liste des contaminants chimiques analysés sur la matrice sédiment aux stations Contrat de Baie, en 2012

Liste des paramètres à analyser sur la matrice sédiment

| Paramètres à analyser | Unités | Seuils de quantification | Méthodes d'analyse | Accréditations COFRAC |
|--------------------------|------------------|--------------------------|--------------------|-----------------------|
| Matières sèches (105°C) | % m/m | 0,01 | NF ISO 11465 | Oui |
| Cadmium | mg/kg | 0,1 | NF EN ISO 5961 | Oui |
| Mercurure | mg/kg | 0,02 | NF EN ISO 17852 | Oui |
| Plomb | mg/kg | 1 | NF EN ISO 11885 | Oui |
| Biphényle | µg / kg / sec | 100 | XP X 33-012 | |
| Anthracène | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Fluoranthène | µg / kg / sec | 2 | XP X 33-012 | Oui |
| Benzo (b) fluoranthène | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Benzo (k) fluoranthène | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Benzo (a) pyrène | µg / kg / sec | 2 | XP X 33-012 | Oui |
| Benzo (g,h,i) périlène | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Indéno (1,2,3-cd) pyrène | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| MBT | µg Sn / kg / sec | 2 | XP T 90-250 mod. | Oui |
| DBT | µg Sn / kg / sec | 2 | XP T 90-250 mod. | Oui |
| TBT | µg Sn / kg / sec | 2 | XP T 90-250 mod. | Oui |
| Pentabromodiphényléther | µg / kg / sec | 10 | GC/MS Cinégative | |
| Octabromodiphényléther | µg / kg / sec | 10 | GC/MS Cinégative | |
| Décabromodiphényléther | µg / kg / sec | 25 | GC/MS Cinégative | |
| BDE 47 | µg / kg / sec | 1 | GC/MS Cinégative | |
| BDE 77 | µg / kg / sec | 1 | GC/MS Cinégative | |
| BDE 99 | µg / kg / sec | 1 | GC/MS Cinégative | |
| BDE 100 | µg / kg / sec | 1 | GC/MS Cinégative | |
| BDE 153 | µg / kg / sec | 1 | GC/MS Cinégative | |
| BDE 181 | µg / kg / sec | 1 | GC/MS Cinégative | |
| BDE 209 | µg / kg / sec | 25 | GC/MS Cinégative | |
| Nonyphénol | µg / kg / sec | 100 | GC/MS | |
| Octylphénols | µg / kg / sec | 50 | GC/MS | |
| DEHP ou DOP | µg / kg / sec | 100 | GC/MS | |
| Asulame | µg / kg / sec | 25 | LC/MS/MS | |
| Chlorprophame | µg / kg / sec | 50 | LC/MS/MS | |
| Iprodione | µg / kg / sec | 10 | LC/MS/MS | |
| Linuron | µg / kg / sec | 1 | LC/MS/MS | |
| Propoxur | µg / kg / sec | 25 | LC/MS/MS | |
| Temephos | µg / kg / sec | 50 | LC/MS/MS | |
| Trifloxystrobine | µg / kg / sec | 25 | LC/MS/MS | |
| mésotrione | µg / kg / brut | 100 | LC/MS/MS | |
| 2,4-DP (dichlorprop) | µg / kg / sec | 100 | LC/MS/MS | |
| Chlordécone 5b hydro | µg / kg / sec | 100 | GC/MS | |
| Chlordécone hydrate | µg / kg / sec | 100 | GC/MS | |
| Pentachlorobenzène | µg / kg / sec | 10 | XP X 33-012 | |

Liste des paramètres à analyser sur la matrice sédiment

| Paramètres à analyser | Unités | Seuils de quantification | Méthodes d'analyse | Accréditations COFRAC |
|-------------------------|---------------|--------------------------|--------------------|-----------------------|
| alpha-HCH | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| béta-HCH | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Hexachlorobenzène | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| gama-HCH | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Isodrine | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| DDE op' | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Endosulfan alpha | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| DDE pp' | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Dieldrine | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| DDD op' | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Endosulfan béta | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| DDD pp' | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| DDT op' | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Endosulfan sulfate | µg / kg / sec | 5 | XP X 33-012 | |
| DDT pp' | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Acétochlore | µg / kg / sec | 10 | XP X 33-012 | |
| Métolachlore | µg / kg / sec | 10 | XP X 33-012 | |
| Oxadiazon | µg / kg / sec | 10 | XP X 33-012 | |
| Propyzamide | µg / kg / sec | 10 | XP X 33-012 | |
| Procymidone | µg / kg / sec | 10 | XP X 33-012 | |
| Dicofol | µg / kg / sec | 10 | XP X 33-012 | Oui |
| Lambda-cyhalothrine | µg / kg / sec | 10 | XP X 33-012 | |
| Deltaméthrine | µg / kg / sec | 10 | XP X 33-012 | |
| delta-HCH | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | |
| 1,3-Hexachlorobutadiène | µg / kg / sec | 10 | XP X 33-012 | |
| Atrazine 2-hydroxy | µg / kg / sec | 100 | LC/MS/MS | |
| Terbutylazine | µg / kg / sec | 20 | XP X 33-012 | |
| Amétryne | µg / kg / sec | 20 | XP X 33-012 | |
| Terbutryne | µg / kg / sec | 20 | XP X 33-012 | |
| Hexaconazole | µg / kg / sec | 100 | XP X 33-012 | |
| Flusilazole | µg / kg / sec | 100 | XP X 33-012 | |
| Propiconazole | µg / kg / sec | 100 | XP X 33-012 | |
| Tebuconazole | µg / kg / sec | 100 | XP X 33-012 | |
| Pendimethaline | µg / kg / sec | 50 | XP X 33-012 | |
| Tebutam | µg / kg / sec | 50 | XP X 33-012 | |
| Terbufos | µg / kg / sec | 20 | XP X 33-012 | |
| Diazinon | µg / kg / sec | 20 | XP X 33-012 | Oui |
| Fenitrothion | µg / kg / sec | 20 | GC/MS | |
| Ethyl chlorpyrifos | µg / kg / sec | 20 | XP X 33-012 | |
| Ethoprophos | µg / kg / sec | 20 | XP X 33-012 | |
| Cadusafos | µg / kg / sec | 20 | XP X 33-012 | |
| Triluraline | µg / kg / sec | 50 | XP X 33-012 | |
| Aclonifen | µg / kg / sec | 100 | GC/MS | |

Annexe 3 : Liste des contaminants chimiques analysés sur la matrice sédiment aux stations Contrat de Baie, en 2013

Liste des paramètres à analyser sur la matrice sédiment

| Paramètres à analyser | Unités | Seuils de quantification | Méthodes d'analyse | Accréditations COFRAC |
|--------------------------|------------------|--------------------------|--------------------|-----------------------|
| Matières sèches (105°C) | % m/m | 0,01 | NF ISO 11465 | Oui |
| Cadmium | mg/kg | 0,1 | NF EN ISO 5961 | Oui |
| Mercurure | mg/kg | 0,02 | NF EN ISO 17852 | Oui |
| Plomb | mg/kg | 1 | NF EN ISO 11885 | Oui |
| Aluminium | % | 0,005 | NF EN ISO 11885 | Oui |
| Arsenic | mg/kg/sec | 2 | NF EN ISO 11885 | Oui |
| Chrome | mg/kg/sec | 2 | NF EN ISO 11885 | Oui |
| Cuivre | mg/kg/sec | 3 | NF EN ISO 11885 | Oui |
| Etain | mg/kg/sec | 0,2 | NF EN ISO 17294 | |
| Lithium | mg/kg/sec | 10 | NF EN ISO 11885 | Oui |
| Nickel | mg/kg/sec | 2 | NF EN ISO 11885 | Oui |
| Zinc | mg/kg/sec | 5 | NF EN ISO 11885 | Oui |
| Anthracène | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Fluoranthène | µg / kg / sec | 2 | XP X 33-012 | Oui |
| Benzo (a) anthracène | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Benzo (b) fluoranthène | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Benzo (k) fluoranthène | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Benzo (a) pyrène | µg / kg / sec | 2 | XP X 33-012 | Oui |
| Benzo (g,h,i) péricène | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Chrysène | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Indéno (1,2,3-cd) pyrène | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Naphtalène | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | |
| Phénanthrène | µg / kg / sec | 5 | XP X 33-012 | Oui |
| Pyrène | µg / kg / sec | 2 | XP X 33-012 | Oui |
| MBT | µg Sn / kg / sec | 2 | XP T 90-250 mod. | Oui |
| DBT | µg Sn / kg / sec | 2 | XP T 90-250 mod. | Oui |
| TBT | µg Sn / kg / sec | 2 | XP T 90-250 mod. | Oui |
| TPhT | µg Sn / kg / sec | 2 | XP T 90-250 mod. | |
| Pentabromodiphényléther | µg / kg / sec | 10 | GC/MS Cinégative | Oui |
| Octabromodiphényléther | µg / kg / sec | 10 | GC/MS Cinégative | Oui |
| Pentachlorophénol | µg / kg / sec | 10 | GC/MS | |
| Bisphenol A | µg / kg / sec | 50 | GC/MS | |
| Nonyphénol | µg / kg / sec | 100 | GC/MS | |
| 4-tert-octylphénol | µg / kg / sec | 10 | GC/MS | |
| 4-n-octylphénol | µg / kg / sec | 10 | GC/MS | |
| 4-pa-ra-nonylphénol | µg / kg / sec | 100 | GC/MS | |
| 4-n-nonylphénol | µg / kg / sec | 10 | GC/MS | |
| DEHP ou DOP | µg / kg / sec | 100 | GC/MS | |
| Asulame | µg / kg / sec | 25 | LC/MS/MS | |

Liste des paramètres à analyser sur la matrice sédiment

| Paramètres à analyser | Unités | Seuils de quantification | Méthodes d'analyse | Accréditations COFRAC |
|-----------------------|---------------|--------------------------|--------------------|-----------------------|
| Chlordécone 5b hydro | µg / kg / sec | 100 | GC/MS | |
| Chlordécone hydrate | µg / kg / sec | 100 | GC/MS | |
| alpha-HCH | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| béta-HCH | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Hexachlorobenzène | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| gama-HCH | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Aldrine | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Isodrine | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| DDE op' | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Endosulfan alpha | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| DDE pp' | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Dieldrine | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| DDD op' | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Endrine | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Endosulfan béta | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| DDD pp' | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| DDT op' | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Endosulfan sulfate | µg / kg / sec | 5 | XP X 33-012 | |
| DDT pp' | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Métolachlore | µg / kg / sec | 10 | XP X 33-012 | |
| Dicofol | µg / kg / sec | 10 | XP X 33-012 | |
| delta-HCH | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| Terbutylazine | µg / kg / sec | 20 | XP X 33-012 | |
| Amétryne | µg / kg / sec | 20 | XP X 33-012 | |
| Propiconazole | µg / kg / sec | 100 | XP X 33-012 | |
| Hexazinone | µg / kg / sec | 100 | XP X 33-012 | |
| Fenitrothion | µg / kg / sec | 20 | XP X 33-012 | |
| Ethyl chlorpyrifos | µg / kg / sec | 20 | XP X 33-012 | |
| Triluraline | µg / kg / sec | 50 | XP X 33-012 | |
| Thiabendazole | µg/kg | 30 | Méth. MESTRES | |
| Quinoxifène | µg / kg / sec | 50 | GC/MS | |
| Bitertanol | µg / kg / sec | 100 | GC/MS | |
| Imazalil | µg / kg / sec | 100 | GC/MS | |
| Musk xylène | µg / kg / sec | 100 | GC/MS | |
| Oxamyl | µg / kg / sec | 25 | LC/MS/MS | |
| PCB 28 | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| PCB 52 | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| PCB 101 | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| PCB 118 | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| PCB 153 | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| PCB 138 | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |
| PCB 180 | µg / kg / sec | 1 | XP X 33-012 | Oui |